

Приложение к рабочей программе по
специальности 23.02.06
Техническая эксплуатация
подвижного состава железных дорог
направление

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

ОП.03. Электротехника

для специальности
23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава
железных дорог

базовый уровень

Саратов 2023.

РЕКОМЕНДОВАНО

к использованию в образовательной организации внутри

внутри филиала СамГУПС в г. Саратов

согласно решения методического совета

№1 от 21 сентября 2023 г.

ОДОБРЕНО

на заседании ЦМК

«Техническая эксплуатация
подвижного состава железных дорог»

Протокол № ____ от «__» _____ 20__ г.

Председатель

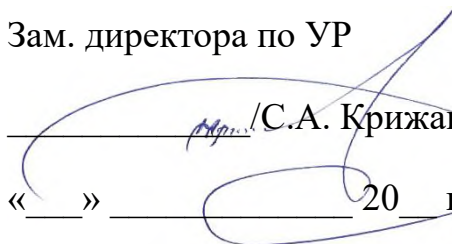


/ Д.К. Гусев /

Методические указания составлены в соответствии с требованиями ФГОС по специальности СПО 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог (приказ Минобрнауки РФ от 22.04.2014 № 388) и на основе профессионального стандарта «Работник по управлению и обслуживанию локомотива» (утв. приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 21 апреля 2022 г. N 226н)

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по УР



/С.А. Крижановский/

«__» _____ 20__ г.

Составители (авторы):

Гусев Д.К., преподаватель филиала СамГУПС в г. Саратове;

Локтионов О.Б., преподаватель филиала СамГУПС в г. Саратове, высшей квалификационной категории;

Мелешкин В.Е., преподаватель филиала СамГУПС в г. Саратове.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Лабораторные работы по учебной дисциплине ОП.03 Электротехника является частью основной профессиональной образовательной программы в соответствии с ФГОС по специальности СПО: 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог.

Учебная дисциплина «Электротехника» относится к циклу профессиональных и общепрофессиональных дисциплин и нацелена на развитие у студентов мышления и навыков сборки простейших электрических цепей, определения параметров электрических цепей; выбора электроизмерительных приборов и способов включения электроизмерительных приборов, построения электрических цепей, расчёта их параметров.

Цель проведения лабораторных работ - научить студентов собирать простейшие электрические цепи, определять параметры электрических цепей; выбирать электроизмерительные приборы и элементы схем.

Рекомендуется, выполнение лабораторных работ в рабочей тетради. В результате выполнения заданий рабочей тетради обучающийся должен уметь собирать простейшие электрические цепи, определять параметры электрических цепей; выбирать электроизмерительные приборы и элементы схем.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен знать основные физические процессы, происходящие в электрических и магнитных цепях, способы включения электроизмерительных приборов, построения и расчёта электрических цепей.

В результате изучения данного курса студент должен сформировать следующие **общие компетенции:**

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

ОК 10. Исполнять воинскую обязанность, в том числе, с применением полученных профессиональных знаний (для юношей).

профессиональные компетенции:

- ПК 1.1. Эксплуатировать подвижной состав железных дорог.
- ПК 1.2. Производить техническое обслуживание и ремонт подвижного состава железных дорог в соответствии с требованиями технологических процессов.
- ПК 1.3. Обеспечивать безопасность движения подвижного состава.
- ПК 2.3. Контролировать и оценивать качество выполняемых работ
- ПК 3.1. Оформлять техническую и технологическую документацию.
- ПК 3.2. Разрабатывать технологические процессы на ремонт отдельных деталей и узлов подвижного состава железных дорог в соответствии с нормативной документацией.

Структура методических указаний подчинена основным формам учебной работы и организации самостоятельной работы в виде работы с учебником и электронными лекциями по дисциплине «Электротехника», а также организации практической работы в виде исследовательской работы, с применением обучающих компьютерных программ. Методические указания включает также список основной и дополнительной литературы к курсу.

Контроль умений и знаний по дисциплине производится по каждой лабораторной работе в виде оценки по пятибалльной системе.

При анализе и оценке ответа студента необходимо учитывать:

1. Знание основных понятий по дисциплине «Электротехника»;
2. Знание физических процессов, происходящих в электрических цепях, способы расчёта электрических цепей;
3. Знание типов свойств и способов включения электроизмерительных приборов;
4. Техническую грамотность студента, позволяющую определить глубину понимания студентом вопроса;
5. Умение применять знания, полученные по другим дисциплинам.

Критерии оценки:

Оценка «5» (отлично) – ставится студенту, полностью и правильно выполнившему все практические и исследовательские задания лабораторной работы, понимая происходящие процессы, ответившему полностью на все контрольные вопросы и на дополнительные вопросы при отчёте за лабораторную работу, что соответствует 10 дидактическим баллам.

Оценка «4» (хорошо) – ставится студенту, который допустил незначительные ошибки при выполнении лабораторной работы и в ответах на контрольные вопросы и ответил на дополнительные вопросы при отчёте, что соответствует 8 дидактическим баллам.

Оценка «3» (удовлетворительно) – ставится студенту, который не полностью выполнил задания лабораторной работы, понимая происходящие процессы или(и) не полностью ответил на контрольные вопросы, показав понимание данной темы и ответил на дополнительные вопросы при отчёте, что соответствует 6 дидактическим баллам.

В остальных случаях выставляется оценка «2» (неудовлетворительно).

Оглавление

Введение.....	6
1. Лабораторная работа № 1 «Способы включения амперметра, вольтметра, ваттметра»....	7

2. Лабораторная работа № 2 «Проверка закона Ома».....	9
3. Лабораторная работа №3 «Исследование цепи постоянного тока с последовательным соединением резисторов».	13
4. Лабораторная работа №4 «Параллельное соединение резисторов».....	17
5. Лабораторная работа № 5 «Последовательное и параллельное включение резисторов».	
6. Лабораторная работа № 6 «Проверка законов Кирхгофа».....	25
7. Лабораторная работа № 7 «Определение мощности потерь в проводах и КПД линии». .	28
8. Лабораторная работа №8 «Проверка действия законов электромагнитной индукции». .	30
9. Лабораторная работа № 9 «Исследование цепи переменного тока с последовательным соединением активного сопротивления и индуктивности».	34
10. Лабораторная работа № 10 «Исследование цепи переменного тока с последовательным соединением активного сопротивления и ёмкости».	38
11. Лабораторная работа № 11 «Исследование цепи переменного тока с параллельным соединением катушек индуктивности».	41
12. Лабораторная работа № 12«Проверка свойств резонанса напряжений».	44
13. Лабораторная работа № 13 «Проверка свойств резонанса токов».	49
14. Лабораторная работа № 14 «Исследование трёхфазной цепи при включении потребителей звездой».	54
15. Лабораторная работа № 15 «Исследование трёхфазной цепи при включении потребителей треугольником».	59
16. Лабораторная работа №17 «Ознакомление с правилами эксплуатации амперметра, вольтметра, ваттметра».....	64
17. Лабораторная работа № 17 «Измерение сопротивления».	69
18. Лабораторное занятие № 18. В форме практической подготовки Включение в цепь и поверка однофазного счётчика электрической энергии.	73
19. Лабораторная работа №19 «Измерение активной мощности в трехфазной цепи цель работы».	78
20. Лабораторная работа № 20 «Определение номинала элементов по маркировке на корпусе».....	86

Введение.

Технический прогресс современной техники базируется на применении электротехнических и электронных устройств. В системах электроснабжения и электроподвижного состава железнодорожного транспорта эксплуатируются преобразователи электроэнергии, устройства релейной защиты, электромашины, создаваемые на основе электротехнических и электронных устройств. Уровень их эксплуатации зависит от квалификации работников. Из этого следует, что необходимым условием подготовки кадров для железных дорог является изучение законов электротехники, электротехнических устройств и измерительных приборов.

Электротехника является областью науки, которая занимается изучением электротехнических и магнитных явлений и их техническим использованием в практических целях.

Интенсивное использование электрической энергии связано со следующими ее особенностями: возможностью достаточно простого и экономичного преобразования в другие виды энергии (механическую, тепловую, лучистую и т.д.); возможность централизованного и экономичного получения на различных электростанциях; простой передачи с помощью линий электропередачи с малыми потерями на большие расстояния к потребителям.

Высокая рентабельность и конкурентоспособность современных предприятий базируется на полной механизации и автоматизации производственных процессов. Решение этих задач требует создания автоматизированных систем управления на основе современной электротехнической и электронной аппаратуры и электрооборудования. Во всех отраслях производства с помощью электротехнической аппаратуры осуществляется управление производственными механизмами, автоматизация их работы, контроль за ведением производственного процесса, обеспечение безопасности обслуживания и т.д. Следовательно, функции электротехнических устройств машин настолько значительны по сравнению с их механической частью, что именно они во многом определяют такие важные показатели, как производительность, качество и надежность создаваемой продукции.

В курсе "Электротехника" осуществляется анализ явлений, происходящих в электрических и магнитных цепях. Изучаются вопросы связанные с установившимися и переходными процессами, с расчетами цепей постоянного переменного тока, с устройством и принципом действия трансформаторов, электромагнитных устройств, электрических машин постоянного и переменного тока, информационных электрических машин.

Знание перечисленного материала дает возможность будущим специалистам свободно разбираться в устройстве и принципе действия разнообразной электротехнической аппаратуры, электрических машин и оборудования и грамотно использовать их в практической деятельности.

Проведение практикума по техническому моделированию призвано помочь студентам усвоить умения и навыки применения измерительных приборов для определения параметров электротехнических устройств. В ходе практикума студенты обсуждают теоретические вопросы и выполняют экспериментальные задания.

1. Лабораторная работа № 1 «Способы включения амперметра, вольтметра, ваттметра».

Цель работы

Изучить способы включения амперметра, вольтметра, ваттметра, методы электроизмерений и научиться пользоваться измерительными приборами.

Краткие теоретические сведения.

Амперметр - прибор для измерения силы тока в амперах. В электрическую цепь амперметр включается последовательно с тем участком электрической цепи, силу тока в котором измеряют.

Вольтметр – прибор для измерения напряжения в вольтах. Подключается параллельно нагрузке или источнику электрической энергии.

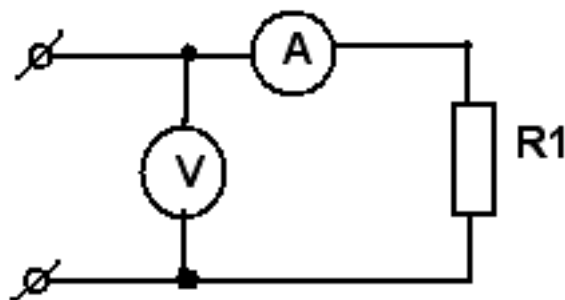
Ваттметр – прибор для измерения электрической мощности. Токовая катушка ваттметра включается последовательно, а катушка для измерения напряжения параллельно.

Необходимое оборудование и приборы.

- лабораторный стенд,
- амперметр A;
- вольтметр V;
- ваттметр W;
- соединительные провода.

Порядок выполнения работы.

1. Подключить вольтметр и амперметр для измерения напряжения и тока по схеме на рисунке и сделать пробные измерения изменяя входное напряжение согласно таблице №1 (прямые измерения).



2. Вычислить мощность при различных значениях напряжения и тока по формуле $P = UI$. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу №1

3. Подключить ваттметр по схеме на рисунке и сделать пробные измерения при тех же значениях входного напряжения. Результаты измерений занести в таблицу №1.

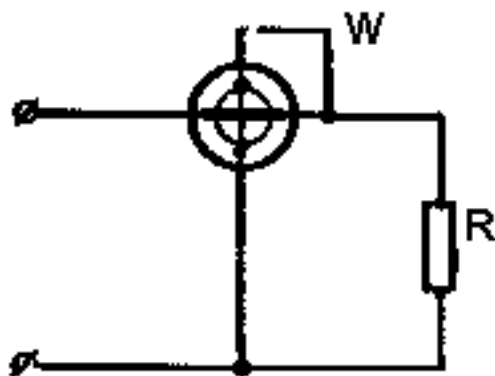


Таблица №1

$U; \text{В}$	$I; \text{А}$	$P; \text{Вт}$ (вычисленное)	$P; \text{Вт}$ (измеренное)
0			
15			
30			
45			
60			
75			

1. Сделать выводы о способах включения различных измерительных приборов и о возможности измерения мощности с помощью амперметра и вольтметра.

Контрольные вопросы.

1. Для чего используются амперметры и вольтметры?

2. Какими способами можно измерить электрическую мощность?

Оценка _____ Преподаватель _____ (_____)

2. Лабораторная работа № 2 «Проверка закона Ома».

Цель работы:

Опытным путём убедиться в справедливости закона Ома для участка цепи.

Краткие теоретические сведения.

Зависимость между силой тока на участке проводника и напряжением определяется законом Ома. Закон Ома для участка цепи определяет: **сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению между его концами и обратно пропорциональна сопротивлению проводника.**

$$I = \frac{U}{R},$$

где **R-электрическое сопротивление.** Измеряется в **Омах (Ом).**

При прохождении тока по проводу, свободные электроны, перемещаясь под действием сил электрического поля, сталкиваются с атомами и молекулами провода и тормозятся, т. е. они испытывают противодействие, которое называется **сопротивление.**

$$R = \frac{U}{I}.$$

Поэтому Ом = В/А. Сопротивление в 1 Ом имеет проводник, в котором устанавливается ток 1А при напряжении на его концах 1 В.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Circuit Simulator.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Circuit Simulator.
2. Собрать виртуальную схему согласно рисунка:



3. Сопротивление R_1 выставить, согласно своего варианта, в таблице №1.

Таблица №1

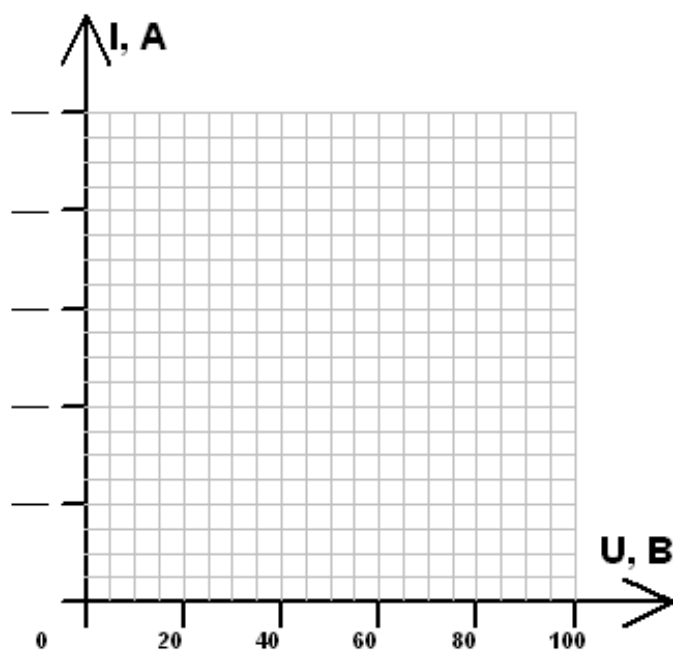
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R_1 ; Ом	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Вариант	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
R_1 ; Ом	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155

4. Включить схему. Изменяя напряжение на источнике, согласно таблице №2 измерять силу тока в цепи. Результаты измерений занести в таблицу №2.

Таблица №2

U	I	R (согласно варианта)
В	А	Ом
0		130
20		130
40		130
60		130
80		130
100		130

5. Построить график $I = f(U)$, при $R = const$, на основании таблицы №2.



6. Выставить U на источнике, согласно своего варианта, в таблице №3.

Таблица №3

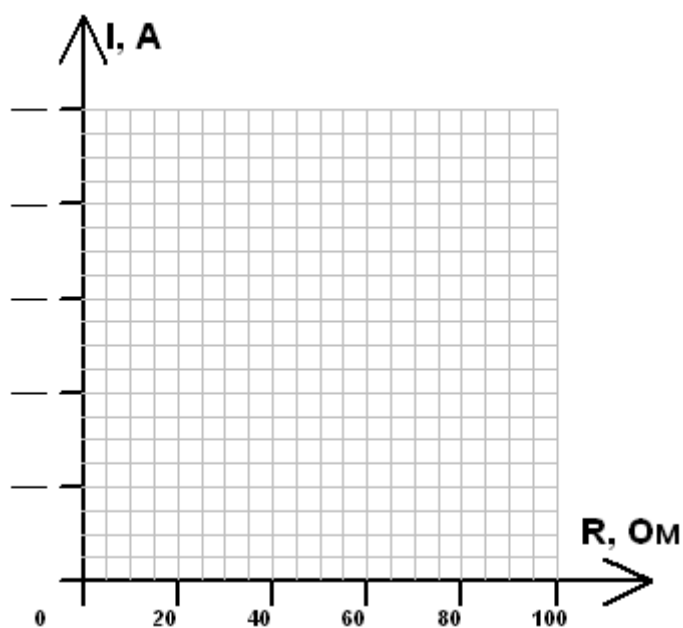
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
U ; В	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Вариант	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
U ; В	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310

7. Включить схему. Изменяя сопротивление резистора R_1 , согласно таблице №4 измерять силу тока в цепи. Результаты измерений занести в таблицу №4.

Таблица №4

R	I	U (согласно варианта)
Ом	А	В
20		90
40		90
60		90
80		90
100		90

8. Построить график $I = f(R)$, при $U = const$, на основании таблицы №4.



9. Сделать выводы о зависимости силы тока от напряжения при постоянном сопротивлении и о зависимости силы тока от сопротивления при постоянном напряжении.

Контрольные вопросы.

1. Сформулируйте Закон Ома.

2. Что называется электрическим током?

3. В каких единицах измеряется электрическое сопротивление?

Оценка _____ Преподаватель _____ (_____)

3. Лабораторная работа №3 «Исследование цепи постоянного тока с последовательным соединением резисторов».

Цель работы:

Проверить на опыте особенности последовательного соединения резисторов.

Краткие теоретические сведения.

Если потребители электрической энергии включены так, что образуют неразветвленную цепь и по ним проходит один и тот же ток, то такое соединение потребителей называется последовательным. Падение напряжения на каждом потребителе можно определить по закону Ома:

$$\begin{aligned}U_1 &= I \times R_1; \\U_2 &= I \times R_2; \\U_3 &= I \times R_3.\end{aligned}$$

Каждое сопротивление потребителя может быть найдено по формулам:

$$\begin{aligned}R_1 &= \frac{U_1}{I}; \\R_2 &= \frac{U_2}{I}; \\R_3 &= \frac{U_3}{I}.\end{aligned}$$

Приложенное к цепи напряжение равно сумме падений напряжений на каждом резисторе:

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

Эквивалентное сопротивление неразветвленной цепи равно сумме сопротивлений каждого резистора:

$$R_{\text{экв}} = R_1 + R_2 + R_3.$$

Ток в этой цепи может быть найден по формуле

$$I = \frac{U_1}{R_{\text{экв}}},$$

или

$$I = \frac{E}{R},$$

где $R = R_{\text{экв}} + R_{\text{в}}$; где $R_{\text{в}}$ - внутреннее сопротивление источника.
Следовательно

$$R_{\text{экв}} = \frac{U}{I}.$$

Если сопротивления резисторов равны, то эквивалентное сопротивление может быть найдено по формуле

$$R_{\text{экв}} = n \times R,$$

где n — число последовательно соединенных резисторов.

Мощность резистора можно определить по формуле

$$P_1 = U_1 \times I = I^2 \times R_1 = \frac{U_1^2}{R_1}.$$

Для остальных резисторов аналогично.

Общая мощность всех последовательно соединенных резисторов может быть найдена по формуле

$$P_1 = U \times I = I^2 \times R_1 = \frac{U_1^2}{R_{\text{экв}}}$$

или

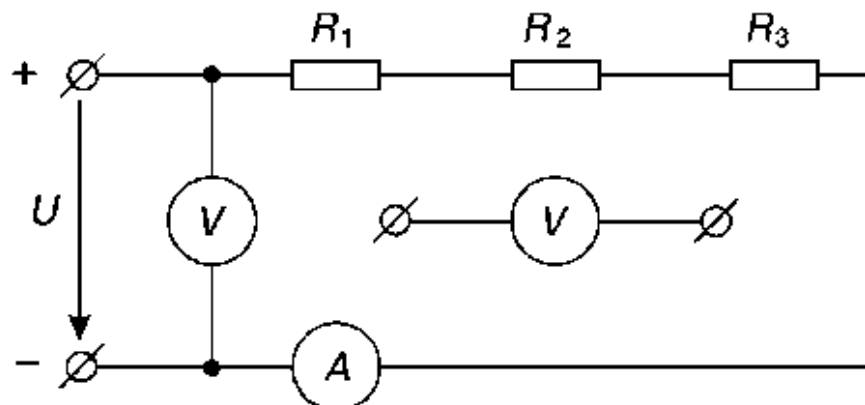
$$P = P_1 + P_2 + P_3.$$

Необходимое оборудование:

- лабораторный стенд,
- амперметр А;
- вольтметр V;
- резисторы;
- соединительные провода

Порядок выполнения работы:

1. Собрать схему, согласно рисунка 1:



- После проверки схемы преподавателем включить цепь, установить необходимое напряжение.
- Измерить силу тока в цепи, падение напряжения на каждом участке при трех значениях сопротивлений резисторов и электродвижущую силу (ЭДС) источника. Результаты записать в табл. №1:

Таблица №1

Измеренная величина						Расчетная величина									
E , В	I , А	U_1 , В	U_2 , В	U_3 , В	U , В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	$R_{\text{экв}}$, Ом	$R_{\text{в}}$, Ом	R , Ом	P_1 , Вт	P_2 , Вт	P_3 , Вт	P , Вт

- Для цепи с последовательным соединением резисторов рассчитать сопротивление и мощность каждого резистора.
- Определить внутреннее сопротивление источника питания $R_{\text{и}}$, эквивалентное сопротивление потребителей $R_{\text{экв}}$, сопротивление R и мощность P всей цепи.
- Проверить баланс мощностей для данной цепи.

Контрольные вопросы:

- Сформулировать второй закон Кирхгофа.

- Сформулировать закон Ома для участка цепи.

- Записать формулу закона Ома для полной цепи.

- На каком из двух последовательно соединенных резисторов будет большее падение напряжения?

5. По каким формулам можно найти мощность, потребляемую резистором?

6. Как распределяются напряжение и мощность между последовательно соединенными резисторами?

Оценка _____ Преподаватель _____ (_____)

4. Лабораторная работа №4 «Параллельное соединение резисторов».

Цель работы:

Проверить на опыте особенности параллельного соединения резисторов.

Краткие теоретические сведения.

Если участки электрической цепи подключены к одной паре узлов, то такое соединение называется параллельным. При этом цепь получается разветвленной. Особенность такого соединения: ко всем параллельным ветвям приложено одно и то же напряжение:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U.$$

Сила токов в параллельных ветвях обратно пропорциональна сопротивлениям:

$$I_1 = \frac{U}{R_1};$$
$$I_2 = \frac{U}{R_2};$$
$$I_3 = \frac{U}{R_3}.$$

Каждое сопротивление может быть найдено по формулам:

$$R_1 = \frac{U}{I_1};$$
$$R_2 = \frac{U}{I_2};$$
$$R_3 = \frac{U}{I_3}.$$

Сила тока в неразветвленной части цепи может быть найдена по закону Ома:

$$I = \frac{U}{R_{\text{экв}}}$$

или

$$I = \frac{U}{R},$$

где E — ЭДС источника; $R = R_{\text{экв}} + R_{\text{в}}$; $R_{\text{в}}$ — внутреннее сопротивление источника.

Или сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме сил токов всех ветвей в соответствии с первым законом Кирхгофа:

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

Эквивалентное сопротивление двух ветвей определяется по формуле

$$R_1 = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2},$$

трех ветвей —

$$R_1 = \frac{R_1 \times R_2 \times R_3}{R_1 \times R_2 + R_2 \times R_3 + R_1 \times R_3}.$$

Если сопротивления ветвей равны, то эквивалентное сопротивление параллельного соединения будет находиться по формуле:

$$R_{\text{экв}} = \frac{R}{n},$$

где n — число параллельных ветвей.

Эквивалентная проводимость при параллельном соединении определяется как сумма проводимостей ветвей:

$$g_{\text{экв}} = g_1 + g_2 + g_3,$$

где проводимость каждой ветви можно определить по формулам:

$$\begin{aligned} g_1 &= \frac{1}{R_1}; \\ g_2 &= \frac{1}{R_2}; \\ g_3 &= \frac{1}{R_3}. \end{aligned}$$

Для n одинаковых резисторов эквивалентная проводимость

$$g_{\text{экв}} = n \times g.$$

Силы токов в ветвях находятся по формулам:

$$\begin{aligned} I_1 &= U \times g_1; \\ I_2 &= U \times g_2; \\ I_3 &= U \times g_3. \end{aligned}$$

Мощность, потребляемая резисторами при параллельном соединении, можно определить по формуле

$$P_1 = U \times I_1 = I_1^2 \times R_1 = \frac{U^2}{g_1}.$$

Для остальных резисторов аналогично.

Общая мощность всех параллельно соединенных резисторов может быть найдена по формуле

$$P = U \times I = I^2 \times R_{\text{экв}} = \frac{U^2}{R_{\text{экв}}} = U^2 \times g_{\text{экв}}$$

или

$$P = P_1 + P_2 + P_3.$$

Необходимое оборудование:

- лабораторный стенд,
- амперметр А;
- вольтметр V;
- резисторы;
- соединительные провода

Порядок выполнения работы:

1. Собрать цепь по рис. 1.5.1. Показать ее преподавателю для проверки.

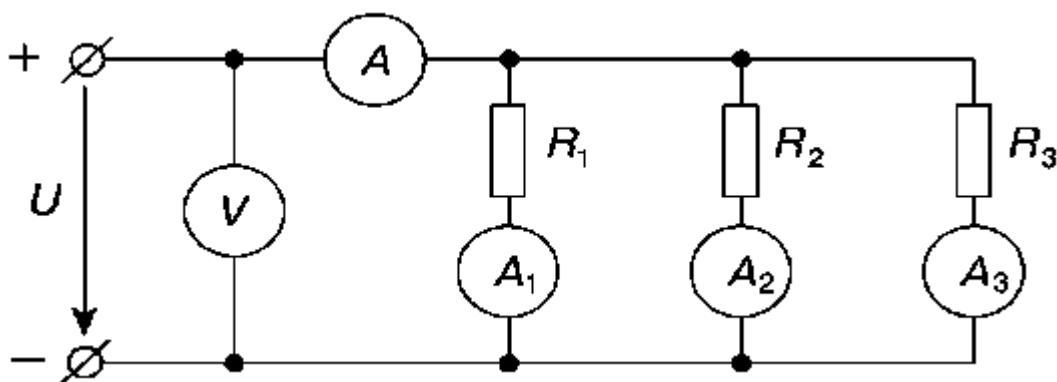


Рис. 1.

2. Включить цепь, установить необходимое напряжение.
3. Измерить ЭДС источника, силу токов в ветвях и приложенное напряжение при трех значениях сопротивлений резисторов. Результаты измерений записать в табл. 1.

Измеренная величина						Расчетная величина													
U , В	I , А	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	E , В	$R_{\text{в}}$, Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	$R_{\text{экв}}$, Ом	R , Ом	g_1 , См	g_2 , См	g_3 , См	g , См	P_1 , Вт	P_2 , Вт	P_3 , Вт	P , Вт

4. Рассчитать сопротивление, проводимость и мощность каждого резистора и всей цепи.
5. Проверить баланс мощностей для данной цепи.

Контрольные вопросы и задания:

1. Сформулировать и подтвердить первый закон Кирхгофа.

2. Каково распределение токов в параллельных ветвях?

1. В какой из двух параллельных ветвей будет больший ток?

4. Как рассчитать проводимость ветвей и эквивалентную проводимость при параллельном соединении резисторов?

5. Как определить эквивалентное сопротивление при трех параллельно соединенных резисторах?

6. Какие существуют способы нахождения токов в параллельных ветвях?

7. По каким формулам можно найти мощность, потребляемую резистором?

Оценка _____ Преподаватель _____ (_____)

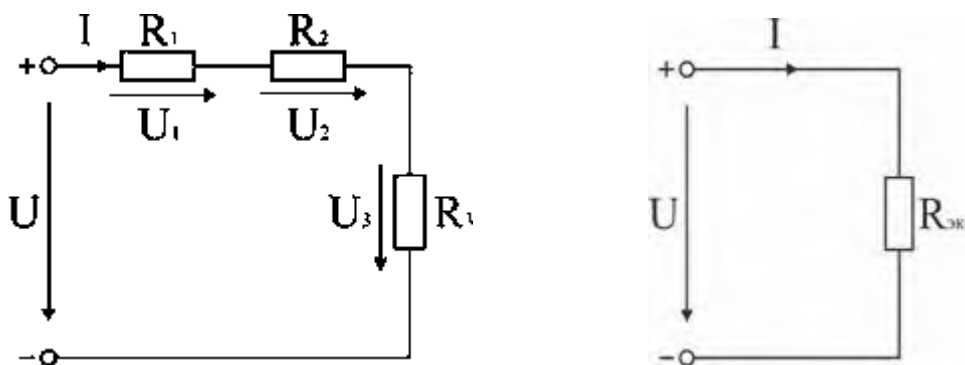
5. Лабораторная работа № 5 «Последовательное и параллельное включение резисторов».

Цель работы:

Опытным путём проверить соотношения между величинами в цепи постоянного тока с резисторами, включёнными последовательно и параллельно.

Краткие теоретические сведения.

Электрическая цепь с последовательным соединением элементов.

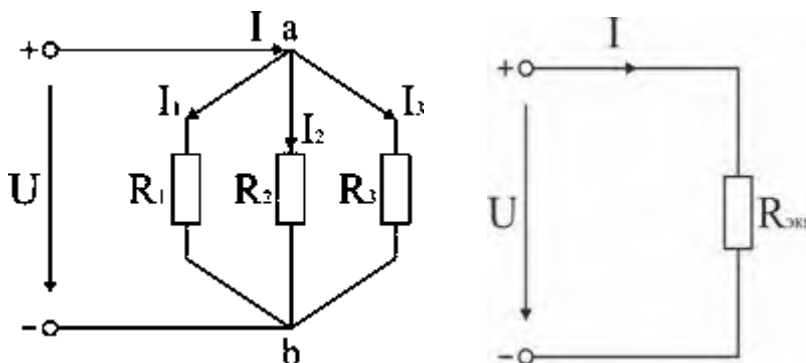


Последовательным называют такое соединение элементов цепи, при котором во всех включенных в цепь элементах возникает один и тот же ток I ($I = I_1 = I_2 = I_3$). Общее напряжение U всей цепи равно сумме напряжений на отдельных участках: $U = U_1 + U_2 + U_3$ или $IR_{\text{экв}} = IR_1 + IR_2 + IR_3$, откуда следует

$$R_{\text{экв}} = R_1 + R_2 + R_3.$$

Таким образом, при последовательном соединении элементов цепи общее эквивалентное сопротивление цепи равно арифметической сумме сопротивлений отдельных участков.

Электрическая цепь с параллельным соединением элементов.



В этом случае напряжение $U = U_1 = U_2 = U_3$, а общий ток I всей цепи равен алгебраической сумме токов отдельных ветвей: $I = I_1 + I_2 + I_3$, т. е.

$$\frac{U}{R_{\text{экв}}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3},$$

откуда следует, что

$$\frac{1}{R_{\text{экв}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

В том случае, когда параллельно включены два сопротивления R_1 и R_2 , они заменяются одним эквивалентным сопротивлением

$$R_{\text{экв}} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}.$$

Эквивалентная проводимость цепи равна арифметической сумме проводимостей отдельных ветвей:

$$g_{\text{экв}} = g_1 + g_2 + g_3.$$

Необходимое оборудование и приборы.

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Circuit Simulator.

Порядок выполнения работы

1. Собрать виртуальную электрическую цепь по схеме 1 на рисунке. Номиналы резисторов установить согласно своего варианта, указанного в таблице №1.

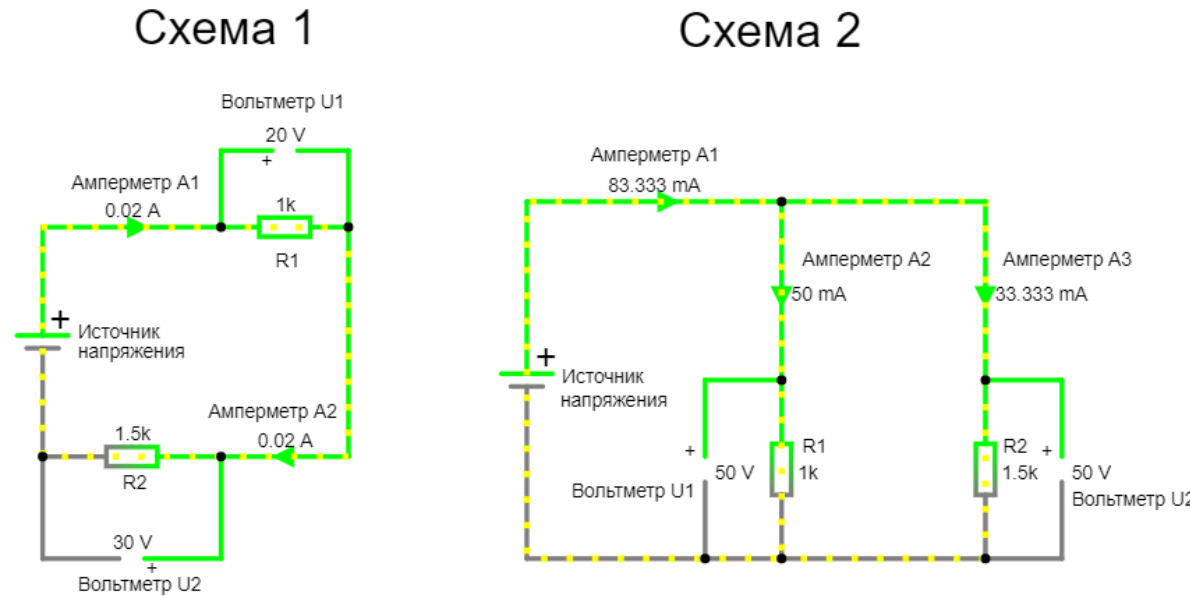


Таблица №1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R1;Ом	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
R2;Ом	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480

2. После проверки схемы преподавателем, установить заданное входное напряжение (50 В), измерить напряжение на резисторах. Показания приборов занести в таблицу №2.

3. Собрать виртуальную электрическую цепь по схеме 2, измерить напряжение на резисторах. Показания приборов занести в таблицу №1.

4. Произвести расчёты величин, указанных в таблице №2

Таблица №2

Участок цепи	Замеры		Расчёт			Примечание
	U	I	P=UI	R=U/I	g =1/R	
	В	А	Вт	Ом	См	
Резистор R1						Последовательное соединение
Резистор R2						
Вся цепь						
Резистор R1						Параллельное соединение
Резистор R2						
Вся цепь						

2. Сделать выводы о соотношении токов и напряжений при различных соединениях.

Контрольные вопросы:

1 Чему равно эквивалентное сопротивление двух параллельно соединенных резисторов $R1$ и $R2$?

2 Для уменьшения тока через резистор $R1$ включим в цепь резистор $R2$. Как должен быть включен резистор $R2$ по отношению к резистору $R1$: последовательно или параллельно? Объяснить ответ.

Оценка _____ Преподаватель _____ (_____)

6. Лабораторная работа № 6 «Проверка законов Кирхгофа».

Цель работы:

Опытным путём убедиться в справедливости законов Кирхгофа.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Circuit Simulator.

Порядок выполнения работы:

1. Для схемы на рисунке рассчитать все токи (I_1 , I_2 , I_3), согласно данных своего варианта в таблице №1.

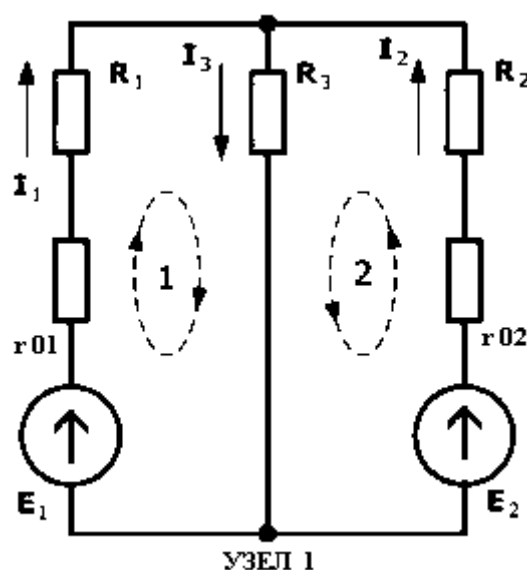


Таблица №1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R1; Ом	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	400	200	900	900	900
R2; Ом	500	600	700	800	900	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
R3; Ом	400	400	400	400	400	300	200	100	500	600	400	400	400	200	100

Для всех вариантов $E_1 = 100$ В, $E_2 = 200$ В, $r_{01} = 500$ Ом, $r_{02} = 200$ Ом.

Методика расчёта токов.

Составим систему уравнений.

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 - I_3 - I_2 = 0 \quad (\text{по первому закону для узла 1}) \\ I_3 \cdot R_3 + I_1 \cdot R_1 + I_1 \cdot r_{01} = E_1 \quad (\text{по второму закону для контура 1}) \\ I_3 \cdot R_3 + I_2 \cdot R_2 + I_2 \cdot r_{02} = E_2 \quad (\text{по второму закону для контура 2}) \end{array} \right.$$

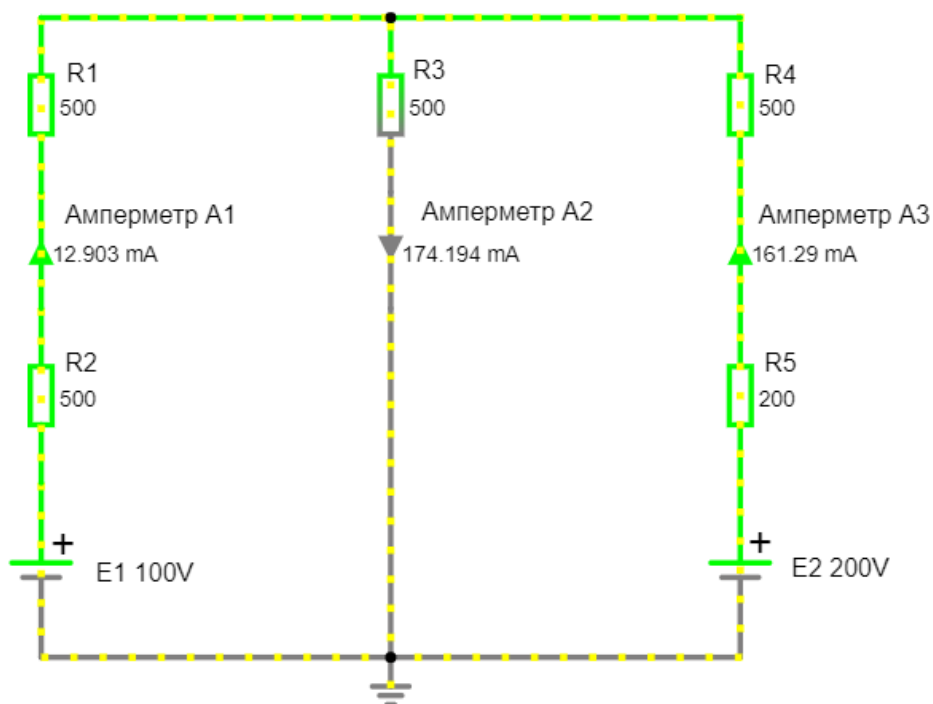
Решив систему, получаем

$$I_3 = \frac{E_1 \times (R_2 + r_{02}) + E_2 \times (R_1 + r_{01})}{(R_1 + r_{01} + R_3) \times (R_2 + r_{02}) + R_3 \times (R_1 + r_{01})};$$

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2 + r_{02}} - \frac{I_3 \times R_5}{R_2 + r_{02}};$$

$$I_1 = I_3 - I_2.$$

2. Загрузить программу Circuit Simulator.
3. Собрать виртуальную схему согласно рисунка.



4. Выставить параметры элементов согласно своего варианта.
5. С помощью амперметров измерить токи в цепях.
6. Результаты вычислений и измерений занести в таблицу №2.

Таблица №2

Ток	Расчётное значение	Измеренное значение
I_1 ; A		
I_2 ; A		
I_3 ; A		

7. Сравнить результаты расчётов и измерений и сделать вывод о справедливости законов Кирхгофа.

Контрольные вопросы.

1. Сформулируйте первый закон Кирхгофа

2. Сформулируйте второй закон Кирхгофа

Оценка _____ Преподаватель _____ (_____)

7. Лабораторная работа № 7 «Определение мощности потерь в проводах и КПД линии».

Цель работы

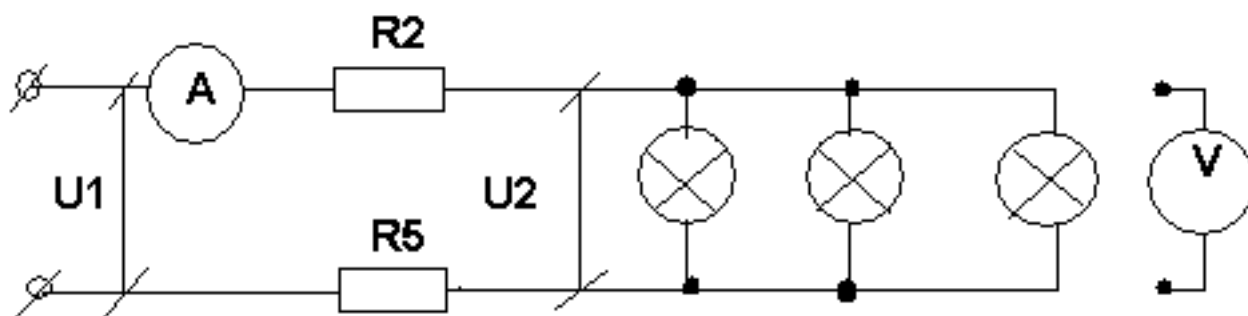
Практически определить мощность потерь в проводах $P_{\text{п}}$ и КПД линии.

Необходимое оборудование и приборы.

- лабораторный стенд,
- резисторы R_1 ; R_2 ,
- ламповый реостат A_x ;
- амперметр A (0-1A);
- вольтметр V (0-600В);
- соединительные провода.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме.



2. После проверки схемы преподавателем установить заданное напряжение U_1 на входе схемы. Переносным вольтметром измерить напряжение U_2 на нагрузке, при условии, что все лампы выключены.

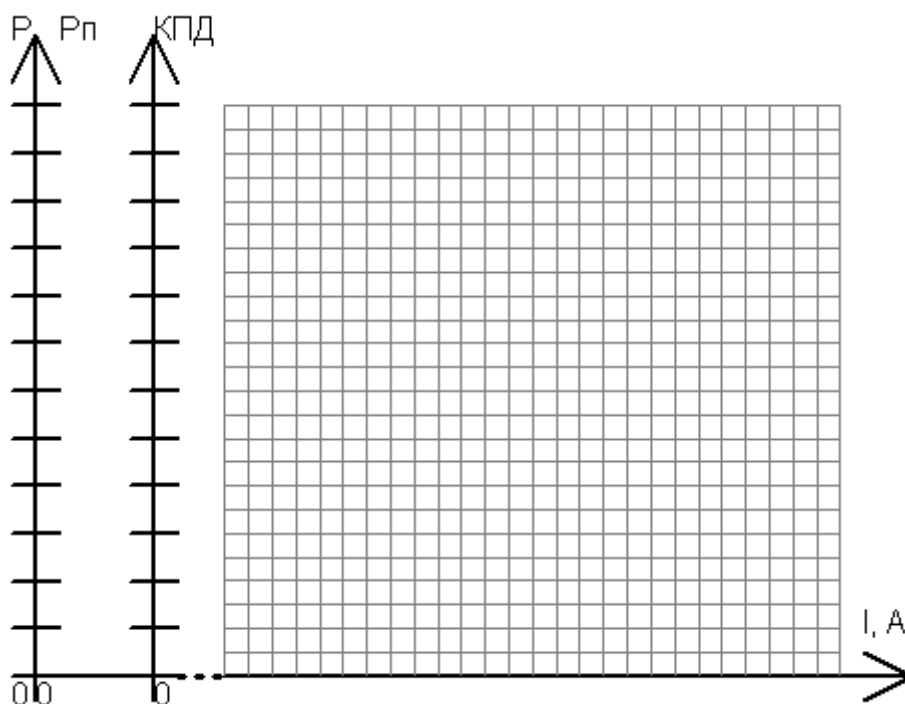
3. Включить одну лампу и повторить замеры, указанные в п.2. В следующих опытах увеличивать по одной число включенных ламп. Результаты измерений занести в таблицу №1.

Таблица №1

U_1	U_2	I	$U_{\text{п}}=U_1-U_2$	P_1	P_2	$P_{\text{п}}=P_1-P_2$	КПД	Примечание
В	В	А	В	Вт	Вт	Вт	%	
								Все лампы выключены
								Включена 1 лампа
								Включены 2 лампы
								Включены 3 лампы

4. По полученным замерам рассчитать потери напряжения, потери мощности и КПД.

5. Построить графики $P = f(I)$, $P_{\text{п}} = f(I)$, $\text{КПД} = f(I)$.



6. Сделать выводы о потерях в проводах.

Контрольные вопросы.

1. Что называется коэффициентом полезного действия ?

2. В чём измеряют количество электрической энергии ?

Оценка _____ Преподаватель _____ (_____)

8. Лабораторная работа №8 «Проверка действия законов электромагнитной индукции».

Цель работы: практическим путем выявить условия, при которых в контуре возникает электродвижущая сила. Установить факторы, влияющие на величину и направление ЭДС.

Приборы и оборудование:

1. Лабораторный стенд электротехнический
2. 2 магнита полосовых
3. Катушки индуктивности с разным количеством витков
4. Гальванометр магнитоэлектрической системы
5. Амперметр постоянного тока
- 6 Вольтметр постоянного тока
7. Соединительные провода

Краткие теоретические сведения

В основу работы различного рода электромагнитных устройств – электрических машин, реле, магнитных пускателей, датчиков и т.д. – положено преобразование электрической энергии в механическую. Наряду с электрической цепью такие устройства содержат магнитную цепь, которая характеризуется магнитным потоком Φ , магнитным сопротивлением R_m и магнитодвижущей силой F .

Подобно тому, как в электрических цепях ток течет от источника к потребителю по проводам, в магнитных цепях магнитный поток передается от источника к потребителю по магнитопроводу. Если для электрического тока сопротивление проводника характеризуется удельным электрическим сопротивлением ρ , то для магнитного потока сопротивление магнитопровода характеризуется магнитной проницаемостью μ . В зависимости от величины μ различают:

ферромагнитные материалы ($\mu \gg 1$) и *немагнитные материалы ($\mu = 1$)*

К ферромагнитным материалам относятся железо и его сплавы, никель, кобальт, к немагнитным – медь, алюминий, воздух.

Источником магнитного потока в цепях постоянного тока могут служить:

постоянный магнит – специальный сплав железа с кобальтом или барием, характеризующийся значительной остаточной намагничивающей силой.

индуктивная катушка с числом витков W , питаемая постоянным током I и создающая намагничивающую силу IW .

Постоянный магнитный поток замыкается по магнитопроводу, в том числе по рабочему воздушному зазору, где и сосредоточивается основная магнитная энергия, преобразуемая в механическую энергию.

Закон электромагнитной индукции устанавливает количественное выражение для индуцированной ЭДС.

Электродвижущая сила, индуцируемая в замкнутом контуре при изменении сцепленного с ним магнитного потока, равна скорости изменения потокосцепления, взятой с отрицательным знаком:

$$E = - d\Phi / dt$$

В этой форме закон электромагнитной индукции дал Фарадей.

ЭДС катушки определяется скоростью изменения ее общего потокосцепления, и общая формула закона электромагнитной индукции имеет вид

$$E = - d\psi / dt$$

Порядок выполнения

1. Изучить теоретическую часть, подготовить отчет и получить допуск к выполнению лабораторной работы.
2. Ознакомиться с приборами и оборудованием, предназначенными для выполнения лабораторной работы.
3. Собрать электрическую цепь по схеме (рис. 10).
4. К катушке имеющей большее количество витков, подключить гальванометр, а к катушке имеющей меньшее количество витков четыре первичных элемента, соединенных последовательно (рис. 10) замкнуть выключатель. Катушку с током вводить и выводить из катушки, соединенной с гальванометром

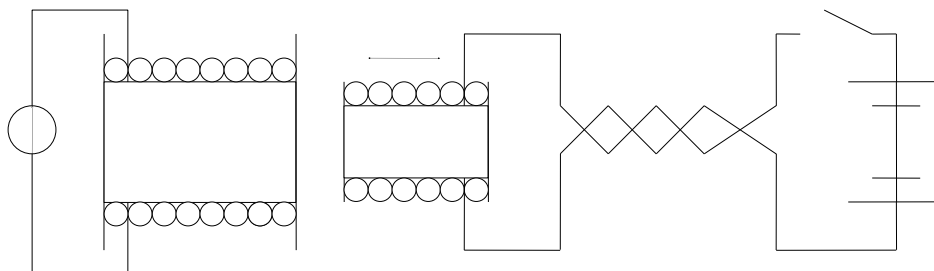


Рис. 10 Электрическая схема для проверки законов электромагнитной индукции

5. Разместить вторую катушку внутри первой, включить и выключить ток во второй катушке, наблюдая за отклонением стрелки гальванометра.
6. Собрать цепь по схеме (рис. 11).

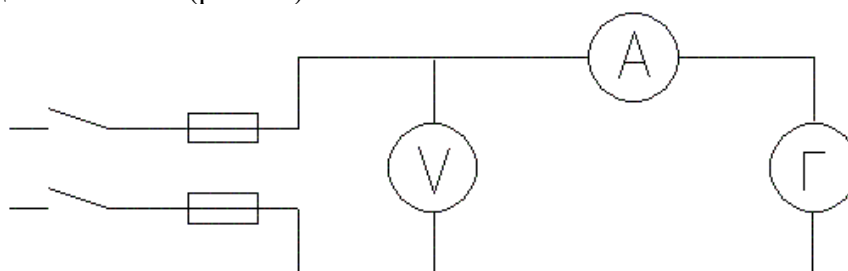


Рис. 11 Электрическая схема для проверки законов электромагнитной индукции

7. После проверки схемы преподавателем включить рубильник и измерить пусковой ток и напряжение. При включенном рубильнике подсчитать сопротивления обмотки якоря двигателя.

$$I_{\text{ном}} = \text{_____ A}$$

$$U = \text{_____ V}$$

$$R_{\text{я}} = \frac{U}{I_{\text{ном.}}}$$

8. Определить величину противо - ЭДС во время холостого хода двигателя

$$E = U - I \times R_{\text{я}} = \text{_____}$$

9. Результаты наблюдений и расчетов показать преподавателю, после его разрешения разобрать цепь и привести в порядок рабочее место.

10. После выполнения работы написать вывод и ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчета

1. Электрическая схема для проверки законов электромагнитной индукции
2. Таблица с результатами измерений и вычислений.
3. Ответы на контрольные вопросы.
4. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Из чего состоит магнитная цепь?

2. Что служит источником магнитного потока в цепях постоянного тока?

3. Сформулируйте закон электромагнитной индукции

4. Что такое магнитная проницаемость?

5. Как изменится индукция, если поменять направление тока в катушке или изменить направление ее намотки?

6. Запишите формулы для расчета индукции внутри катушки и поясните их особенности.

8. От каких факторов зависит магнитная индукция?

9. Как направлен вектор магнитной индукции?

Вывод:

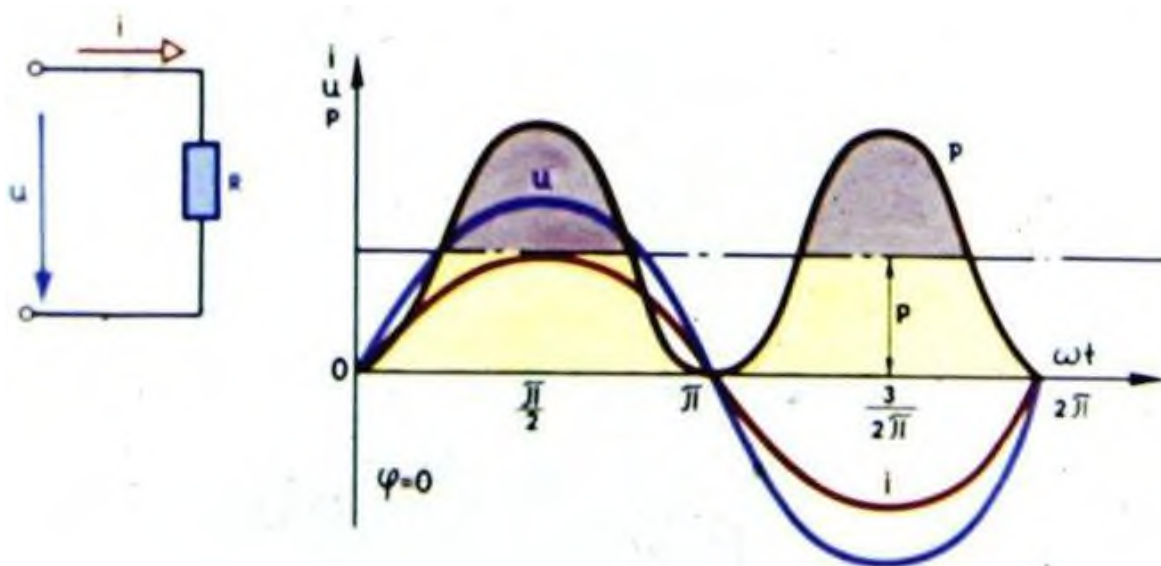
9. Лабораторная работа № 9 «Исследование цепи переменного тока с последовательным соединением активного сопротивления и индуктивности».

Цель работы

Опытным путём проверить основные свойства цепи переменного тока, обладающей активным сопротивлением и индуктивностью.

Краткие теоретические сведения.

Цепь с резистивным элементом.



Мгновенные значения $i = I_{\text{макс}} \cdot \sin \omega t$ $u = U_{\text{макс}} \cdot \sin \omega t$

Действующие значения $U = U_{\text{макс}} / \sqrt{2}$ $I = I_{\text{макс}} / \sqrt{2}$

Активная мощность (средняя за период) $P = UI = I^2 R$ (Вт)

Активное сопротивление $R = P / I^2$

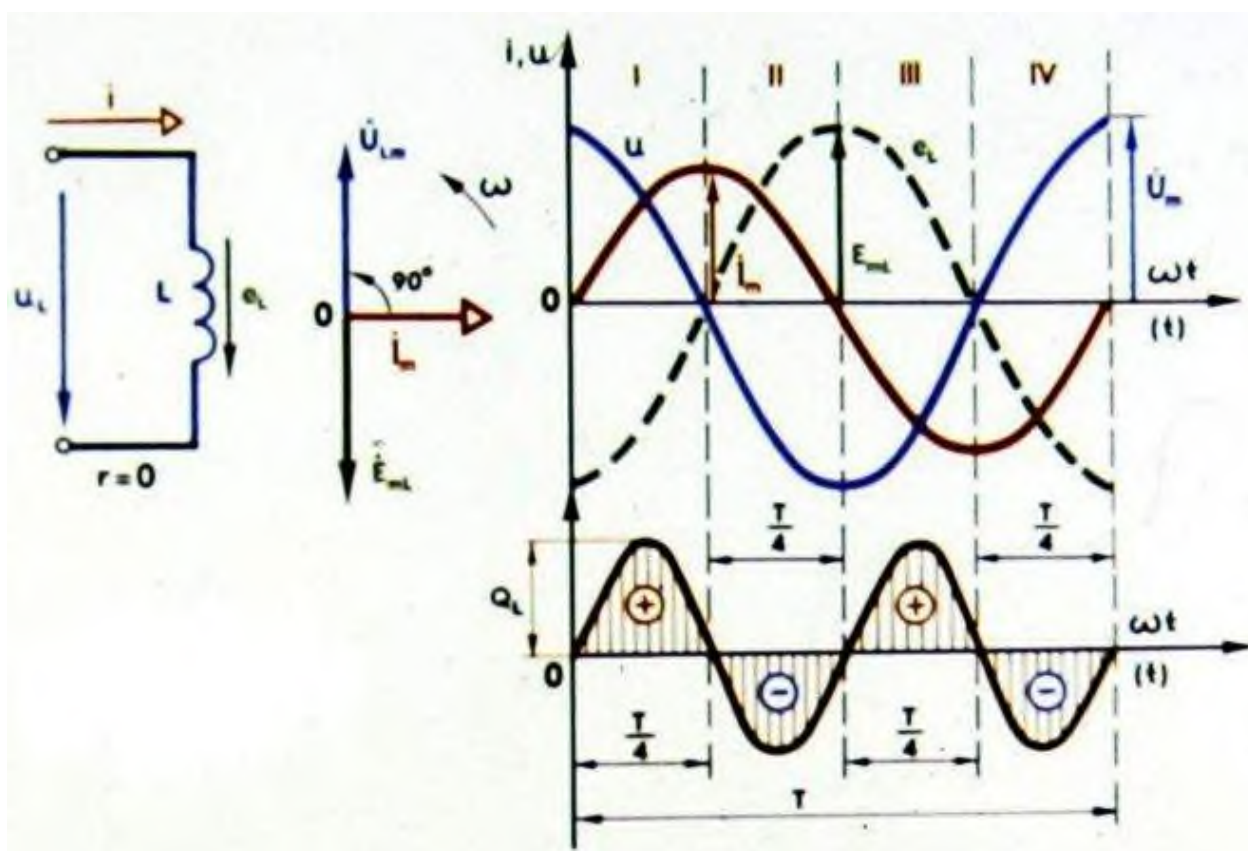
В цепи, содержащей только сопротивление, ток совпадает по фазе с напряжением.



Закон Ома для действующих значений в этой цепи будет иметь такую же форму, как для цепи постоянного тока

$$I = U/r.$$

Цепь с индуктивностью.



Мгновенные значения $i = I_{\text{макс}} \cdot \sin \omega t$ $u = U_{\text{макс}} \cdot \cos \omega t$

Индуктивное сопротивление $X_L = \omega \cdot L$

Максимальное значение мгновенной мощности в такой цепи называется реактивная мощность $Q_L = UI = I^2 \cdot \omega \cdot L$ (Вар)

Единицы реактивной мощности такие же, как у активной, но для ясности, о какой мощности идёт речь называют **вольт – ампер реактивный (вар)**.

ЭДС самоиндукции противодействует изменениям тока, и в цепи, содержащей только индуктивность, ток отстаёт по фазе от напряжения на четверть периода, то есть $\varphi = \pi/2$.

Закон Ома для такой цепи имеет вид:

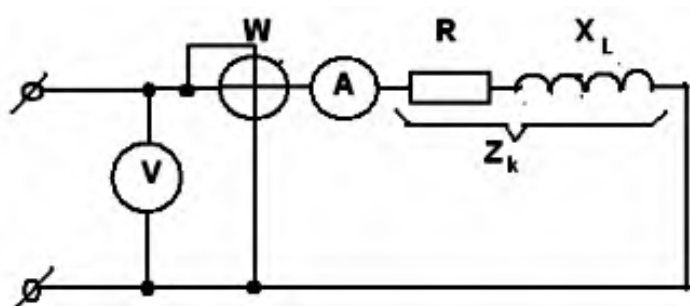
$$I = U/X_L = U/\omega L.$$

Необходимое оборудование и приборы.

- лабораторный стенд;
- катушка индуктивности Z_k ;
- ваттметр W ;
- амперметр A (0-1А);
- вольтметр V (0-600В);
- соединительные провода.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме:



2. После проверки схемы преподавателем включить заданное напряжение и установить в цепи наибольшую величину тока (выдвигая сердечник из катушки). Постепенно вводить сердечник в катушку, останавливаясь на тех значениях тока, которые удобны для отчёта. Показания приборов занести в таблицу №1.

Таблица №1

Показ. приборов			Результаты расчёта								
U	I	P	Z	R	X _L	L	cos φ	U _R	U _L	Q	S
В	А	Вт	Ом	Ом	Ом	Гн		В	В	Вар	ВА

3. Произвести необходимые вычисления. Результаты расчётов занести в таблицу №1. (формулы для расчёта: $Z=U/I$; $R=P/I^2$; $X_L=\sqrt{Z^2-R^2}$; $L=X_L/\omega$, где $\omega=2\pi f$ ($f=50$ Гц); $\cos \varphi = R/Z$; $U_R=U \cdot \cos \varphi$; $U_L=\sqrt{U^2-U_R^2}$; $Q = U_L \cdot I$; $S = U \cdot I$).
4. Построить векторные диаграммы напряжений для первого и пятого опыта. Построение векторной диаграммы начинается с выбора направления вектора тока



-
- This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

37

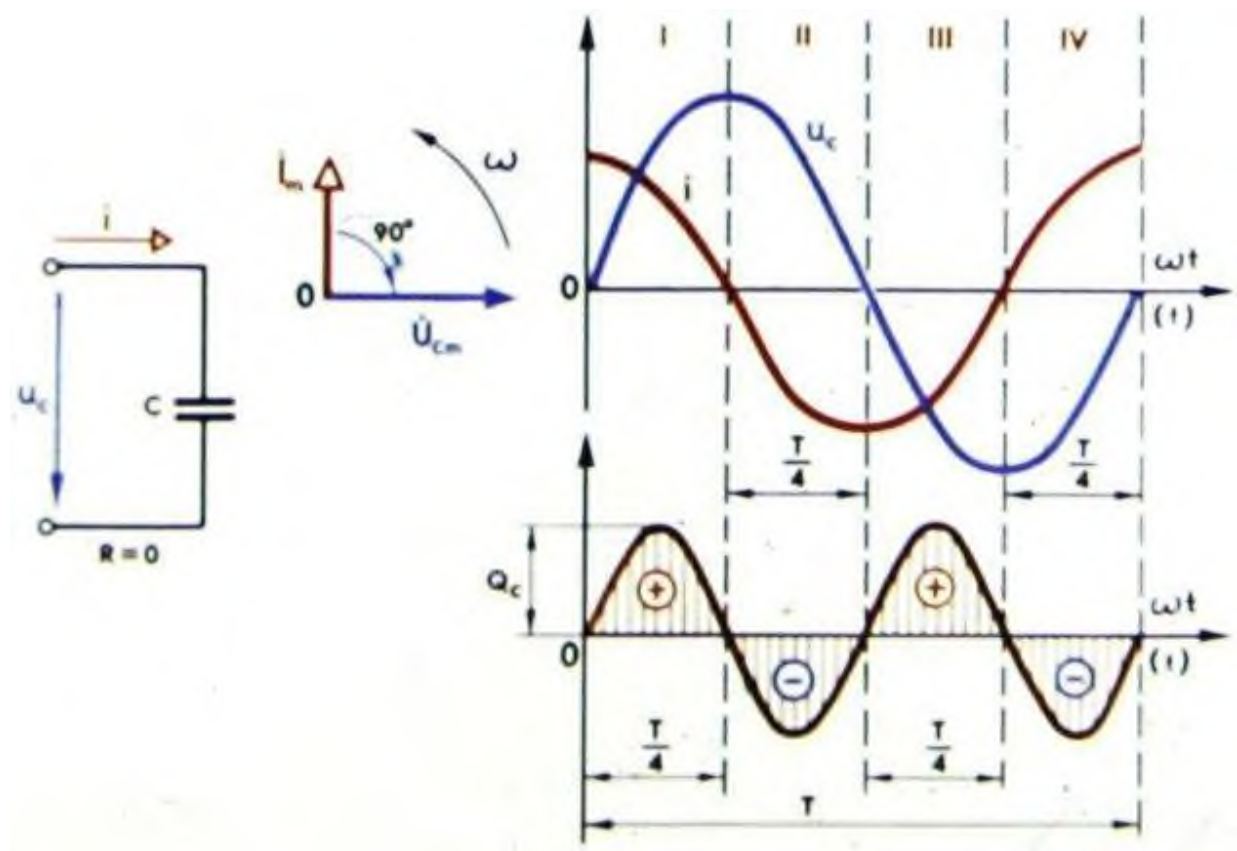
10. Лабораторная работа № 10 «Исследование цепи переменного тока с последовательным соединением активного сопротивления и ёмкости».

Цель работы

Опытным путём проверить основные свойства цепи переменного тока, обладающей активным и ёмкостным сопротивлением.

Краткие теоретические сведения.

Цепь с ёмкостью.



Мгновенные значения $u = U_{\max} \cdot \sin \omega t$ $i = I_{\max} \cdot \sin (\omega t + \pi/2)$

Индуктивное сопротивление $X_c = 1/\omega C$

Реактивная мощность $Q_c = UI = \omega C U^2$ (Вар)

Синусоидальный переменный ток, проходящий через ёмкость, опережает по фазе напряжение на четверть периода, то есть $\varphi = -\pi/2$

Закон Ома для такой цепи имеет вид

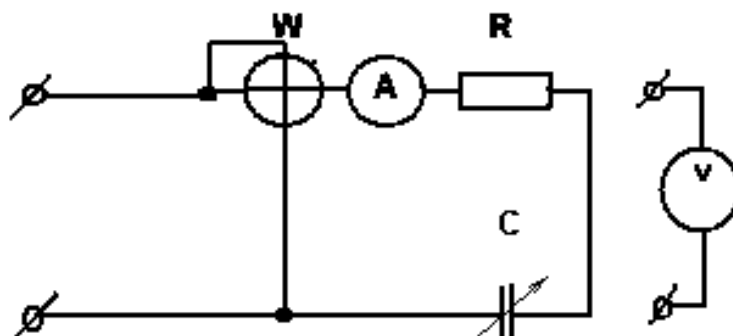
$$I = U\omega C = U/X_C$$

Необходимое оборудование и приборы.

- лабораторный стенд;
- магазин ёмкостей C ;
- ваттметр W ;
- амперметр A ;
- вольтметр V ;
- соединительные провода.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме:



2. После проверки схемы преподавателем, включить заданное напряжение. Установить некоторое значение C . Замерить и записать в таблицу следующие параметры: общее напряжение U ; ток I ; напряжение на сопротивлении U_R ; напряжение на ёмкости U_C и мощность P . Повторить указанные действия 5 раз, каждый раз увеличивая ёмкость C .
3. Результаты измерений записать в таблицу №1.

Таблица №1

Показ. приборов					Результаты расчёта						
U	U_R	U_C	I	P	R	Z	X_C	C	$\cos \varphi$	Q	S
В	В	В	А	Вт	Ом	Ом	Ом	Ф		Вар	ВА

4. Произвести необходимые вычисления. Формулы для расчёта: $R=P/I^2$; $Z=U/I$; $X_C=\sqrt{(Z^2-R^2)}$; $C=1/(\omega \cdot X_C)$, где $\omega=2\pi f$ ($f=50$ Гц); $\cos \varphi = R/Z$; $Q = U_C \cdot I$; $S = U \cdot I$.

5. Построить векторные диаграммы для первого и пятого опытов. Построение векторной диаграммы начинается с выбора направления вектора тока (обычно по оси ОХ). Векторная диаграмма тока и напряжения должна быть построена в масштабе по напряжению (например $10 \text{ В} = 1 \text{ см}$), с учётом того, что активное напряжение совпадает по фазе с током, а ёмкостное отстаёт от тока на угол 90° . Угол отставания откладывается от вектора тока по часовой стрелки. Таким образом строим векторные диаграммы согласно расчётным значениям для первого и последнего опытов.

[illegible]

6. Сделать вывод по работе. В выводе должно быть подробно объяснено, почему ток увеличивается с увеличением ёмкости.

[illegible]

Оценка _____ Преподаватель _____ (_____)

11. Лабораторная работа № 11 «Исследование цепи переменного тока с параллельным соединением катушек индуктивности».

Цель работы:

Научиться рассчитывать и собирать цепи переменного тока с параллельным соединением катушек индуктивности.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Для схемы на рисунке рассчитать действующие значения токов (I , I_1 , I_2), активную (P , P_1 , P_2), реактивную (Q , Q_1 , Q_2) и полную (S , S_1 , S_2) мощности, углы фазовых отставаний токов от напряжения (φ , φ_1 , φ_2) во всех ветвях цепи, согласно данных своего варианта в таблице №1.

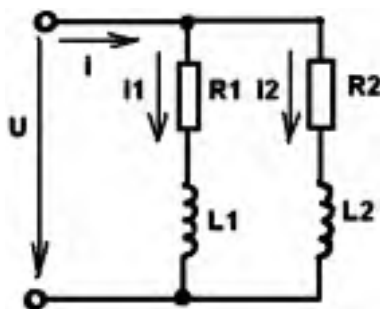


Таблица №1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R1; Ом	100	100	100	100	100	10	200	400	600	900	100	100	100	100	100
L1; Гн	0,8	0,6	0,4	0,2	0,05	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
L2; Гн	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,4	1,8	2,5	0,6	0,2

Для всех вариантов $R_2=200$ Ом; $U=220$ В; $f=50$ Гц

Методика расчёта.

Найдём угловую частоту:

$$\omega=2\pi f; \text{ рад./сек.}$$

Индуктивные сопротивления:

$$X_{L1}=\omega \cdot L_1; \quad X_{L2}=\omega \cdot L_2; \quad \text{Ом.}$$

Полные сопротивления ветвей:

$$Z_1=\sqrt{(R_1^2+X_{L1}^2)}; \quad Z_2=\sqrt{(R_2^2+X_{L2}^2)}; \quad \text{Ом.}$$

Действующие значения токов в ветвях:

$$I_1=U/Z_1; \quad I_2=U/Z_2; \quad \text{А.}$$

Углы фазовых отставаний тока от напряжения в ветвях:

$$\varphi_1= \arctg (X_{L1}/Z_1); \quad \varphi_2= \arctg (X_{L2}/Z_2).$$

Действующий ток в неразветвлённой части цепи:

$$I = \sqrt{(I_1^2 + I_2^2 + 2I_1I_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1))}; \quad A.$$

Угол фазового отставания тока от напряжения в неразветвлённой части цепи:

$$\varphi = \arctg \left((I_1 \sin \varphi_1 + I_2 \sin \varphi_2) / (I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2) \right).$$

Активные мощности:

$$P_1 = UI_1 \cos \varphi_1; \quad P_2 = UI_2 \cos \varphi_2; \quad P = UI \cos \varphi; \quad B_T$$

Реактивная мощность:

$$Q_1 = UI_1 \sin \varphi_1; \quad Q_2 = UI_2 \sin \varphi_2; \quad Q = UI \sin \varphi; \quad B_{Ap}$$

Полные мощности:

$$S_1 = UI_1; \quad S_2 = UI_2; \quad S = UI; \quad B_A$$

2. Результаты расчётов занести в таблицу №2.

Таблица №2

I1; A	I2; A	I; A	φ_1 ; град.	φ_2 ; град.	φ ; град.	P1; Вт	P2; Вт	P; Вт	Q1; ВА р	Q2; ВАр	Q; ВАр	S1; ВА	S2; ВА	S; ВА

3. Загрузить программу Circuit Simulator.

4. Собрать виртуальную схему согласно рисунка:



3. Выставить параметры элементов согласно своего варианта.

4. Для измерения переменных токов используются мультиметры (для измерения тока I используется амперметр 1, для I1 – амперметр 2, для амперметр 3).

5. С помощью амперметров измерить токи в цепях.

6. Результаты вычислений и измерений занести в таблицу №3.

Таблица №3

12. Лабораторная работа № 12 «Проверка свойств резонанса напряжений».

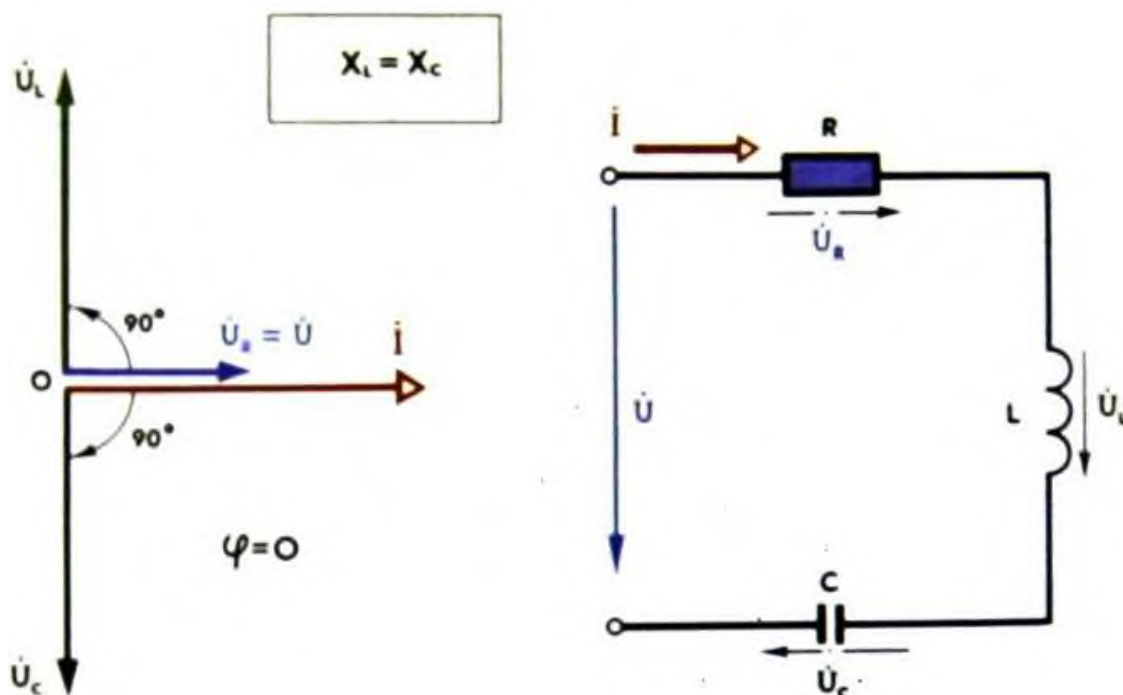
Цель работы

Опытным путём установить резонанс напряжений и проверить его основные свойства.

Краткие теоретические сведения.

Резонанс напряжений.

Резонанс напряжений возникает в последовательной R, L, C цепи.



По критериям резонанса реактивная составляющая входного сопротивления равна 0.

$$X = X_L - X_C = \omega_0 L - 1/\omega_0 C = 0, \text{ т. е.}$$

$$X_L = X_C \text{ или } \omega_0 L = 1/\omega_0 C$$

Поэтому, частота, с которой наступает резонанс (**угловая резонансная частота**)

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$$

Так, как частота $f = \omega / 2\pi$, то **резонансная частота**

$$f_0 = 1 / 2\pi \sqrt{LC}$$

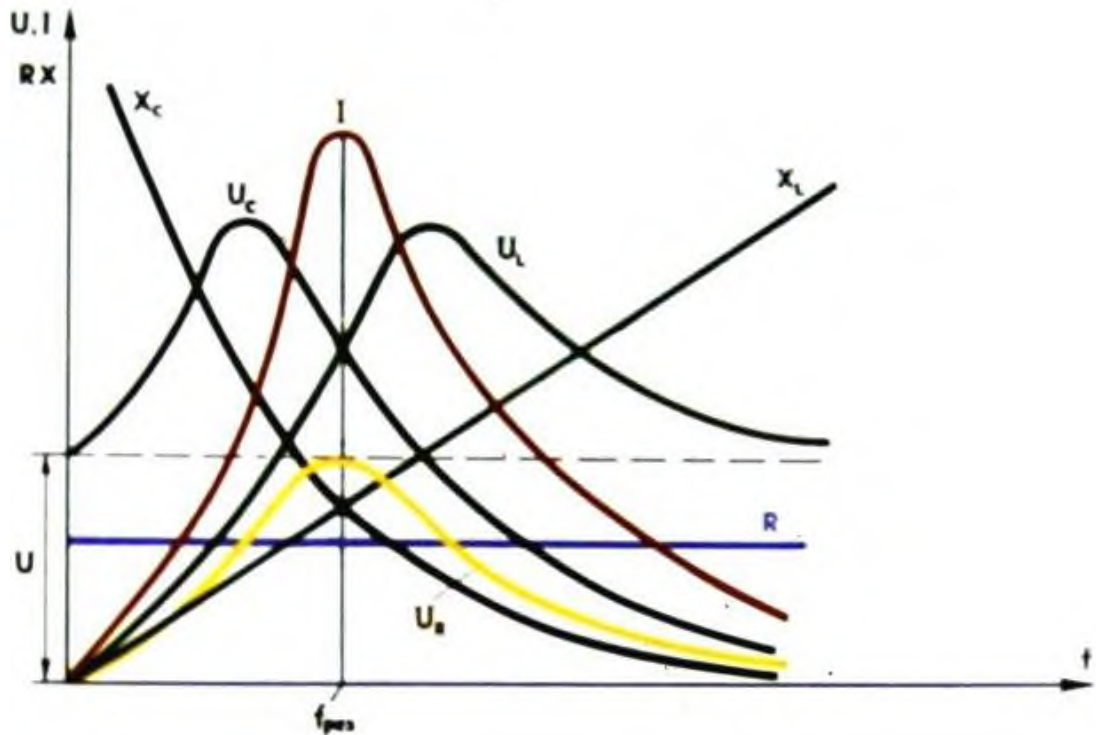
При резонансе сопротивление

$$\omega_0 L = 1/\omega_0 C = \sqrt{L/C} = \rho$$

и называется **характеристическим сопротивлением** последовательного контура.

Действующее значение напряжений на ёмкости и индуктивности получаются одинаковыми (поэтому назвали **резонанс напряжений**).

$$U_L = U_C$$



Добротность контура

$$q = U_L/U = U_C/U = \rho/R = \omega_0 L/R = 1/\omega_0 CR$$

Активная мощность

$$P = U_A I = R I^2$$

Реактивная мощность

$$Q = UI \sin \varphi = 0, \text{ так как } \varphi = 0$$

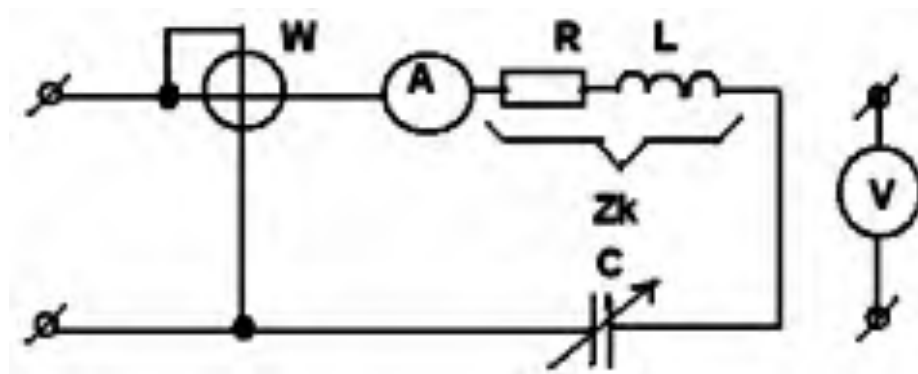
Необходимое оборудование и приборы.

- лабораторный стенд;
- магазин емкостей C;
- катушка индуктивности Zk;
- ваттметр W;
- амперметр A ;

- вольтметр V;
- соединительные провода.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме

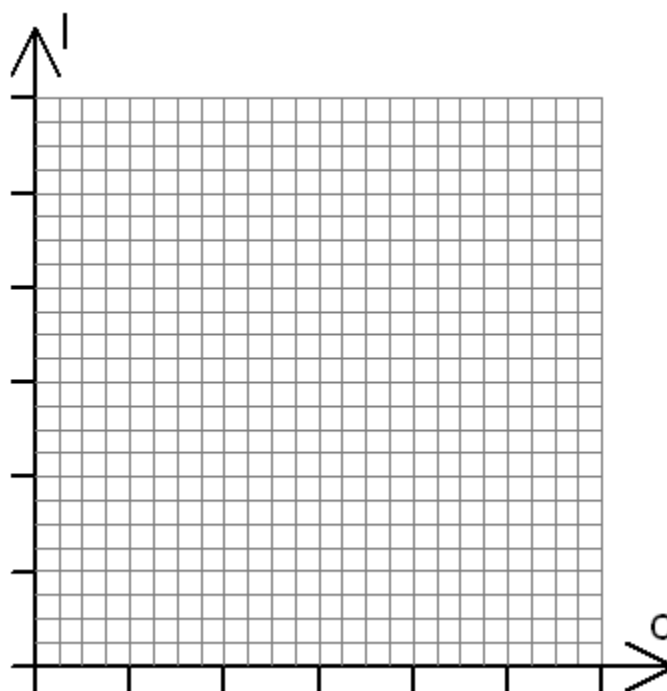


2. После проверки схемы преподавателем, включить заданное напряжение (не более 25 В). Изменяя ёмкость C, найти резонанс напряжений, при этом ток в цепи достигает максимального значения. Результаты измерений занести в таблицу.
3. Снять по 2 показания при ёмкости меньше резонансной и при ёмкости больше резонансной. Результаты измерений занести в таблицу №1.

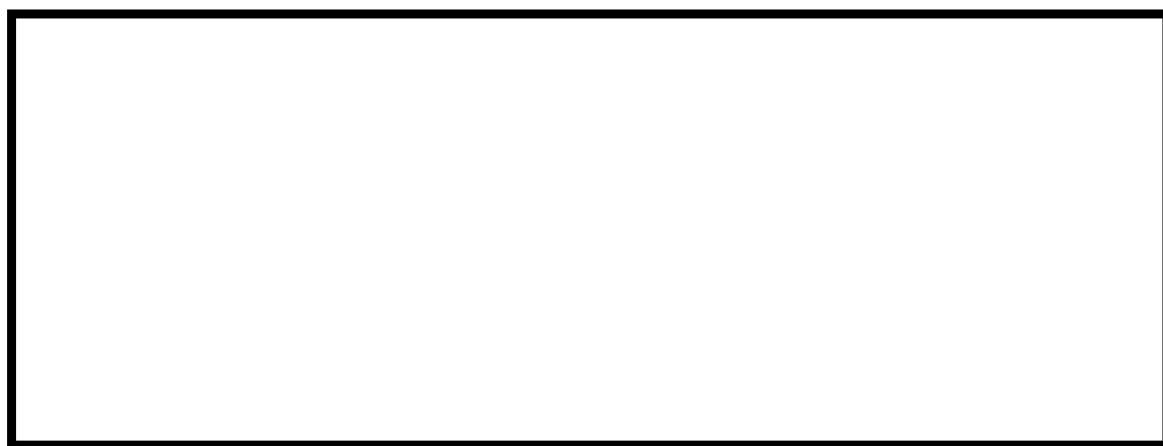
Таблица №1

Показания приборов						Результаты расчётов									Примечание
U	U _k	U _c	I	P	C	R	X _L	X _C	Z	U _L	U _R	cosφ	Q	S	
В	В	В	А	Вт	мкФ	Ом	Ом	Ом	Ом	В	В		ВА р	ВА	
															C < C _p
															C = C _p
															C > C _p

4. Произвести необходимые вычисления. Формулы для расчёта: $R = P/I^2$; $Z = U/I$; $U_R = R \cdot I$; $U_L = \sqrt{(U_k^2 - U_R^2)}$; $X_L = U_L/I$; $X_C = U_C/I$; $\cos \varphi = R/Z$; $Q = \sqrt{(S^2 - P^2)}$; $S = U \cdot I$. Результаты расчётов занести в таблицу №1.
5. Построить график зависимости $I = f(C)$.



6. Построить векторные диаграммы. Построение векторной диаграммы начинается с выбора направления вектора тока (обычно по оси ОХ). Векторная диаграмма напряжения должна быть построена в масштабе по напряжению (например $10 \text{ В} = 1 \text{ См}$), с учётом того, что активное напряжение совпадает по фазе с током, индуктивное опережает на угол 90° , а ёмкостное - отстаёт от тока на угол 90° . Угол опережения откладывается от вектора тока против часовой стрелки, а угол отставания по часовой стрелке. Необходимо построить векторные диаграммы для первого, третьего и последнего опытов (3 диаграммы).



7. Сделать выводы по работе. В выводе должно быть подробно объяснено, как ведёт себя ток (увеличивается или уменьшается) в зависимости от изменения ёмкости. Должно быть определено, в каком опыте произошёл резонанс напряжений.

Контрольные вопросы.

1. Напишите формулу резонансной частоты.

2. Какое сопротивление называется характеристическим ?

Оценка _____ Преподаватель _____ (_____)

13. Лабораторная работа № 13 «Проверка свойств резонанса ТОКОВ».

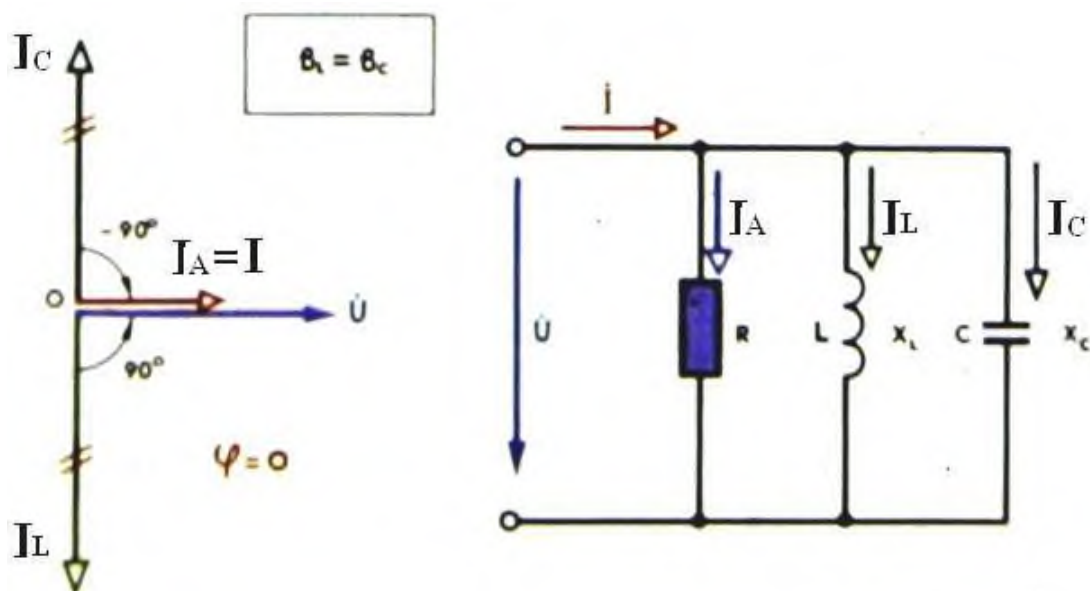
Цель работы:

Опытным путём убедиться в свойствах резонанса тока.

Краткие теоретические сведения.

Резонанс токов.

Резонанс токов возникает в цепи, содержащей, параллельно включенные емкость и индуктивность.



По критериям резонанса реактивная составляющая входной проводимости равна 0.

$$b = b_L - b_C = 1/\omega_0 L - \omega_0 C = 0, \text{ т. е.} \\ b_L = b_C \text{ или } 1/\omega_0 L = \omega_0 C$$

Угловая резонансная частота

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$$

Резонансная частота

$$f_0 = 1 / 2\pi \sqrt{LC}$$

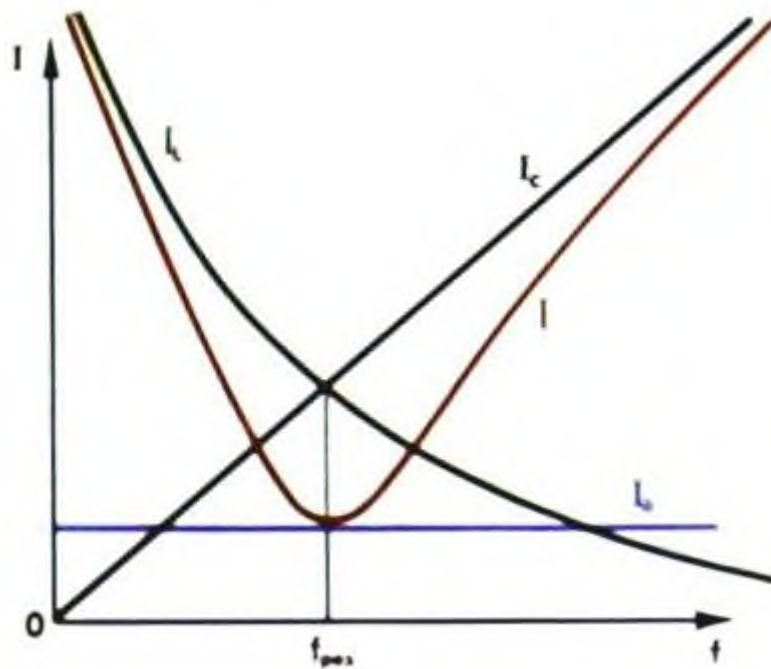
Проводимостм

$$\omega_0 C = 1/\omega_0 L = \sqrt{C / L} = \beta$$

называется **характеристической проводимостью** параллельного контура.

Действующее значение токов через ёмкость и индуктивность получаются одинаковыми (поэтому назвали **резонанс токов**).

$$I_L = I_C$$



Активная мощность

$$P = UI_A = U^2/R$$

Реактивная мощность

$$Q = UI \sin \varphi = 0, \text{ так как } \varphi = 0$$

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Для схемы на рисунке рассчитать все токи (I , I_1 , I_2 , I_3) и резонансную частоту (f_0), согласно данным своего варианта в таблице №1.

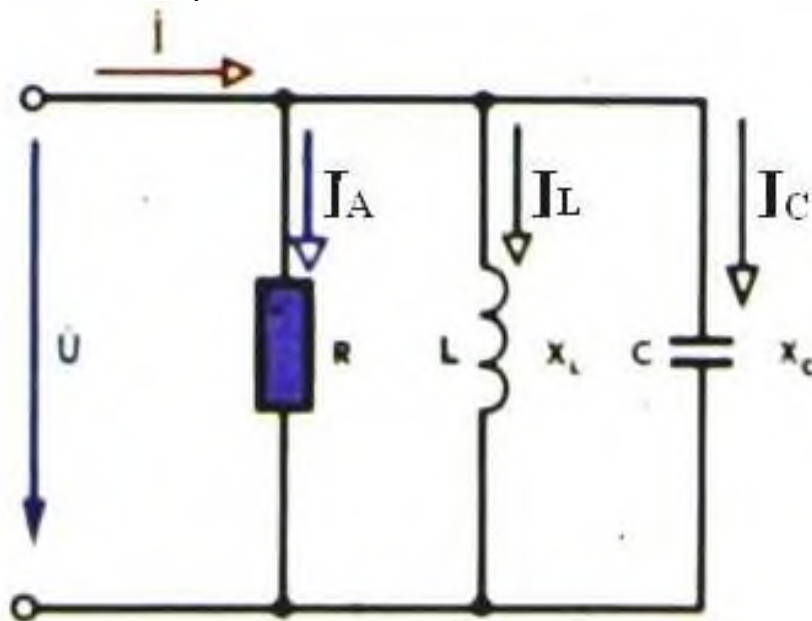


Таблица №1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
L; мГн	20	25	30	40	60	100	180	300	600	100	100	100	100	100	100
C; мкФ	10	10	10	10	10	10	10	10	10	1	5	20	30	40	50

Для всех вариантов $U = 100$ В, $R = 100$ Ом.

Методика расчёта.

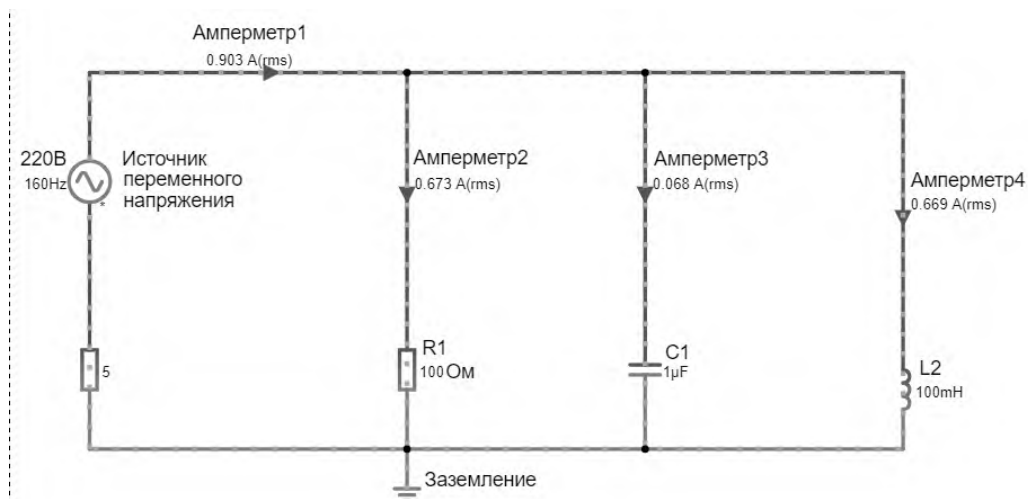
Токи в ветвях.

$$I_A = U / R; \quad I_L = U / (2\pi f \cdot L); \quad I_C = U \cdot 2\pi f \cdot C; \quad I = \sqrt{I_A^2 + (I_L - I_C)^2}; \quad A$$

Резонансная частота.

$$f_0 = 1 / (2\pi\sqrt{LC})$$

1. Загрузить программу Circuit Simulator.
2. Собрать виртуальную схему согласно рисунка:



3. Выставить параметры согласно своего варианта (f_0 согласно рассчитанной величины).
4. С помощью амперметров измерить токи в цепях.
5. Результаты вычислений и измерений занести в таблицу №2.

Таблица №2

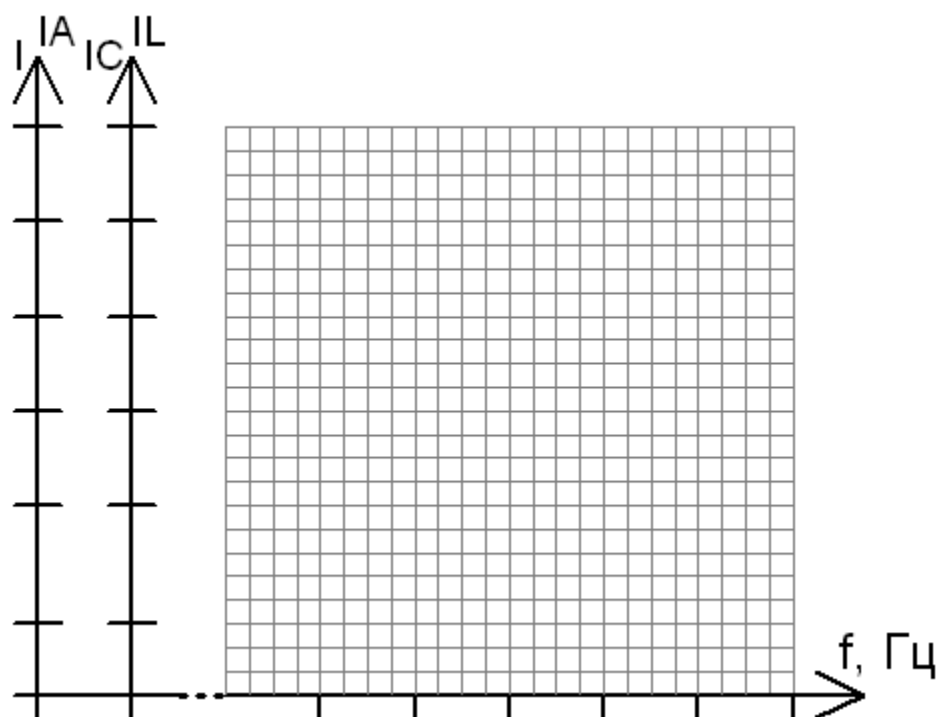
Ток	Расчётное значение	Измеренное значение
I ; А		
I_A ; А		
I_C ; А		
I_L ; А		

6. Изменяя частоту согласно таблицы №3, измерить токи во всех ветвях. Результаты занести в таблицу №3.

Таблица №3

$f\%$	$f = f\% \cdot f_0 / 100$	I	I_A	I_C	I_L
%	Гц	А	А	А	А
300					
150					
100					
60					
20					

7. Построить графики функций $I = f(f)$, $I_A = f(f)$, $I_C = f(f)$, $I_L = f(f)$ на одной координатной плоскости.



8. Сделать вывод о свойствах резонанса токов.

Контрольные вопросы.

1. В какой цепи возникает резонанс токов ?

2. Какая проводимость называется характеристической ?

Оценка _____ Преподаватель _____ (_____)

14. Лабораторная работа № 14 «Исследование трёхфазной цепи при включении потребителей звездой».

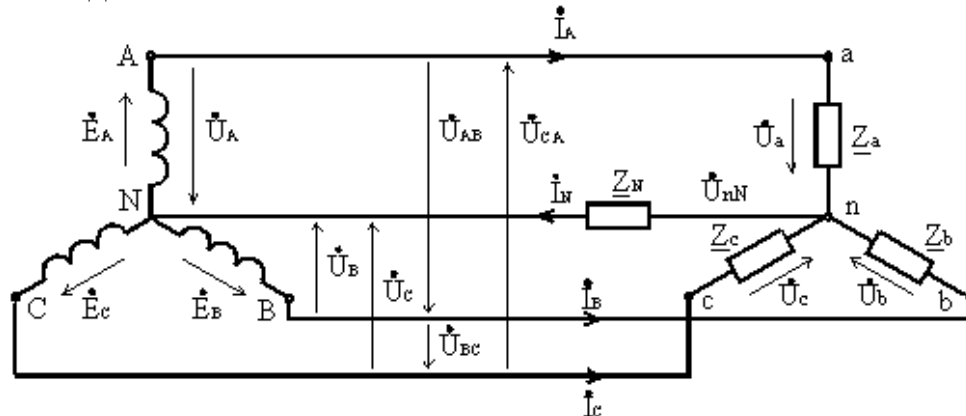
Цель работы

Проверить основные соотношения в цепи трёхфазного тока при включении потребителей звездой.

Краткие теоретические сведения.

Соединение фаз генератора и приемника звездой.

При соединении фаз обмотки генератора звездой их концы X, Y и Z соединяют в одну общую точку N, называемую **нейтральной точкой (или нейтралью)**. Концы фаз приемников (Z_a , Z_b , Z_c) также соединяют в одну точку n. Такое соединение называется **соединение звезда**.



Провода A–a, B–b и C–c, соединяющие начала фаз генератора и приемника, называются **линейными**, провод N–n, соединяющий точку N генератора с точкой n приемника, – **нейтральным**.

Фазное напряжение U_F – напряжение между началом и концом фазы или между линейным проводом и нейтралью (U_A , U_B , U_C у источника; U_a , U_b , U_c у приемника). Если сопротивлением проводов можно пренебречь, то фазное напряжение в приемнике считают таким же, как и в источнике. ($U_A=U_a$, $U_B=U_b$, $U_C=U_c$). За условно положительные направления фазных напряжений принимают направления от начала к концу фаз.

Линейное напряжение (U_L) – напряжение между линейными проводами или между одноименными выводами разных фаз (U_{AB} , U_{BC} , U_{CA}). Условно положительные направления линейных напряжений приняты от точек, соответствующих первому индексу, к точкам соответствующим второму индексу.

По аналогии с фазными и линейными напряжениями различают также фазные и линейные токи:

Фазные (I_F) – это токи в фазах генератора и приемников.

Линейные (I_L) – токи в линейных проводах.

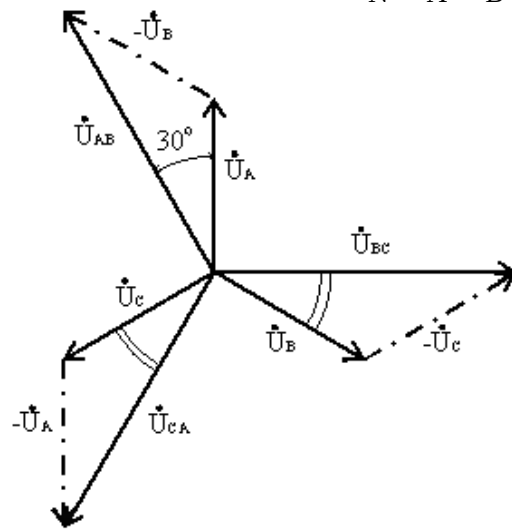
При соединении в звезду фазные и линейные токи равны

$$I_F = I_L.$$

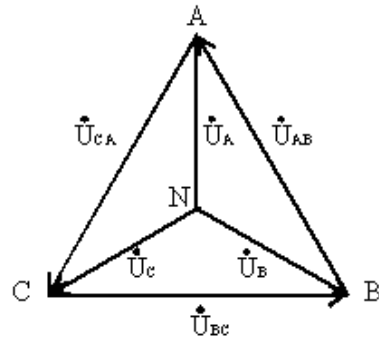
Ток, протекающий в нейтральном проводе, обозначают I_N .

По первому закону Кирхгофа для нейтральной точки n (N) имеем в комплексной форме

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$$



а)



б)

В соответствии с выбранными условными положительными направлениями фазных и линейных напряжений запишем уравнения по второму закону Кирхгофа.

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B; \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C; \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A.$$

Из векторной диаграммы видно, что при симметричной системе фазных напряжений система линейных напряжений тоже симметрична: U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} равны по величине и сдвинуты по фазе относительно друг друга на 120° (общее обозначение U_L), и опережают, соответственно, векторы фазных напряжений U_A, U_B, U_C , (U_ϕ) на угол 30° .

Действующие значения линейных напряжений:

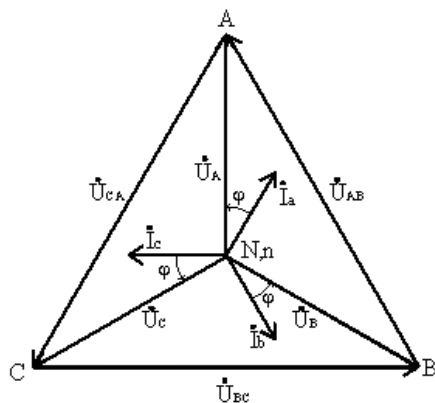
$$U_L = 2U_\phi \cos 30^\circ \text{ или } U_L = \sqrt{3} U_\phi$$

Симметричная нагрузка приемника при соединении звездой.

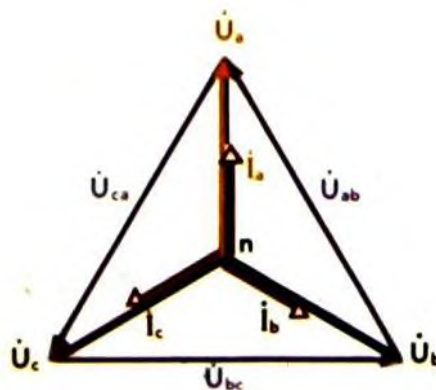
При симметричной системе напряжений и симметричной нагрузке, когда $Z_a = Z_b = Z_c$, т.е. когда $R_a = R_b = R_c = R_\phi$ и $X_a = X_b = X_c = X_\phi$, фазные токи равны по значению и углы сдвига фаз одинаковы

$$I_a = I_b = I_c = I_\phi = U_\phi / Z_\phi,$$

$$\varphi_a = \varphi_b = \varphi_c = \varphi = \arctg (X_\phi / R_\phi).$$



$$\varphi \neq 0$$



$$\varphi = 0 \text{ (симметричная активная нагрузка)}$$

Геометрическая сумма трех векторов тока равна нулю: $\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0$. Следовательно, в случае симметричной нагрузки ток в нейтральном проводе $I_N = 0$, поэтому необходимость в нейтральном проводе отпадает.

Несимметричная нагрузка приемника при соединении звездой.

При симметричной системе напряжений и несимметричной нагрузке, когда $Z_a \neq Z_b \neq Z_c$ и $\varphi_a \neq \varphi_b \neq \varphi_c$ токи в фазах потребителя различны и определяются по закону Ома

$$\dot{I}_a = \dot{U}_a / Z_a; \dot{I}_b = \dot{U}_b / Z_b; \dot{I}_c = \dot{U}_c / Z_c.$$

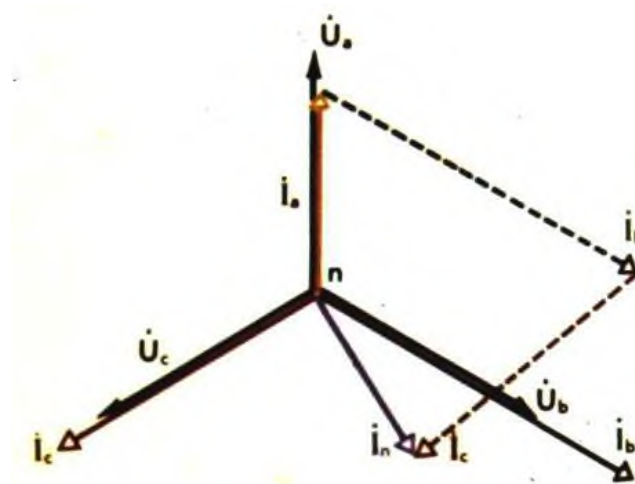
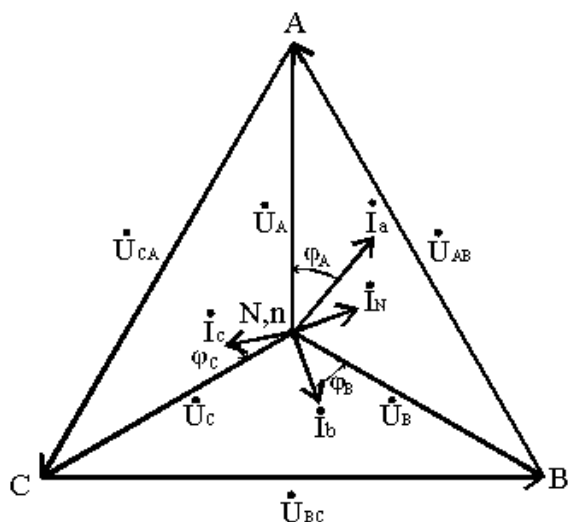
Ток в нейтральном проводе $\dot{I}_N$ равен геометрической сумме фазных токов

$$\dot{I}_N = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c.$$

Напряжения будут $U_a = U_A$; $U_b = U_B$; $U_c = U_C$, $U_\phi = U_L / \sqrt{3}$, благодаря нейтральному проводу при $Z_N = 0$.

Следовательно, нейтральный провод обеспечивает симметрию фазных напряжений приемника при несимметричной нагрузке.

В четырехпроводную сеть включают однофазные несимметричные нагрузки, например, электрические лампы накаливания. Режим работы каждой фазы нагрузки, находящейся под неизменным фазным напряжением генератора, не будет зависеть от режима работы других фаз.



При активной нагрузке

Нейтральный провод необходим для того, чтобы:

- выравнивать фазные напряжения приемника при несимметричной нагрузке;
- подключать к трехфазной цепи однофазные приемники с номинальным напряжением в $\sqrt{3}$ раз меньше номинального линейного напряжения сети.

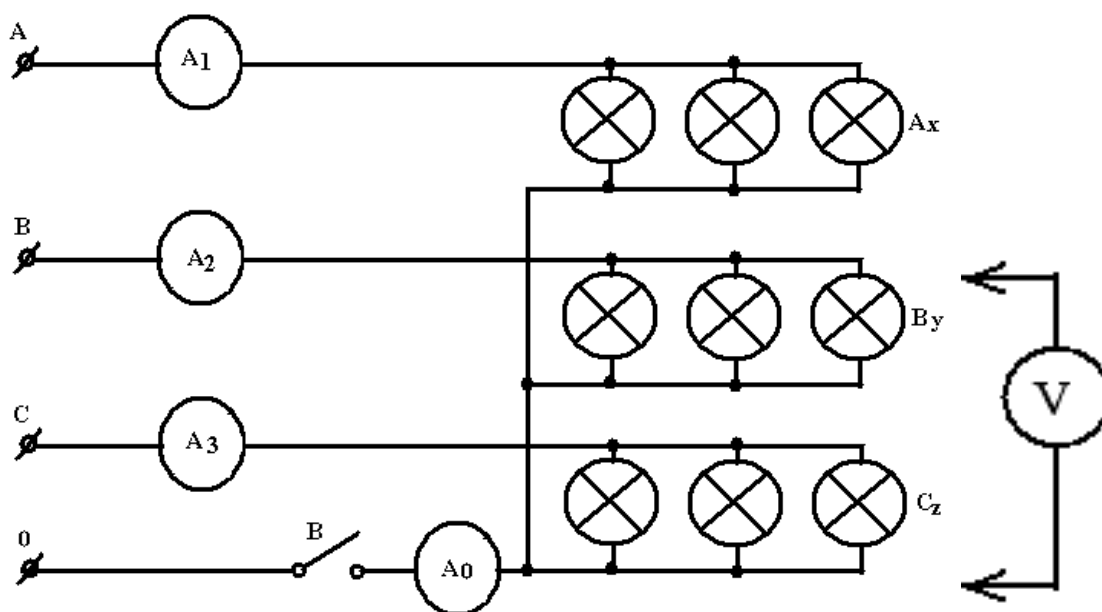
В цепь нейтрального провода нельзя ставить предохранитель, так как перегорание предохранителя приведет к разрыву нейтрального провода и появлению значительных перенапряжений на фазах нагрузки.

Необходимое оборудование и приборы.

- лабораторный стенд;
- ламповые реостаты A_x, B_y, C_z ;
- амперметры A_1, A_2, A_3, A_0 ;
- вольтметр V ;
- соединительные провода.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме



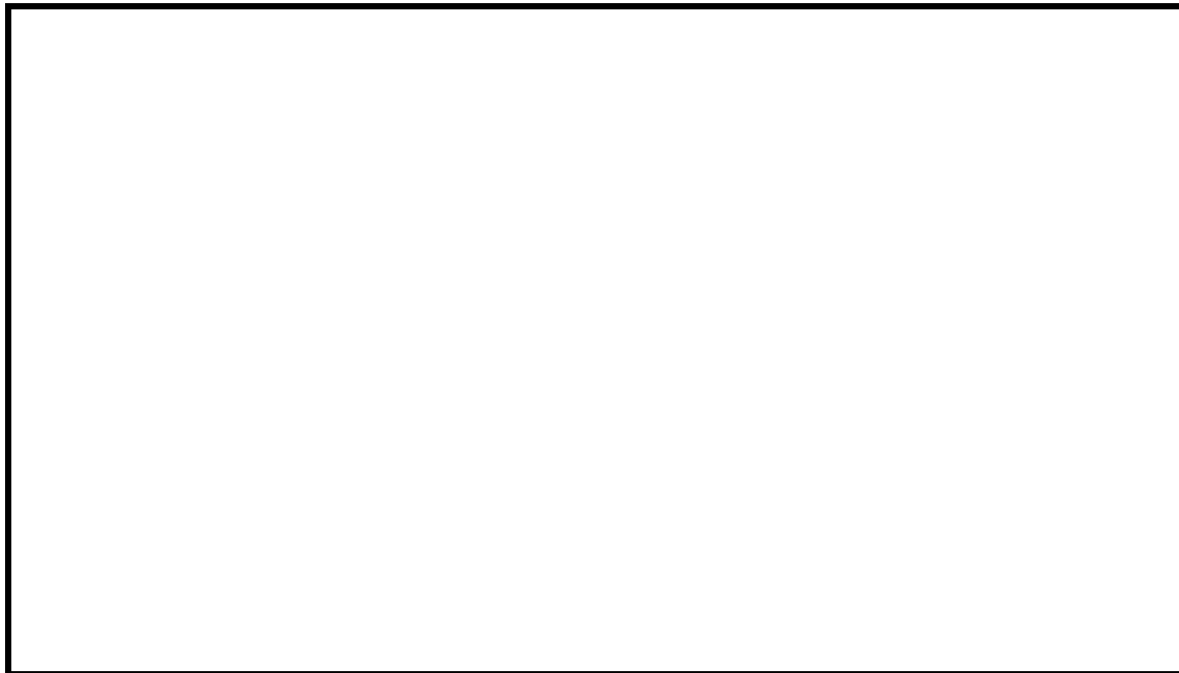
2. После проверки схемы преподавателем включить равномерную нагрузку фаз, включить нулевой провод выключателем В и измерить фазные и линейные напряжения и токи. Результаты измерений занести в таблицу №1.

Таблица №1

I_A	I_B	I_C	I_0	U_A	U_B	U_C	U_{AB}	U_{BC}	U_{AC}	Примечание
A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	
										Равномерная нагрузка без нулевого провода
										Равномерная нагрузка с нулевым проводом
										Неравномерная нагрузка без нулевого провода
										Неравномерная нагрузка с нулевым проводом

3. Отключить нулевой провод выключателем В при равномерной нагрузке фаз и измерить фазные и линейные токи. Результаты измерений занести в таблицу №1.

4. На ламповых реостатах создать неравномерную нагрузку и измерить фазные и линейные токи и напряжения с включенным и отключенным нулевым проводом. Результаты измерений занести в таблицу №1.
5. Построить векторные диаграммы для всех опытов (4 диаграммы).



6. Сделать вывод о назначении нулевого провода при соединении нагрузки звездой.

Контрольные вопросы.

1. Какие напряжения называются фазным и линейным ?

2. Почему нельзя ставить предохранитель в цепь нулевого провода?

Оценка _____ Преподаватель _____ (_____)

15. Лабораторная работа № 15 «Исследование трёхфазной цепи при включении потребителей треугольником».

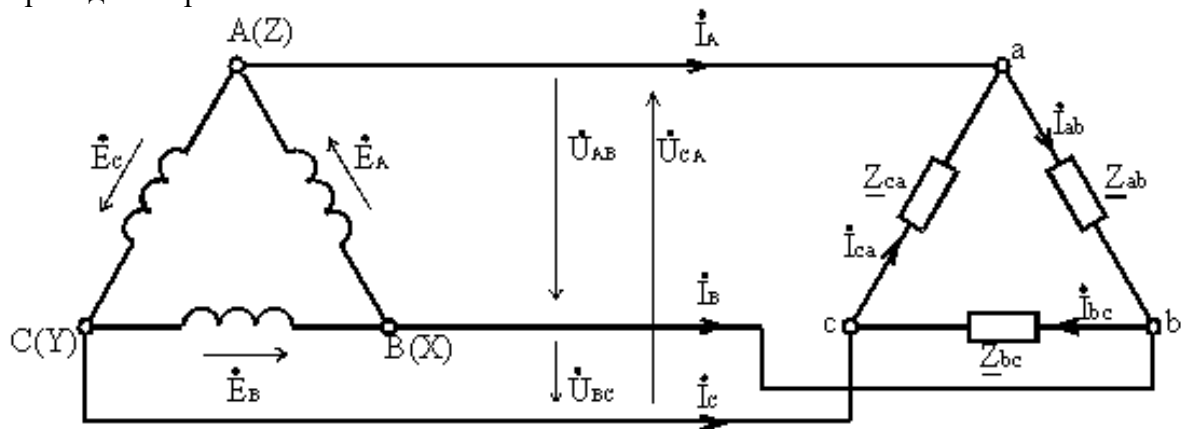
Цель работы

Проверить основные соотношения в цепи трёхфазного тока при включении потребителей треугольником.

Краткие теоретические сведения.

Соединение фаз генератора и приемника треугольником.

При соединении источника питания треугольником конец X одной фазы соединяется с началом B второй фазы, конец Y второй фазы – с началом C третьей фазы, конец третьей фазы Z – с началом первой фазы A. Начала A, B и C фаз подключаются с помощью трех проводов к приемникам.



Соединение фаз источника в замкнутый треугольник возможно при симметричной системе ЭДС, так как

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0.$$

Если соединение обмоток треугольником выполнено неправильно, т.е. в одну точку соединены концы или начала двух фаз, то суммарная ЭДС в контуре треугольника отличается от нуля и по обмоткам протекает большой ток. Это аварийный режим для источников питания, и поэтому недопустим.

Напряжение между концом и началом фазы при соединении треугольником – это напряжение между линейными проводами. Поэтому при соединении треугольником линейное напряжение равно фазному напряжению.

$$U_L = U_\phi.$$

Пренебрегая сопротивлением линейных проводов, линейные напряжения потребителя можно приравнять линейным напряжениям источника питания: $U_{ab} = U_{AB}$, $U_{bc} = U_{BC}$, $U_{ca} = U_{CA}$. По фазам Z_{ab} , Z_{bc} , Z_{ca} приемника протекают фазные токи $\dot{I}_{ab}$, $\dot{I}_{bc}$ и $\dot{I}_{ca}$. Условное

положительное направление фазных напряжений $\dot{U}_{ab}$, $\dot{U}_{bc}$ и $\dot{U}_{ca}$ совпадает с положительным направлением фазных токов. Условное положительное направление линейных токов $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$ и $\dot{I}_C$ принято от источников питания к приемнику.

В отличие от соединения звездой при соединении треугольником **фазные токи не равны линейным**. Токи в фазах приемника определяются по формулам

$$\dot{I}_{ab} = \dot{U}_{ab} / \underline{Z}_{ab}; \dot{I}_{bc} = \dot{U}_{bc} / \underline{Z}_{bc}; \dot{I}_{ca} = \dot{U}_{ca} / \underline{Z}_{ca}.$$

Линейные токи можно определить по фазным

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}; \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}.$$

Сумма комплексов линейных токов равна нулю как при симметричной, так и при несимметричной нагрузке.

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0,$$

Симметричная нагрузка.

$$\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{bc} = \underline{Z}_{ca} = \underline{Z}e^{j\varphi}$$

$$\text{т.е. } Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca} = Z, \varphi_{ab} = \varphi_{bc} = \varphi_{ca} = \varphi.$$

Так как линейные (они же фазные) напряжения U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} симметричны, то и фазные токи образуют симметричную систему

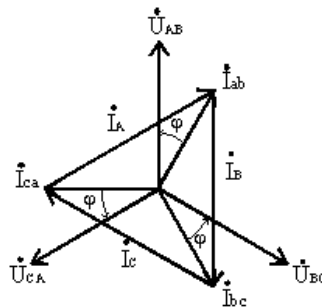
$$\dot{I}_{ab} = \dot{U}_{ab} / \underline{Z}_{ab}; \dot{I}_{bc} = \dot{U}_{bc} / \underline{Z}_{bc}; \dot{I}_{ca} = \dot{U}_{ca} / \underline{Z}_{ca}.$$

Абсолютные значения их равны, а сдвиги по фазе относительно друг друга составляют 120° .

Линейные токи

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}; \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc};$$

образуют также симметричную систему токов.

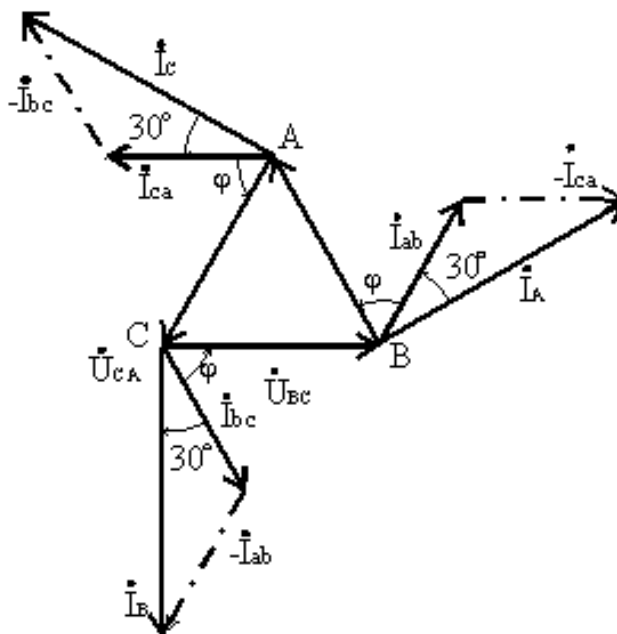


На векторной диаграмме фазные токи отстают от фазных напряжений на угол φ (полагаем, что фазы приемника являются индуктивными, т.е. $\varphi > 0^\circ$). Здесь принято, что напряжение U_{AB} имеет нулевую фазу. Из диаграммы следует, что любой линейный ток

больше фазного в $\sqrt{3}$ раз. Линейный ток $\dot{I}_A$ отстает по фазе от фазного тока $\dot{I}_{ab}$ на угол 30° , на этот же угол отстает $\dot{I}_B$ от $\dot{I}_{bc}$, $\dot{I}_C$ от $\dot{I}_{ca}$.

При равномерной нагрузке фаз расчет трехфазной цепи соединенной треугольником, можно свести к расчету одной фазы.

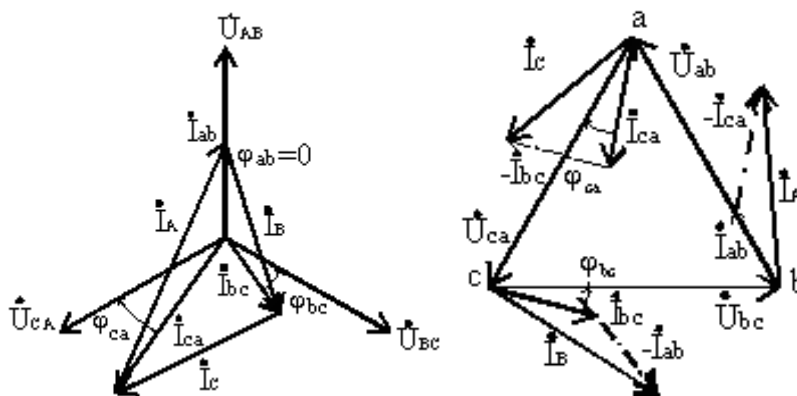
Фазное напряжение $U_\Phi = U_L$. Фазный ток $I_\Phi = U_\Phi / Z_\Phi$, линейный ток $I_L = I_\Phi$, угол сдвига по фазе $\varphi = \text{arctg}(X_\Phi / R_\Phi)$.



Несимметричная нагрузка приемника.

В общем случае при несимметричной нагрузке $Z_{ab} \neq Z_{bc} \neq Z_{ca}$. Обычно она возникает при питании от трехфазной сети однофазных приемников.

Ниже приведены векторная и топографическая диаграммы для случая, когда в фазе ab имеется активная нагрузка, в фазе bc – активно-индуктивная, а в фазе ca – активно-емкостная.



Важной особенностью соединения фаз приемника треугольником является то, что **при изменении сопротивления одной из фаз режим работы других фаз остается неизменным**, так как линейные напряжения генератора являются

постоянными. Будет изменяться только ток данной фазы и линейные токи в проводах линии, соединенных с этой фазой. Поэтому **схема соединения треугольником широко используется для включения несимметричной нагрузки.**

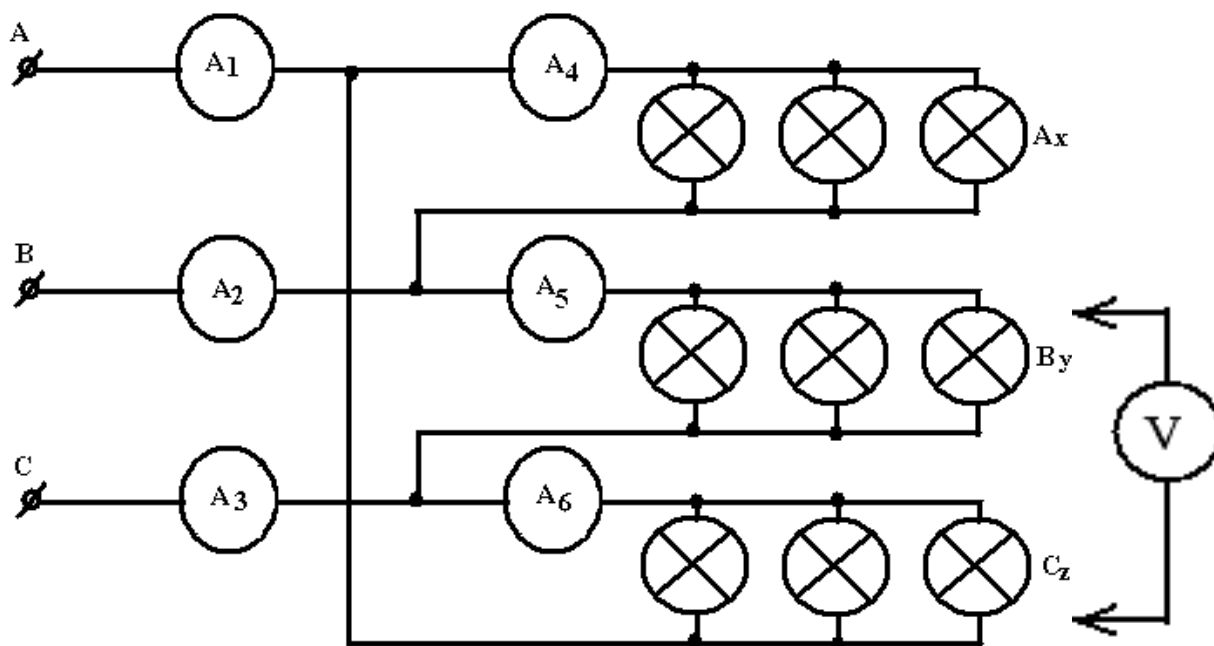
При расчете для несимметричной нагрузки сначала определяют значения фазных токов $\dot{I}_{ab}$, $\dot{I}_{bc}$, $\dot{I}_{ca}$ и соответствующие им сдвиги фаз φ_{ab} , φ_{bc} , φ_{ca} . Затем определяют линейные токи в комплексной форме.

Необходимое оборудование и приборы.

- лабораторный стенд;
- ламповые реостаты A_x , B_y , C_z ;
- амперметры A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , A_5 , A_6 ;
- вольтметр V ;
- соединительные провода.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме

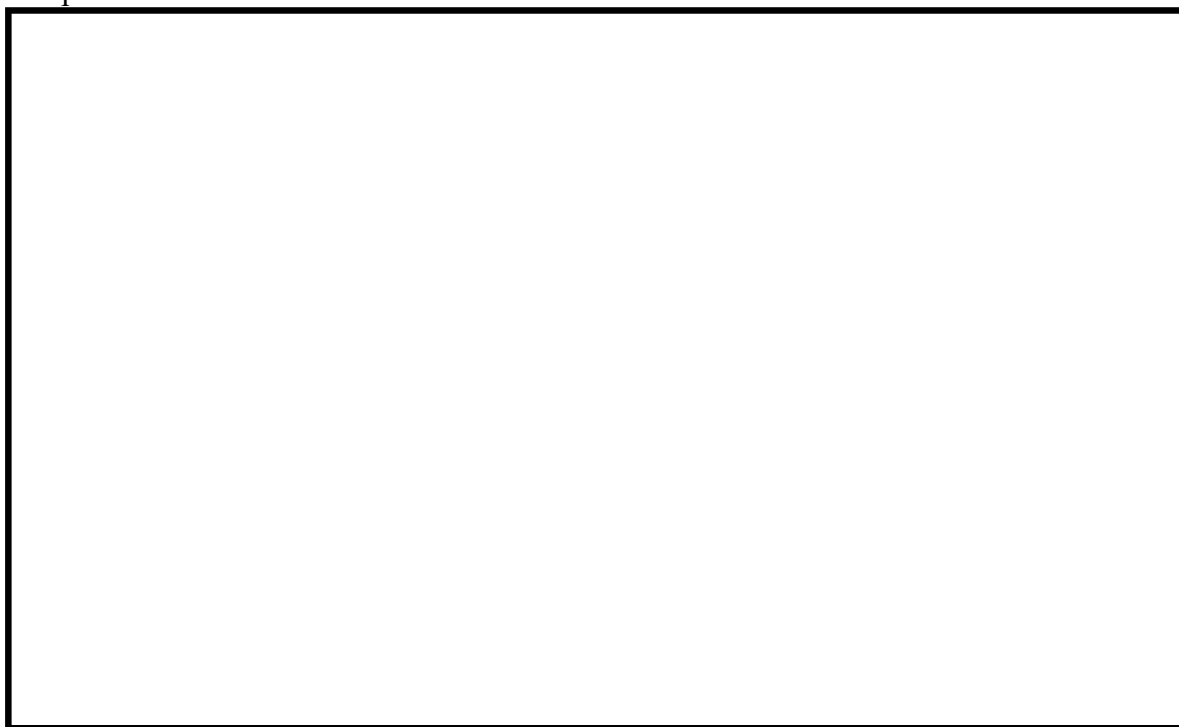


2. После проверки схемы преподавателем включить равномерную нагрузку фаз и измерить фазные и линейные напряжения и токи. Результаты измерений занести в таблицу №1.

Таблица №1

I_A	I_B	I_C	I_{AB}	I_{BC}	I_{CA}	U_{AB}	U_{BC}	U_{AC}	Примечание
A	A	A	A	A	A	B	B	B	
									Равномерная нагрузка фаз
									Равномерная нагрузка, оборвана линия
									Неравномерная нагрузка фаз

3. Отключить одну фазу при равномерной нагрузке фаз и измерить фазные и линейные токи и напряжения. Результаты измерений занести в таблицу №1.
4. Подключить все фазы. На ламповых реостатах создать неравномерную нагрузку и измерить фазные и линейные токи и напряжения. Результаты измерений занести в таблицу №1.
5. Построить векторные диаграммы для 1 и 3 опытов (2 диаграммы). Векторные диаграммы напряжений и токов должны быть построены в масштабе по току (например $0,1\text{ A} = 1\text{ см}$) и напряжению (например $50\text{ В} = 1\text{ см}$). Начинаем с построения векторов фазных напряжений, которые выходят из одной точки и сдвинуты в пространстве на угол 120° . Далее строим векторы фазных токов, совпадающих по фазе с фазными напряжениями, так как нагрузка имеет активный характер. Векторы линейных токов представляют собой разности двух фазных токов. При этом вектор разности получается, если концы двух выходящих из одной точки векторов (фазные токи) соединяются вектором (линейный ток) и стрелка ставится к вектору, из которого вычитают.



6. Сделать вывод по работе. В выводе необходимо проверить выполнение основных соотношений для фазных и линейных токов и напряжений при соединении нагрузки треугольником по результатам замеров первого опыта. Объяснить, что произошло со схемой, когда оборвали (отключили) один из линейных проводов, и по какой причине изменились линейные токи в третьем опыте.

Оценка _____ Преподаватель _____ (_____)

16. Лабораторная работа №17 «Ознакомление с правилами эксплуатации амперметра, вольтметра, ваттметра»

Цель: Изучить правила эксплуатации простейших электроизмерительных приборов.

Оборудование и приборы: Амперметр постоянного тока, вольтметр постоянного тока, ваттметр постоянного тока, резисторы, выключатели, предохранители различных типов, соединительные провода.

Для проведения различных измерений в электрических цепях применяются электроизмерительные приборы, которые по роду измеряемой величины делятся на амперметры, вольтметры, ваттметры, частотометры, фазометры, омметры, счетчики энергии и др. На шкале прибора пишут полное его наименование или начальную латинскую букву единицы измеряемой величины, например: А – амперметр, V- вольтметр, W – ваттметр и др.

По принципу действия измерительного механизма приборы делятся на системы. В лаборатории электротехники наиболее широкое применение находят приборы магнито-электрической, электромагнитной, электродинамической и индукционной систем. Условное обозначение этих систем на шкалах приборов показано в таблице №1.

Важнейшей характеристикой любого измерительного прибора является его точность. По степени точности электроизмерительные приборы делятся на восемь классов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 и 4.

Число классов точности указывает основную допустимую приведенную погрешность прибора, т.е. выраженное в процентах отношение наибольшей допустимой абсолютной погрешности прибора, находящегося в нормальных условиях работы, к номинальной величине прибора. На шкале электроизмерительного прибора кроме условного наименования, системы и класса точности указываются род тока, рабочее положение шкалы прибора, величина испытательного напряжения, знак завода – изготовления, год выпуска, заводской номер прибора. Основные знаки на шкалах приборов приведенные в таблице №1.

Амперметр включается в цепь последовательно с приемником и имеет очень мало сопротивление. Благодаря этому на амперметре практически не возникает потери напряжения и мощности. ЭДС и напряжение источника электрической энергии измеряются вольтметром, зажимы которого присоединяются с тем точкам цепи, между которыми следует определить напряжения.

Для уменьшения потерь мощности и тока, протекающего через вольтметр, его внутреннее сопротивление делают очень большим (несколько тысяч ом).

При включении амперметра и вольтметра в цепь постоянного тока следует соблюдать правило полярности: положительный зажим прибора должен подключаться к положительному полюсу источника, отрицательный зажим прибора - к отрицательному полюсу источника.

Знак системы	Система	Знаки на шкалах приборов	Пояснения
	Магнитоэлектрическая с подвижной рамкой	0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 и 4.	Классы точности прибора
	Магнитоэлектрическая с подвижным магнитом	Род тока: Установка прибора 	Постоянный ток Переменный ток Постоянный переменный ток Трехфазный ток Вертикальное положение шкалы Горизонтальное положение шкалы Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением 2 кВ Генераторный зажим Зажим, соединенный с корпусом
	Электромагнитная		
	Электродинамическая		
	Ферродинамическая		
	Индукционная		

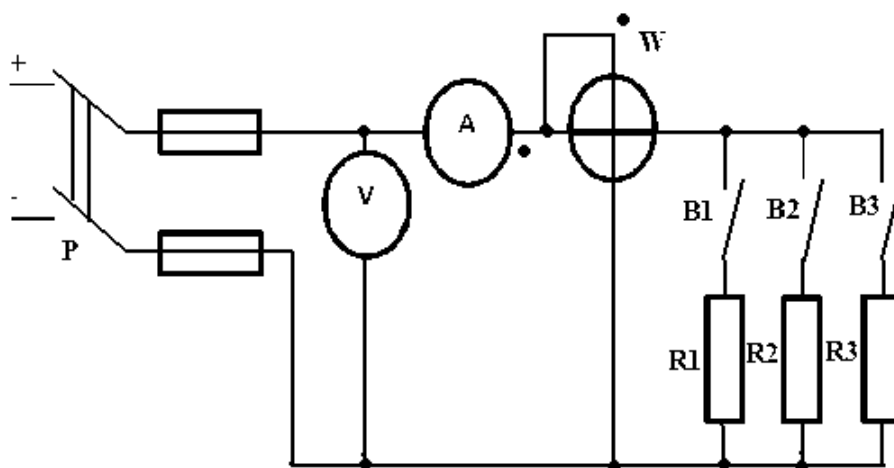


Рисунок 1.

Измерение мощности производится обычно при помощи ваттметра. Ваттметр имеет две обмотки: такую в очень малом сопротивлении, которая включается в цепь

последовательно, и обмотку напряжения большого сопротивления, которая включается в цепь параллельно.

На электрической схеме (рисунок 1) ваттметр изображен кружком с двумя перпендикулярными линиями внутри круга. Горизонтальная линия изображает токовую обмотку и вертикальная – обмотку напряжения. Входные зажимы обмоток (генераторные зажимы) обозначаются точками (на приборе – звездочками).

Шкала электроизмерительных приборов часто бывает разделена на α_H делений без указания значения этих делений в измеряемых единицах (В, А, Вт). В этом случае перед началом измерения необходимо определить цену деления шкалы прибора.

Ценой деления шкалы прибора называется число электрических единиц (вольт, ампер, ватт и др.), приходящихся на одно деление шкалы прибора.

Цена деления:

$$\text{Вольтметра } C_U = \frac{U_H}{\alpha_H} \left(\frac{В}{\text{дел}} \right)$$

$$\text{Амперметра } C_I = \frac{I_H}{\alpha_H} \left(\frac{А}{\text{дел}} \right)$$

$$\text{Ваттметра } C_P = \frac{U_H \cdot I_H}{\alpha_H} \left(\frac{ВТ}{\text{дел}} \right)$$

где, $U_H \cdot I_H$ – номинальные значения напряжения и тока приборов;

α_H – полное число делений шкалы прибора.

Если при измерений стрелка прибора отклонилась на α делений, то значение измеряемой величины будет:

$$\text{Для вольтметра } U = C_U \cdot \alpha \text{ (В)}$$

$$\text{Для амперметра } I = C_I \cdot \alpha \text{ (А)}$$

$$\text{Для ваттметра } P = C_P \cdot \alpha \text{ (ВТ)}$$

Пример 1.

Номинальное напряжения вольтметра $U_H = 150$ В. Шкала имеет $\alpha_H = 100$ делений. Определить измеренное напряжение, если стрелка прибора отклонилась на $\alpha_H = 80$ делений.

Решение:

$$\text{Цена деления равна } C_U = \frac{U_H}{\alpha_H} = \frac{150}{100} = 1,5 \frac{В}{\text{дел}}$$

$$\text{Измеренное напряжение: } U = C_U \cdot \alpha = 1,5 \cdot 80 = 120 \text{ В.}$$

Пример 2.

Номинальное напряжения ваттметра $U_H = 150$ В. Номинальный ток $I_H = 5$ А. Шкала имеет $\alpha_H = 75$ делений. Определить значение измеренной мощности, если стрелка ваттметра отклонилась на $\alpha_H = 50$ делений.

Решение:

$$\text{Цена деления шкалы ваттметра } C_P = \frac{U_H \cdot I_H}{\alpha_H} = \frac{150 \cdot 5}{75} = 10 \frac{\text{Вт}}{\text{дел}}$$

Измеренная мощность $P = 10 \cdot 50 = 500$ Вт.

При выполнении лабораторных работ, кроме электроизмерительных приборов, часто приходится пользоваться регулировочными и нагрузочными реостатами, резисторами, трансформаторами и прочей аппаратурой. Каждый такой аппарат характеризуется своими номинальными данными: напряжением, током, сопротивлением и т.д. При всех номинальных напряжениях, ток аппарата не должна превышать номинальных значений этих же величин, приведенных в его паспорте.

Порядок выполнения:

1. Ознакомиться с устройством рубильника – Р, плавких предохранителей, резисторов – R_1, R_2 , выключателей – В1 – В3.
2. Собрать электрическую цепь по схеме (рисунок 1)
3. Определить цену деления шкалы амперметра, вольтметра и ваттметра.
4. После проверки схемы преподавателем включать рубильник.
Установить три различных значения тока, при которых снять показания приборов. Результаты показаний занести в таблицу №1.1.

Таблица 1.1.

№ опы- тов	Включены резис- торов	Показания вольтметра		Показания амперметра		Показания ваттметра	
		α , дел	U, В	α , дел	I, А	α , дел	P, Вт
1	R_1						
2	R_1 и R_2						
3	R_1, R_2, R_3						

Выключить рубильник:

Результаты измерений показать преподавателю; после его разрешения разобрать цепь и привести в порядок рабочее место.

Содержание отчета: схема включения приборов, расчеты по определению цены деления приборов, таблица с результатами измерений, краткая техническая характеристика применяемых измерительных приборов.

Контрольные вопросы:

1. Как определить мощность, в каких единицах измеряется мощность?

2. Каким приборам измеряется мощность?

3. Как определим цену деления шкалы ваттметра?

4. Как обозначается полное число деления шкалы прибора?

5. Как включается в цепь амперметр?

6. Как включается в цепь вольтметр?

7. Для чего служит реостат?

17. Лабораторная работа № 17 «Измерение сопротивления».

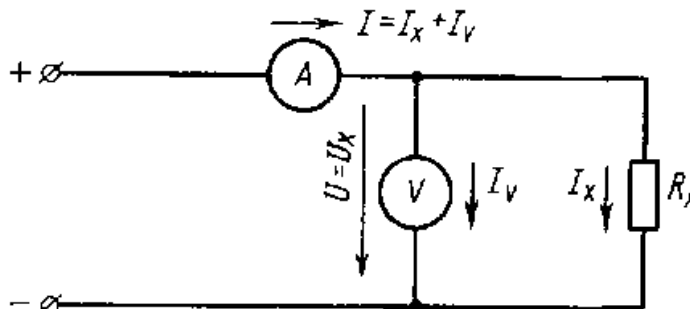
Цель работы:

Научиться измерять сопротивление различными способами.

Краткие теоретические сведения.

Измерение сопротивления методом амперметра и вольтметра.

Электрическое сопротивление можно определить с помощью амперметра и вольтметра, пользуясь законом Ома.

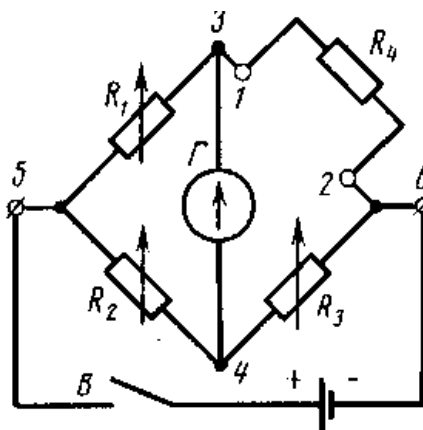


$$R_X = UR_V / (IR_V - U)$$

Если пренебречь R_V , то $R_X = U / I$

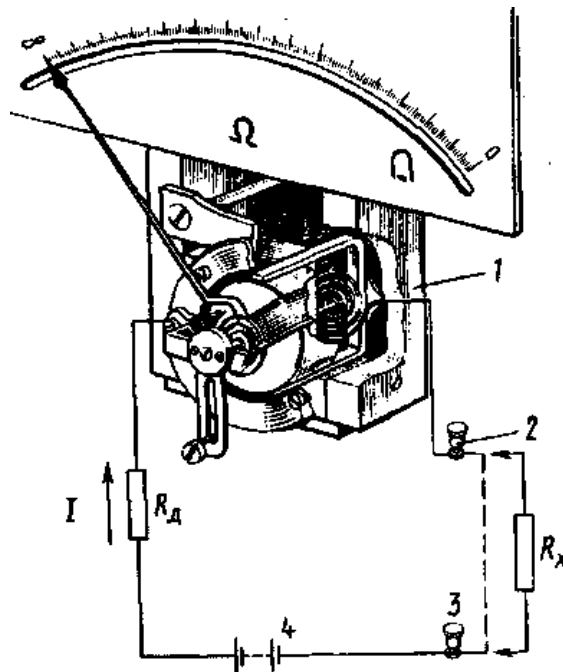
Измерение сопротивлений электрическими мостами.

Мостовая схема состоит из источника питания, чувствительного прибора и четырех резисторов, включаемых в плечи моста: с неизвестным сопротивлением R_X (R_4) и известными сопротивлениями R_1 , R_2 , R_3 , которые могут при измерениях изменяться. Прибор включают в одну из диагоналей моста (измерительную), а источник питания — в другую (питающую). Сопротивления R_1 , R_2 и R_3 можно подобрать такими, что при замыкании контакта В показания прибора будут равны нулю (в таком случае принято говорить, что мост уравновешен).



$$R_X = (R_1/R_2)R_3$$

Измерение омметром.



Омметр представляет собой миллиамперметр 1 с магнитоэлектрическим измерительным механизмом и включается последовательно с измеряемым сопротивлением R_x и добавочным резистором R_d в цепь постоянного тока. При неизменных э. д. с. источника и сопротивления резистора R_d ток в цепи зависит только от сопротивления R_x . Это позволяет отградуировать шкалу прибора непосредственно в Омах. Если выходные зажимы прибора 2 и 3 замкнуты накоротко (см. штриховую линию), то ток I в цепи максимален и стрелка прибора отклоняется вправо на наибольший угол; на шкале этому соответствует сопротивление, равное нулю. Если цепь прибора разомкнута, то $I = 0$ и стрелка находится в начале шкалы; этому положению соответствует сопротивление, равное бесконечности.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Загрузить программу Circuit Simulator.
2. Собрать виртуальную схему для измерения сопротивления с помощью амперметра и вольтметра.

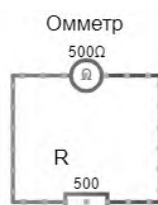


3. Изменяя сопротивление R согласно таблицы №1 замерить значения напряжения и тока. Результаты занести в таблицу №1.

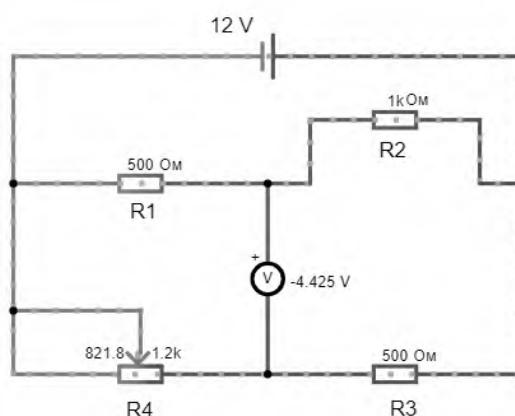
Таблица №1

Измеряемое сопротивлени е R	Измерение вольтметром и амперметром			Измерение мультиметром	Измерение мостом	
	I	U	$R=U/I$		$R_2\%$	$R=12500/R_2$ %
Ом	A	B	Ом	Ом	%	Ом
0,0001						
1						
250						
500						
750						
100 000						
1 000 000						

4. Собрать виртуальную схему для измерения сопротивления с помощью мультиметра.



5. Изменяя сопротивление R согласно таблицы №1 замерить значения сопротивления. Результаты занести в таблицу №1.
6. Собрать виртуальную схему для измерения сопротивления с помощью моста. Для переменного сопротивления R_2 установить шаг 1%.



7. Изменяя сопротивление R согласно таблицы №1 замерить значения сопротивления R_2 в % ($R_2\%$). Результаты занести в таблицу №1. Необходимо подобрать для каждого измеряемого R такой $R_2\%$ (двигая движок переменного резистора R_2), чтобы показания гальванометра G были равны нулю (или близкими к нулю).
8. Произвести расчёты, согласно таблицы №1. Результаты расчётов занести в таблицу №1.
9. Сделать вывод о достоинствах и недостатках различных схем измерения сопротивления.

Оценка _____ Преподаватель _____ (_____)

18. Лабораторное занятие № 18. В форме практической подготовки Включение в цепь и поверка однофазного счётчика электрической энергии.

Конструкция и принцип действия

Принцип действия индукционных приборов основан на взаимодействии двух или нескольких переменных магнитных потоков с токами, индуцированными в подвижном проводнике (например, диске). Типичным представителем этой системы является классический индукционный счетчик-измеритель активной энергии.

Рассмотрим устройство и принцип действия индукционного однофазного счетчика активной энергии. На рис 1 показана упрощенная конструкция такого прибора. Основными элементами прибора являются два магнитопровода со своими обмотками (напряжения и токовой), вращающийся диск и счетный механизм.

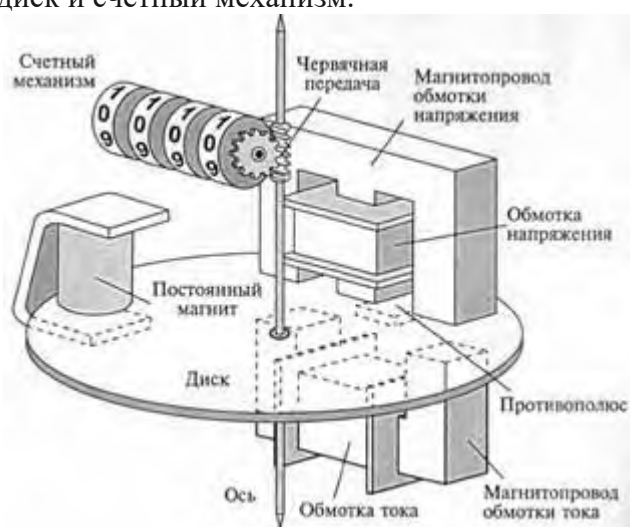


Рис. 1. Упрощенная конструкция индукционного однофазного счетчика

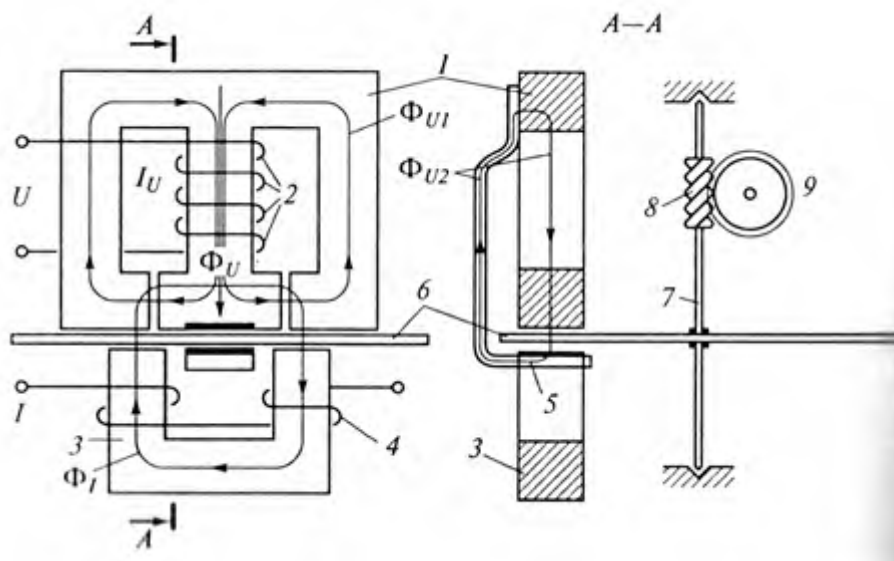


Рис. 2. Схема, поясняющая принцип действия счетчика:

1-магнитопровод обмотки напряжения; 2-обмотка напряжения; 3- магнитопровод обмотки тока; 4- обмотка тока; 5- противопололюс; 6- диск; 7- ось; 8- червячная передача; 9- счетный механизм.

Рассмотрим работу счетчика на примере входных сигналов напряжения и тока синусоидальной формы с действующими значениями, равными, соответственно, U и I . Входное напряжение U , приложенное к обмотке напряжения 2, создает в ней поток Φ_U имеющий по отношению к напряжению U сдвиг по фазе, близкий к 90° (из-за большого индуктивного сопротивления этой обмотки). Ток I_U рождает магнитный поток Φ_U в среднем сердечнике магнитопровода обмотки напряжения 1. Этот поток Φ_U делится на два потока: нерабочий поток Φ_{U1} , который замыкается внутри магнитопровода 1; и основной поток Φ_{U2} , пересекающий диск 6, закрепленный на оси 7 и вращающийся вместе с нею. Этот основной поток замыкается через противоположный полюс 5.

Входной ток I , текущий в обмотке тока создает в магнитопровode 3 магнитный поток Φ_I отстает от тока I на небольшой угол потерь α (поскольку сопротивление токовой обмотки мало).

Вращающий момент M в данной электромагнитной механической системе можно определить следующим образом:

$$M = kUI \sin Y$$

Где k - общий коэффициент пропорциональности; $\sin Y$ - фазовый сдвиг

Для получения результата определения потребленной активной энергии достаточно проинтегрировать значения текущей мощности. Это интегрирование реализовано счетным механизмом 9, связанным с осью 7 червячной передачей 8.

Постоянный магнит служит для создания тормозного момента и обеспечения угловой скорости вращения, пропорциональной текущему значению активной мощности. Кроме того, в реальной конструкции есть элементы, обеспечивающий дополнительный момент, компенсирующий момент трения, а также элементы устранения «самохода».

Цель работы

Произвести частичную поверку однофазного счетчика активной энергии методом, предусматривающим применение ваттметра и секундомера.

Оборудование

Лабораторный стенд, однофазные счетчики (классы точности: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; и 3,0;)

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с приборами, имеющимися на лабораторном стенде, внести в отчет их паспортные данные.
2. Собрать схему рис. 13.13, обратив особое внимание на правильность включения генераторных зажимов образцового ваттметра PW и поверяемого счетчика PJ .

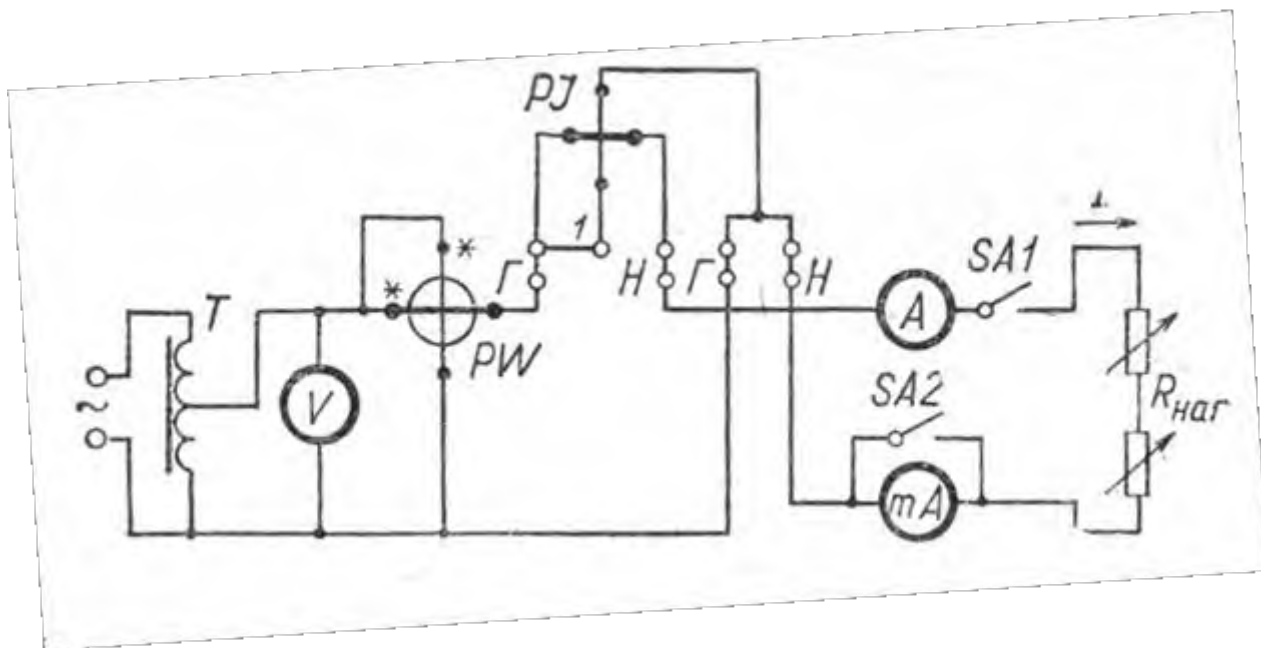


Рис.3. Схема поверки однофазного счетчика.

3. При замкнутых ключах SA1 и SA2 подать напряжение на собранную схему и установить по вольтметру с помощью однофазного регулятора напряжения Т номинальное напряжение $U_{ном}$ счетчика. Изменяя нагрузку $R_{наг}$, установить по амперметру номинальный ток $I_{ном}$ счетчика ($U_{ном}$ и $I_{ном}$ счетчика указаны на его щитке). Прогреть схему в течение 15 мин.
4. Проверить счетчик на отсутствие самохода. Для этого разомкнуть ключ SA1 и при $I=0$ по вольтметру с помощью регулятора напряжения Т установить напряжение питания счетчика равное $110\% U_{ном}$. Если при этом диск счетчика не совершает более одного полного оборота, то самоход у счетчика отсутствует.
5. Определить порог чувствительности счетчика. Для этого с помощью регулятора напряжения Т по вольтметру установить $U_{ном}$ счетчика, включить ключ SA1 и путем увеличения сопротивления нагрузки $R_{наг}$ получить минимально возможное показание амперметра, при этом диск счетчика должен быть неподвижен. Далее, разомкнуть ключ SA2 и путем плавного уменьшения сопротивления нагрузки $R_{наг}$ добиться начала движения и непрерывного вращения диска счетчика. Внести в отчет значение тока $I_{порог}$, определенное по миллиамперметру; замкнуть ключ SA2. Вычислить значение тока $I_{порог}$ в процентах $I_{ном}$.
6. Определить относительную погрешность счетчика при $U_{ном}=U$ $I=I_{ном}$. Установка значения тока $I_{ном}$ осуществляется путём изменения нагрузки $R_{наг}$ при замкнутом ключе SA2. Относительная погрешность счётчика в процентах определяется по формуле

$$\delta = \frac{W_{сч} - W}{W} 100$$

Где $W_{сч}$ – значение учтенной счётчиком энергии; W – действительное значение энергии, определенное по образцовому вольтметру.

Для определения $W_{сч}$ необходимо с помощью секундомера измерить время вращения диска счётчика при совершении N целых оборотов. Число N выбирают таким, чтобы время t было не менее 50-60 секунд. Определение интервала времени t проверяют три раза. За измеренное значение t_n берут среднее арифметическое значение из трёх измерений. Значение $W_{сч}$ определяется по формуле

$$W_{сч} = C_{ном} N,$$

Где $C_{ном}$ – номинальная постоянная счётчика:

$$C_{\text{ном}} = 3600 \cdot 1000 / N_0,$$

Здесь N_0 – передаточное число счётчика, указанное на его щитке.

Значение W определяют по формуле

$$W = P_W t_{\text{и}},$$

Где P_W – значение мощности, Вт, определенное по образцовому ваттметру:

$$P_W = c_{\text{ном}} a;$$

Здесь $c_{\text{ном}}$ – номинальная постоянная ваттметра; a – отсчёт по шкале ваттметра в делениях.

7. Используя имеющиеся в лаборатории выписки, определить заключение о допустимости определенных выше параметров счётчика с учетом обозначенного на щитке проверяемого счетчика класса точности.

8. Составить отчёт по требуемой формуле в форме.

Содержание отчёта.

1. Название и цель работы.
2. Исследуемые схемы, полученные показания приборов и результаты аналитических расчетов.
3. Выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Какой измерительный механизм используется в однофазном счётчике?

2. Чему равен вращающий момент в индукционном измерительном механизме?

3. Как определить передаточное число счётчика?

4. Назовите величину, обратную передаточному числу счётчика.

5. По каким данным определяется энергия счетчика?

6. Как определить допустимую относительную погрешность счётчика в процентах?

Вывод:

19. Лабораторная работа №19 «Измерение активной мощности в трехфазной цепи цель работы».

Цель работы

1. Проверить рассмотренные в теории методы измерения активной мощности.
2. Получить практические навыки измерения активной мощности в трехфазных цепях переменного тока.

Краткие теоретические сведения.

Полная мощность цепи постоянного тока определяется по формуле: $S = UI$.

Следовательно, измеряя ток амперметром и напряжение вольтметром, можно определить полную мощность цепи.

Для измерения активной мощности переменного тока кроме амперметра и вольтметра нужен еще фазометр. Это следует из выражения .

Однако оба эти методы неудобны. На практике мощность измеряют с помощью ваттметра. В цепях постоянного тока применяются электродинамические ваттметры, а в цепях переменного тока – электродинамический или ферродинамический ваттметр, в основе принципа, действия которого лежит взаимодействие магнитных полей двух катушек при протекании по ним токов. Одна из катушек включается в измеряемую цепь последовательно с нагрузкой (как амперметр), а другая – параллельно (как вольтметр).

Это взаимодействие катушек приводит к повороту подвижной катушки и, соответственно, стрелки, укрепленной на одной оси с этой катушкой.

Измерение активной мощности в трехфазных цепях может производиться с помощью однофазных ваттметров. При этом может быть использован метод одного, двух и трех ваттметров. Применение каждого из этих методов возможно только при определенных условиях.

1. Метод одного ваттметра

Этот метод применяется для измерения активной мощности в трехфазных цепях при равномерной нагрузке фаз.

При измерении могут встретиться несколько случаев:

а) трехфазная цепь имеет нулевой провод или приемник имеет доступную нулевую точку. При этом для измерения мощности трехфазной цепи достаточно одного ваттметра, измеряющего мощность одной фазы (рис. 1).

Мощность трехфазной цепи определяют по формуле: $P = 3P_W$.

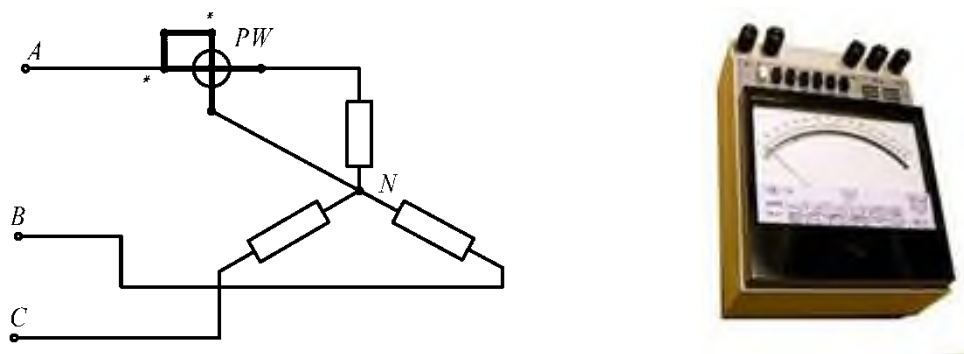


Рис. 1. Схема измерения активной мощности трехфазной цепи одним однофазным ваттметром при доступной нулевой точке

б) трехфазная цепь имеет соединение треугольником или звездой с недоступной нулевой точкой. Для измерения мощности трехфазной цепи однофазным ваттметром в этом случае нужно создать искусственную нулевую точку. Она создается с помощью активных сопротивлений, рассчитанных на номинальный ток параллельной цепи ваттметра (рис. 2). Активные сопротивления выбираются равными сопротивлению цепи обмотки напряжения ваттметра.

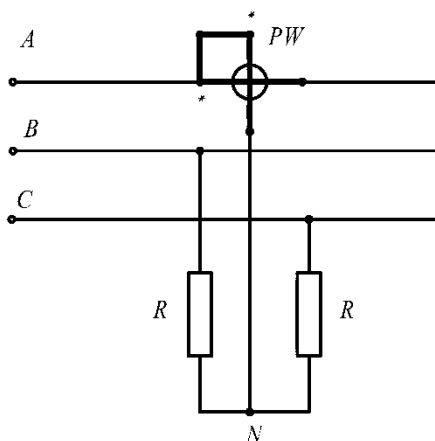


Рис. 2. Схема измерения активной мощности трехфазной цепи одним однофазным ваттметром при недоступной нулевой точке

Очевидно, что при таком включении к зажимам параллельной обмотки ваттметра приложено фазное напряжение $U_{\text{ф}}$, а по последовательной обмотке проходит ток $I_{\text{ф}}$ и, следовательно, ваттметр измеряет активную мощность одной фазы. Мощность трехфазной цепи равна $P = 3PW$.

2. Метод двух ваттметров

Этот метод применяется для измерения активной мощности в трехфазных трехпроводных цепях, как при равномерной, так и при неравномерной нагрузках независимо от способа соединения приемников энергии. В качестве измерительных приборов могут быть использованы два однофазных ваттметра или один трехфазный двухэлементный ваттметр.

Для измерения мощности трехфазной цепи по методу двух ваттметров однофазные ваттметры могут быть включены по одной из трех схем, изображенных на рис. 3.

Общая измеряемая мощность трехфазной цепи определяется в этом случае как алгебраическая сумма показаний обоих ваттметров $P = PW_1 + PW_2$.

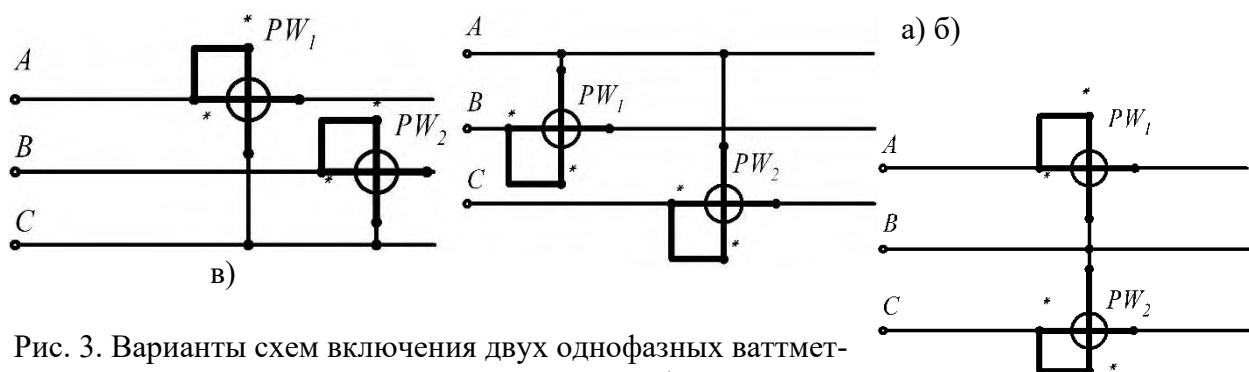


Рис. 3. Варианты схем включения двух однофазных ваттметров для измерения активной мощности в трехфазной цепи

При измерении активной мощности в трехфазной цепи двумя ваттметрами возможны некоторые частные случаи:

а) один из приборов показывает нуль. Это бывает при активно-индуктивной нагрузке, когда угол сдвига фаз между током и напряжением $\varphi = 60^\circ$ ($\cos\varphi = 0,5$). В этом случае активная мощность трехфазной цепи измеряется только одним ваттметром.

б) один из приборов показывает отрицательное показание. Это бывает при активно-индуктивной нагрузке, когда угол сдвига фаз между током и напряжением $\varphi > 60^\circ$ ($\cos\varphi < 0,5$). Для производства отсчета необходимо переключить зажимы одной из обмоток ваттметра. Активная мощность трехфазной цепи в этом случае определяется разностью показаний ваттметров.

$$P = PW_2 - PW_1 ;$$

в) оба прибора дают одинаковые показания. Это бывает при чисто активной нагрузке ($\cos\varphi = 1$).

3. Метод трех ваттметров

Этот метод применяется для измерения активной мощности в трехфазных цепях с нейтральным проводом при неравномерной нагрузке фаз. В качестве измерительных приборов могут быть использованы три однофазных ваттметра или один трехфазный трехэлементный ваттметр. Ваттметры включаются по схеме, изображенной на рис. 4. Каждый из ваттметров (элементов) измеряет мощность одной из фаз.

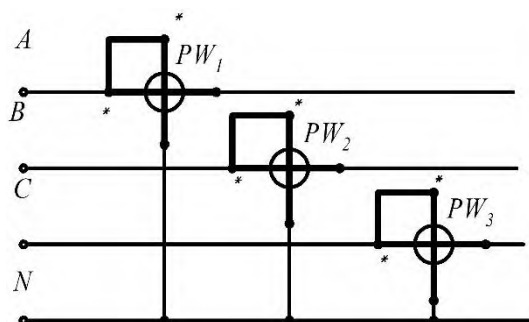


Рис. 4. Схема измерения активной мощности в трехфазной четырехпроводной цепи тремя однофазными ваттметрами

Активная мощность трехфазной цепи определяется суммой показаний трех ваттметров $P = PW1 + PW2 + PW3$.

Порядок выполнения работы.

1. Ознакомиться с приборами, необходимыми для выполнения работы, записать их технические данные (табл. 1).

Необходимое оборудование и приборы.

- лабораторный стенд,
- ваттметр W;
- источник трёхфазного напряжения;
- соединительные провода.

Таблица 1

Технические характеристики приборов

Наименование прибора	Система прибора	Класс точности	Пределы измерений	Цена деления

2. Собрать схему, указанную на рис. 5 и проверить ее.

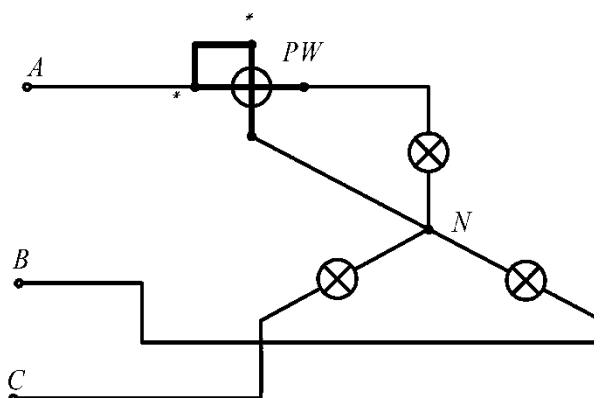


Рис. 5. Схема измерения активной мощности трехфазной цепи одним однофазным ваттметром при доступной нулевой точке

3. Установить на всех фазах равномерную нагрузку (по 5 ламп в каждой фазе, по 3 лампы в каждой фазе), измерить мощность, напряжения и токи. Данные опытов занести в табл. 2.

Результаты опытов и вычислений

Измерено											Вычислено			
№ опыта	U _{AB} , В	U _{BC} В	U _{CA} , В	U _A , В	U _B , В	U _C , В	I _A , А	I _B , А	I _C , А	P, Вт	P _Σ , Вт	U _ф , В	I _ф , А	P _{расч.} Вт

4. Показать руководителю результаты опытов.

5. Разобрать схему.

6. Собрать схему, указанную на рис. 6 и проверить ее.

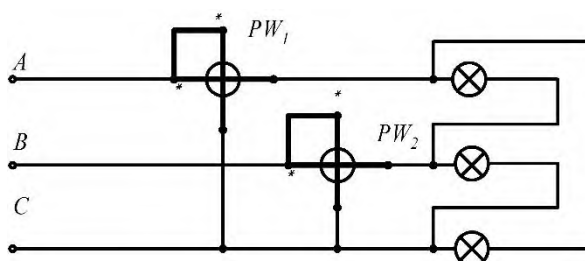


Рис. 6. Схема измерения активной мощности трехфазной цепи двумя одинаковыми однофазными ваттметрами

7. Изменяя нагрузку в фазе A (0, 3, 5 ламп), произвести измерение мощностей, напряжений и токов для всех трех опытов. При этом в фазах B и C нагрузка должна оставаться неизменной (по 5 ламп). Данные опытов занести в табл.3.

Таблица 3

Результаты опытов и вычислений

Измерено											Вычислено				
№ опыта	$U_{AB},$ В	U_{BC} В	$U_{CA},$ В	$U_A,$ В	$U_B,$ В	$U_C,$ В	$I_A,$ А	$I_B,$ А	$I_C,$ А	$P_1,$ Вт	$P_2,$ Вт	$P_{\Sigma},$ Вт	$U_{\Phi},$ В	$I_{\Phi},$ А	$P_{расч.}$ Вт

8. Показать преподавателю результаты опытов.

9. Разобрать схему, привести в порядок рабочее место.

Составить отчет по работе, который должен содержать следующие основные разделы:

- схемы опытных установок;
- техническую характеристику приборов и аппаратов;

- краткое описание порядка и характера проведенных исследований;
- таблицы измерений;
- расчетные формулы и таблицы расчетных данных;
- векторные диаграммы;
- выводы.

Обработка результатов измерений

1. Измерение мощности одним ваттметром.

Суммарная мощность P , Вт, трехфазной системы (см. табл. 2).

$$P = 3P_{\phi} .$$

На основании данных опыта рассчитать активную мощность $P_{\text{расч}}$, Вт, трехфазной системы.

$$D_{\text{дан}} = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi ,$$

где средние значения фазного напряжения и тока определяются как:

$$U_{\phi} = \frac{U_A + U_B + U_C}{3} ,$$

$$I_{\phi} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} .$$

2. Измерение мощности двумя ваттметрами.

Суммарная мощность P_{Σ} , Вт, трехфазной системы (см. табл. 5.3).

$$D_{\Sigma} = D_1 + D_2 .$$

На основании данных опыта рассчитать активную мощность $P_{\text{расч}}$, Вт, трехфазной системы.

Для равномерной нагрузки

$$D_{\text{дан}} = \sqrt{3} U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi .$$

где

$$U_{\bar{e}} = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}}{3},$$

$$I_{\bar{e}} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}.$$

Для неравномерной нагрузки

$$P_{\text{дв}} = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C,$$

где U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} – линейные напряжения;

U_A, U_B, U_C – фазные напряжения;

I_A, I_B, I_C – фазные (линейные) токи;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности (при только активной нагрузке $\cos \varphi = 1$).

Контрольные вопросы

1. Какой метод применяется для измерения активной мощности в трехфазной цепи при равномерной нагрузке?

2. Какой метод применяется для измерения активной мощности в трехфазной цепи при неравномерной нагрузке?

3. В каком случае при измерении активной мощности в трехпроводной цепи методом двух ваттметров:

а) показания обоих из ваттметров будут равны между собой;

б) показания одного из ваттметров будут равны нулю;

в) показания одного из ваттметров будут иметь отрицательное значение;

г) суммарное показание двух ваттметров будет равно нулю?

10. Написать формулы для определения активной, реактивной и полной мощностей в трехфазной цепи с активной, индуктивной и емкостной нагрузках.

20. Лабораторная работа № 20 «Определение номинала элементов по маркировке на корпусе».

Цель работы:

Научиться определять номиналы элементов электрических цепей по маркировке на корпусе.

Необходимое оборудование.

Персональный компьютер с установленной программой «REZISTOR».

Порядок выполнения работы.

1. По обозначению на корпусе конденсатора (согласно варианта в таблице №1) определить его номинал. Результат занести в таблицу №3.
2. По обозначению на корпусе резистора (согласно варианта в таблице №1) определить его номинал. Результат занести в таблицу №3.

Таблица №1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
Конденсатор	1П1 И	16П С	Н67 И	Н22 С	5Н1 И	91Н С	2Н2И	М91 С
Резистор	К27С	51ЕИ	5К1С	65К И	41КС	12ЕИ	М80 С	1К2И

Таблица №1 (продолжение)

Вариант	9	10	11	12	13	14	15
Конденсатор	1М0 И	5М1 С	5Н0 И	6Н8С	82Н И	М56 С	51П И
Резистор	6М0С	26КИ	60ЕС	4М6 И	24КС	К66И	54КС

Примеры маркировки конденсаторов и резисторов.

Конденсаторы с номинальным значением до 100 пикофарад маркируются буквой П или латинской Р, например:

1 пФ - 1П0 или 1Р0

1,5 пФ - 1П5 или 1Р5

15 пФ - 15П или 15 Р

15,2 пФ - 15П2

Конденсаторы с номинальным значением от 100 пикофарад до 0,1 микрофарад маркируются в нанофарадах буквой Н или латинской n, например:

100 пФ (0,1 нФ) - Н10 или n10

150 пФ (0,15 нФ) - Н15

1000 пФ (1 нФ) - Н10 или 1n0

1500 пФ (1,5 нФ) - Н15

0,01 мкФ (10 нФ) - 10Н или 10n

0,068 мкФ (68 пФ) - 68Н

Конденсаторы с номинальным значением от 0,1 микрофарад и выше маркируются буквой М, например

0,1 мкФ - M10 (на некоторых видах конденсаторов такая емкость может обозначаться и в нанофарадах латинской буквой n, например 100 n=100 нФ=0,1 мкФ и т.д.)
 0,15 мкФ - M15
 0,22 мкФ - M22
 1 мкФ - 1M0
 1,5 мкФ - 1M5
 15 мкФ - 15M
 150 мкФ - 150M

При указании номинала резистора, вместо десятичной точки пишут букву, соответствующую единицам измерения (К или k — для килоОм, М или m — для мегаОм, Е или R для единиц Ом). Кроме того, любой номинал отображается максимум тремя символами. Например, 4K7 обозначает резистор, сопротивлением 4,7 кОм, 1R0 — 1 Ом, M12 - 120кОм (0,12МОм) и т. д.

- В таком виде наносить номиналы на маленькие резисторы трудно и применяют маркировку цветными полосами.

Буквенное обозначение возможного процента отклонения параметра от номинального сопротивления или емкости, приведенное в таблице №2, для резисторов и конденсаторов одинаковое. Если в обозначении номинала резистора или конденсатора используются русские буквы, то и для обозначения отклонения используют русские буквы, если в номинале латинские, то и в обозначении отклонения латинские.

Таблица №2

Допустимое отклонение емкости и сопротивления от номинальных величин, %	Кодированные обозначения
$\pm 0,1$	Ж или латинской буквой В
$\pm 0,25$	У или латинской буквой С
$\pm 0,5$	Д или латинской буквой D
± 1	Р или латинской буквой F
± 2	Л или латинской буквой G
± 5	И или латинской буквой J
± 10	С или латинской буквой K
± 20	В или латинской буквой M
± 30	Ф или латинской буквой N

Например

Маркировка на конденсаторе H51C обозначает 510 пФ $\pm 10\%$.

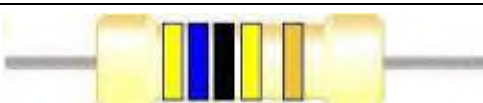
Маркировка на резисторе 10EI обозначает 10 Ом $\pm 5\%$.

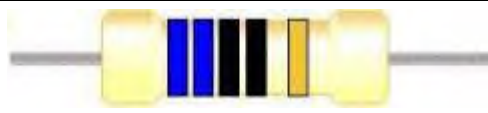
3. Запустить программу «REZISTOR». Программа определяет номинал резистора по цветным полосам на корпусе.
4. Ввести цвета полос, согласно варианта в таблице №4.
5. Результат занести в таблицу №3.

Таблица №3

Конденсатор	Резистор	
	По цифро – буквенному обозначению	По цветным полосам

Таблица №4

Вариант	Маркировка
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	

14	
15	

Список использованных источников.

Основные источники:

Электротехника. Лабораторно-практические работы: учебное пособие / И.О. Мартынова. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: КНОРУС, 2023. — 136 с. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.book.ru/949301>

Дополнительные источники:

1. Электротехника: учебник / И.О. Мартынова. — Москва: КноРус, 2023. — 304 с. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://book.ru/books/948719>
2. Электротехника: учебник / С.М. Аполлонский. — Москва: КНОРУС, 2023. — 293 с. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.book.ru/>
3. Электротехника. Практикум: учебное пособие / С.М. Аполлонский. — Москва: КНОРУС, 2022. — 318 с. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.book.ru/>
4. Электротехника. Практикум (с примерами решения задач): учебное пособие / И.С. Султангараев. — Москва : КНОРУС, 2023. — 182 с. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.book.ru/>

Приложение к рабочей программе
по специальности 23.02.06
Техническая эксплуатация
подвижного состава железных дорог
направление подготовки: тепловозы и
дизель-поезда

**Методические указания по проведению
лабораторных работ**
по дисциплине
ОП.04. Электроника и микропроцессорная техника

Саратов 2023

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Лабораторные работы по учебной дисциплине ОП.04 Электроника и микропроцессорная техника является частью основной профессиональной образовательной программы в соответствии с ФГОС по специальности СПО: 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог

Учебная дисциплина «Электроника и микропроцессорная техника» относится к циклу профессиональных и общепрофессиональных дисциплин и нацелена на развитие у студентов мышления и навыков овладения работой с электронными приборами и устройствами, изучения работы источников вторичного питания, логических и микропроцессорных устройств.

Цель проведения лабораторных работ - научить студентов пользоваться электронными приборами и устройствами, измерять параметры электронных схем, способствовать изучению студентами принципов работы и характеристик электронных приборов и устройств, а также принципов работы логических элементов.

Рекомендуется, выполнение лабораторных работ в рабочей тетради. В результате выполнения заданий рабочей тетради обучающийся должен уметь измерять параметры электронных схем, пользоваться электронными приборами и оборудованием.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен знать принципы работы и характеристики электронных приборов и логических элементов.

В результате изучения данного курса студент должен сформировать следующие **общие компетенции:**

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

профессиональные компетенции:

ПК 1.1. Эксплуатировать подвижной состав железных дорог.

ПК 1.2. Производить техническое обслуживание и ремонт подвижного состава железных дорог в соответствии с требованиями технологических процессов.

ПК 1.3. Обеспечивать безопасность движения подвижного состава.

ПК 2.3. Контролировать и оценивать качество выполняемых работ

ПК 3.1. Оформлять техническую и технологическую документацию.

ПК 3.2. Разрабатывать технологические процессы на ремонт отдельных деталей и узлов подвижного состава железных дорог в соответствии с нормативной документацией.

Структура методических указаний подчинена основным формам учебной работы и организации самостоятельной работы в виде работы с учебником и электронными лекциями по дисциплине «Электроника и микропроцессорная техника», а также организации практической работы в виде исследовательской работы, с применением обучающих компьютерных программ. Методические указания включает также список основной и дополнительной литературы к курсу.

Контроль умений и знаний по дисциплине производится по каждой лабораторной работе в виде оценки по пятибалльной системе.

При анализе и оценке ответа студента необходимо учитывать:

1. Знание основных понятий по дисциплине «Электроника и микропроцессорная техника»;
2. Умение ориентироваться в схемах и элементах схем.
3. Умение пользоваться электроизмерительными приборами и производить основные измерения и настройки схем.
4. Техническую грамотность студента, позволяющую определить глубину понимания студентом вопроса;
5. Умение применять знания, полученные по другим дисциплинам.

Критерии оценки:

Оценка «5» (отлично) – ставится студенту, полностью и правильно выполнившему все практические и исследовательские задания лабораторной работы, понимая происходящие процессы, ответившему полностью на все контрольные вопросы и на дополнительные вопросы при отчёте за лабораторную работу, что соответствует 10 дидактическим баллам.

Оценка «4» (хорошо) – ставится студенту, который допустил незначительные ошибки при выполнении лабораторной работы и в ответах на контрольные вопросы и ответил на дополнительные вопросы при отчёте, что соответствует 8 дидактическим баллам.

Оценка «3» (удовлетворительно) – ставится студенту, который не полностью выполнил задания лабораторной работы, понимая происходящие процессы или(и) не полностью ответил на контрольные вопросы, показав понимание данной темы и ответил на дополнительные вопросы при отчёте., что соответствует 6 дидактическим баллам.

В остальных случаях выставляется оценка «2» (неудовлетворительно).\

Содержание.

Введение.....	5
1. Лабораторная работа №1 «Исследование работы диода».....	6
2. Лабораторная работа №2 «Исследование работы тиристора».....	8
3. Лабораторная работа №3 «Исследование работы транзистора».....	10
4. Лабораторная работа №4 «Исследование электронного усилителя».....	12
5. Лабораторная работа №5 «Исследование мультивибратора».....	15
6. Лабораторная работа №6 «Исследование однофазных неуправляемых выпрямителей».....	17
7. Лабораторная работа №7 «Исследование мостового управляемого выпрямителя».....	19
8. Лабораторная работа №8 «Исследование свойств сглаживающих фильтров»...	21
9. Лабораторная работа №9 «Исследование параметрического стабилизатора напряжения».....	23
10. Лабораторная работа №10 «Исследование работы логических элементов».....	25
11. Лабораторная работа №11 «Исследование триггеров».....	27
12. Лабораторная работа №12 «Исследование дешифраторов».....	31
Список использованных источников.....	33

РЕКОМЕНДОВАНО

к использованию в образовательной организации внутри

внутри филиала СамГУПС в г. Саратов

согласно решения методического совета

№1 от 21 сентября 2023 г.

ОДОБРЕНО

на заседании ЦМК

«Техническая эксплуатация
подвижного состава железных
дорог»

Протокол № ____ от «__» _____ 20__ г.

Председатель

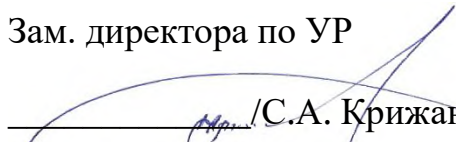


/ Д.К. Гусев /

Методические указания составлены в соответствии с требованиями ФГОС по специальности СПО 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог (приказ Минобрнауки РФ от 22.04.2014 № 388) и на основе профессионального стандарта «Работник по управлению и обслуживанию локомотива» (утв. приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 21 апреля 2022 г. N 226н)

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по УР



/С.А. Крижановский/

«__» _____ 20__ г.

Составители (авторы):

Гусев Д.К., преподаватель филиала СамГУПС в г. Саратове;

Локтионов О.Б., преподаватель филиала СамГУПС в г. Саратове, высшей квалификационной категории;

Мелешкин В.Е., преподаватель филиала СамГУПС в г. Саратове.

Введение.

Технический прогресс современной техники базируется на применении электронных устройств. В системах электроснабжения и электроподвижного состава железнодорожного транспорта эксплуатируются преобразователи электроэнергии, устройства автоматики, телемеханики, релейной защиты и вычислительной техники, создаваемые на основе электронных полупроводниковых приборов. Уровень их эксплуатации зависит от квалификации работников. Из этого следует, что необходимым условием подготовки кадров для железных дорог является изучение свойств полупроводниковых приборов, их характеристик, конструкции, принципа действия и условий эксплуатации.

С прогрессом в электронике теснейшим образом связано развитие рельсовых и безрельсовых транспортных средств. Современная полупроводниковая электроника обеспечивает любое преобразование электроэнергии, позволяет перейти к гибким технологическим процессам в системе тягового электроснабжения и на подвижном составе. Применение современных устройств электронной техники способствует созданию энергоэкономичных систем электрической тяги с оптимальным электропотреблением при обеспечении заданной пропускной и провозной способности.

Проблемы электроники обсуждаются на различных научных конференциях, конгрессах и симпозиумах. Одним из наиболее значительных подобных мероприятий является международный симпозиум «Eltrans», который проводится в России один раз в два года, начиная с 2001 года. Симпозиум проводят ОАО «РЖД», Академия транспорта РФ, Октябрьская железная дорога — филиал ОАО «РЖД» и Петербургский государственный университет путей сообщения (ПГУПС). В работе симпозиума принимают участие руководители и специалисты ОАО «РЖД», ученые РАН, специалисты научно-исследовательских и проектных организаций, ученые и преподаватели транспортных вузов РФ, стран СНГ и других государств, фирмы-разработчики подвижного состава и электрооборудования энергетических комплексов, средств промышленной автоматизации, строительно-монтажных работ тягового электроснабжения; руководители и специалисты РАО ЕЭС России.

Проведение практикума по техническому моделированию призвано помочь студентам усвоить умения и навыки применения радиоизмерительных приборов для определения параметров электронных устройств. В ходе практикума студенты обсуждают теоретические вопросы и выполняют экспериментальные задания.

1. Лабораторная работа №1 «Исследование работы диода».

Цель работы:

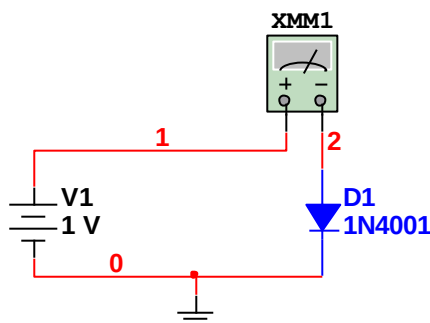
Исследовать работу выпрямительного диода. Построить ВАХ диода. Сделать вывод.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальную схему, включив диод согласно схеме (выбрать диод 1N4001).

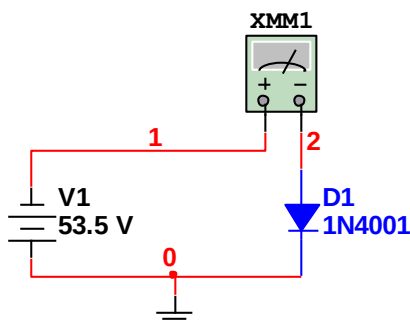


3. Измерить прямой ток диода, изменяя прямое напряжение, согласно таблице №1 (напряжение изменять на источнике V1, ток измерять с помощью мультиметра XMM1). Результаты измерений занести в таблицу №1.

Таблица №1

U,V	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
I,A											

4. Построить ВАХ при прямом включении диода на основании таблицы №1. Рекомендуется выбрать следующий масштаб: для напряжения в 1 см 0,2 В; для тока в 1см 1А
5. Поменять полярность источника V1, согласно схеме ниже.



6. Измерить обратный ток диода, изменяя обратное напряжение, согласно таблице №2 (напряжение изменять на источнике V1, ток измерять с помощью мультиметра ХММ1). Результаты измерений занести в таблицу №2.

Таблица №2

U,B	-53,0	-53,1	-53,2	-53,3	-53,4	-53,5	-53,6	-53,7	-53,8	-53,9	-54,0
I,A											

7. Построить ВАХ при обратном включении диода на основании таблицы №2. Рекомендуется выбрать следующий масштаб: для напряжения в 1 см 0,1В; для тока в 1 см 1 А
8. Сделать вывод об односторонней проводимости диода.

2. Лабораторная работа №2 «Исследование работы тиристора».

Цель работы:

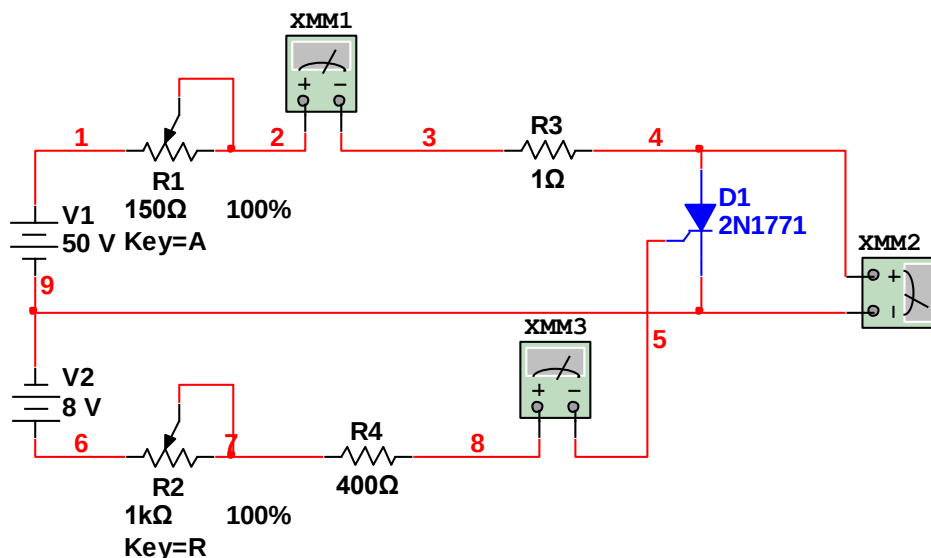
Исследовать работу тиристора. Построить ВАХ тиристора при различных режимах.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальную схему.



3. Тиристор открывается при токе управления больше 9,8 мА. С помощью резистора R2 установить ток управления $I_{упр.} < 9,8$ мА (ток устанавливать по мультиметру XMM3).
4. Изменяя переменным резистором R1 сопротивление нагрузки (согласно таблице №1), измерьте напряжение и ток тиристора (напряжение измерять по мультиметру XMM2, ток по XMM1). Результаты измерений занесите в таблицу №1.

Таблица №1

Положение R1	U; В*	I; А*
30%		
60%		
90%		

* значения округлять до двух знаков

5. С помощью резистора R2 установить ток управления $I_{упр.} > 9,8$ мА (ток устанавливать по мультиметру XMM3).
6. Изменяя переменным резистором R1 сопротивление нагрузки (согласно таблице №2), измерьте напряжение и ток тиристора (напряжение измерять по мультиметру XMM2, ток по XMM1). Результаты измерений занесите в таблицу №2. Тиристор 2N1771 открывается при токе управления 9,8 мА. При уменьшении тока управления тиристор не закрывается !!! Что бы закрыть переходы тиристора

необходимо уменьшить ток управления меньше 9,8 мА, выключить питание, а затее снова включить.

Таблица №2

Пол. R1	I _{упр.} > 9,8 мА	
	U; В	I; А
95%		
80%		
65%		
55%		
45%		
35%		
30%		
25%		
20%		

7. Построить ВАХ при токе управления $I_{упр.} > 9,8 \text{ мА}$. Рекомендуется выбрать масштаб: 10 мВ на 1 см для напряжения и 200 мА на 1 см для тока. Напряжение задавать в пределах от 850 мВ до 1 В.
8. Сделать вывод о влиянии тока управления на прямой ток тиристора..

3. Лабораторная работа №3 «Исследование работы транзистора».

Цель работы:

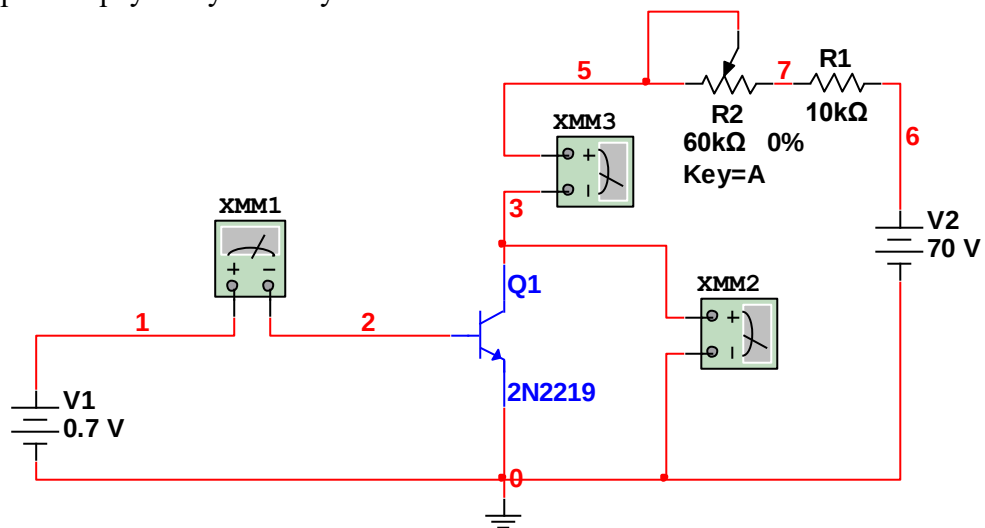
Исследовать работу транзистора. Построить статические характеристики п-р-п транзистора (в схеме с общим эмиттером). Убедиться в реальности изучаемых характеристик.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальную схему.



3. Установить параметры элементов согласно схеме. Для удобства проведения измерений, выставить дискретность изменения R2 – 2%.
4. Установить резистор R2 в положение 50%. Измерить и записать в таблицу №1 ток базы I_b (по XMM1), изменяя напряжение $U_{бэ}$ (напряжение $U_{бэ}$ изменять на источнике V1, согласно таблице №1).
5. Измерить токи коллектора I_c (по XMM2) при различных напряжениях $U_{кэ}$ (XMM2) при каждом из напряжений $U_{бэ}$ (согласно таблице №1, выставляемых на источнике V1), изменяя положение движка переменного резистора R2. Результаты занести в таблицу №1.

Таблица №1

$U_{бэ}$, В	$R2$, кОм	I_b , мА	I_c , мА, при						
			$U_{кэ} = 0\text{мВ}$	$U_{кэ} = 1\text{мВ}$	$U_{кэ} = 2\text{мВ}$	$U_{кэ} = 3\text{мВ}$	$U_{кэ} = 4\text{мВ}$	$U_{кэ} = 5\text{мВ}$	$U_{кэ} = 6\text{мВ}$
0,7	60		0						
0,75	21		0						
0,78	13		0						
0,85	6,6		0						-----

6. Построить входные статические характеристики транзистора ($I_b = f(U_{бэ})$) по результатам таблицы %1. , выбрав масштаб для $U_{бэ}$ 0,05 В на 1 см ($U_{бэ}$ задавать от 0,7В до 0,9В), для I_b 2 мА в 1 см.
7. Построить семейство выходных статических характеристик транзистора ($I_k = f(U_{кэ})$, если $I_b = \text{const}$) при различных токах базы, выбрав масштаб для $U_{кэ}$ в 1 см 1 мВ, для I_k в 1 см 1 мА.
8. Сделать выводы об изменении тока коллектора при изменении тока базы и напряжения между коллектором и эмиттером и об изменении тока базы при изменении напряжения между базой и эмиттером.

4. Лабораторная работа №4 «Исследование электронной схемы усилителя».

Цель работы:

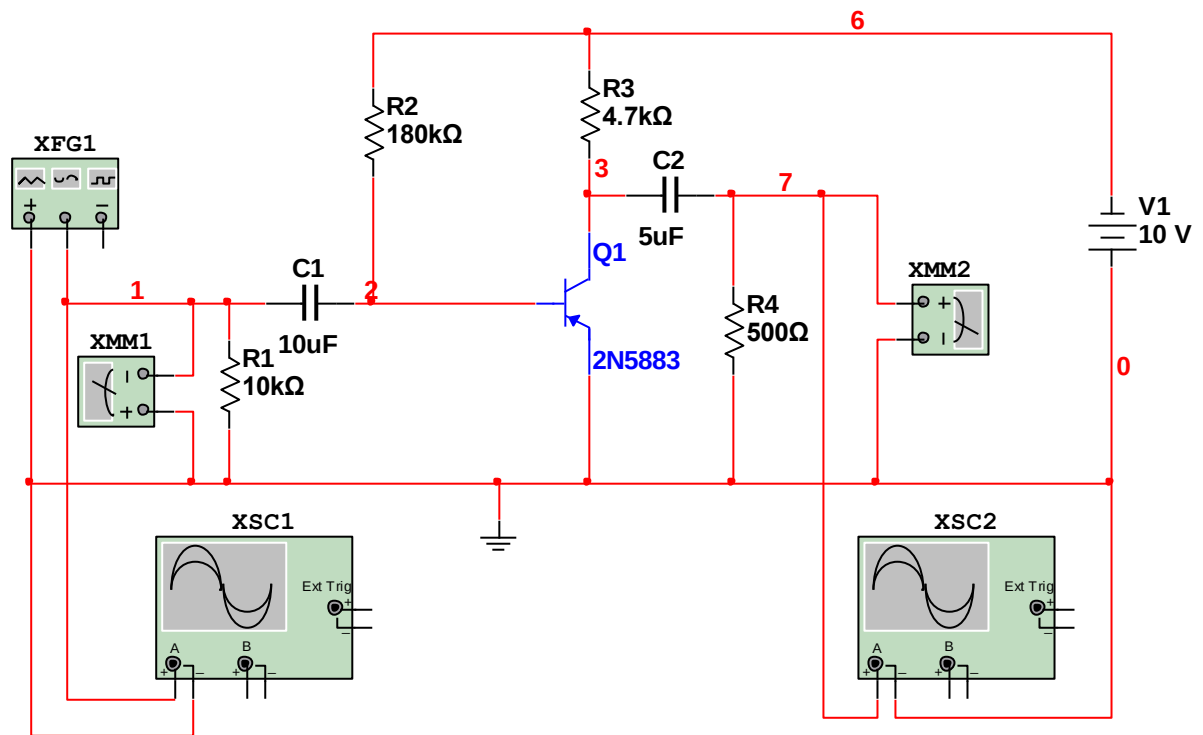
Исследовать работу усилителя. Построить амплитудную и амплитудно – частотную характеристики. Убедиться в реальности изучаемых характеристик.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench-2.
2. Собрать виртуальную схему. Для исследования предложена однокаскадная схема с общим эмиттером, работающая в режиме «А».



3. Установить параметры элементов согласно схеме. Для генератора XFG1 установить синусоидальный сигнал, частотой 10000 Гц, амплитудой 20 mV (смещение 0). Для осциллографа XSC1 установить 100 μ S и 20 mV на деление (смещение 0). Для осциллографа XSC2 установить 100 μ S и 200 mV на деление (смещение 0). Мультиметры XMM1 и XMM2 включить, как вольтметры переменного напряжения.

4. Изменяя амплитуду входного сигнала ($U_{\text{вх.д}}$) на генераторе, согласно таблице №1, произвести измерения для построения амплитудной характеристики (зависимость $U_{\text{вых.д}}$ от $U_{\text{вх.д}}$) усилителя (при проведении измерений в опытах №5...№10, для осциллографа XSC1 установить 100 μ S и 50 mV на деление (смещение 0), для осциллографа XSC2 установить 100 μ S и 500 mV на деление (смещение 0)). $U_{\text{вх.д}}$ измерять по XMM1, $U_{\text{вых.д}}$ по XMM2 после остановки цифр вольтметров. Результаты измерений занести в таблицу №1.

Таблица №1

№ опыта	Амплитуда входного сигнала ($U_{\text{макс}}$, mV)	Действующее входное напряжение ($U_{\text{вх.д}}$, mV)	Действующее выходное напряжение ($U_{\text{вых.д}}$, mV)
1	5		
2	10		
3	15		
4	20		
5	25		
6	30		
7	40		
8	60		
9	80		

5. Для генератора XFG1 установить синусоидальный сигнал, частотой 10000 Гц, амплитудой 20 mV (смещение 0). Для осциллографа XSC1 установить 100 μ S и 20 mV на деление (смещение 0). Для осциллографа XSC2 установить 100 μ S и 200 mV на деление (смещение 0).

6. Изменяя частоту входного сигнала (F) на генераторе, согласно таблице №2, произвести измерения для построения амплитудно - частотной характеристики (зависимость K_u от F) усилителя. $U_{\text{вх.д}}$ измерять по ХММ1, $U_{\text{вых.д}}$ по ХММ2 после остановки цифр вольтметров. Результаты измерений занести в таблицу №2.

Таблица №2

№ опыта	Частота входного сигнала (F, Гц)	Действующее входное напряжение ($U_{\text{вх.д}}$, mV)	Действующее выходное напряжение ($U_{\text{вых.д}}$, mV)	Коэффициент усиления по напряжению (K_u)
1	100			
2	400			
3	500			
4	1000			
5	2000			
6	5000			
7	6000			
8	10000			
9	15000			
10	16000			
11	17000			
12	20000			

$$* K_u = U_{\text{вых.д}} / U_{\text{вх.д}}$$

7. По результатам измерений в таблице №1 построить амплитудную характеристику (зависимость $U_{\text{вых.д}}$ от $U_{\text{вх.д}}$) усилителя. Для $U_{\text{вх.д}}$ выбрать масштаб в 1 см 10 mV, для $U_{\text{вых.д}}$ в 1 см 100 mV.

8. По построенной амплитудной характеристике визуально определить её линейную часть и максимальное входное напряжение $U_{\text{вх.д макс}}$ для исследуемого усилителя.

9. По результатам измерений в таблице №2 построить амплитудно - частотную характеристику (зависимость K_u от F) усилителя. Для F выбрать масштаб в 1 см 1000 Гц, для коэффициента усиления (K_u) в 1 см 0,2 единицы. Коэффициент усиления (K_u) строить в пределе от 23 до 25.

10. По построенной амплитудно - частотной характеристике определить в каких пределах изменения частоты входного сигнала ($F_{\text{нижн}}$ и $F_{\text{верхн}}$) коэффициент усиления (K_u) будет изменяться меньше чем на 1% от максимального.

11. Результаты пунктов 8 и 10 занести в таблицу №3.

Таблица №3

Максимальное входное напряжение ($U_{вх.д макс}$, mV)	Частотная полоса пропускания усилителя	
	Нижний предел изменения частоты входного сигнала ($f_{нижн}$, Гц)	Верхний предел изменения частоты входного сигнала ($f_{верхн}$, Гц)

12 Сделать вывод о пределах применения усилителя.

5. Лабораторная работа №5 «Исследование мультивибратора».

Цель работы:

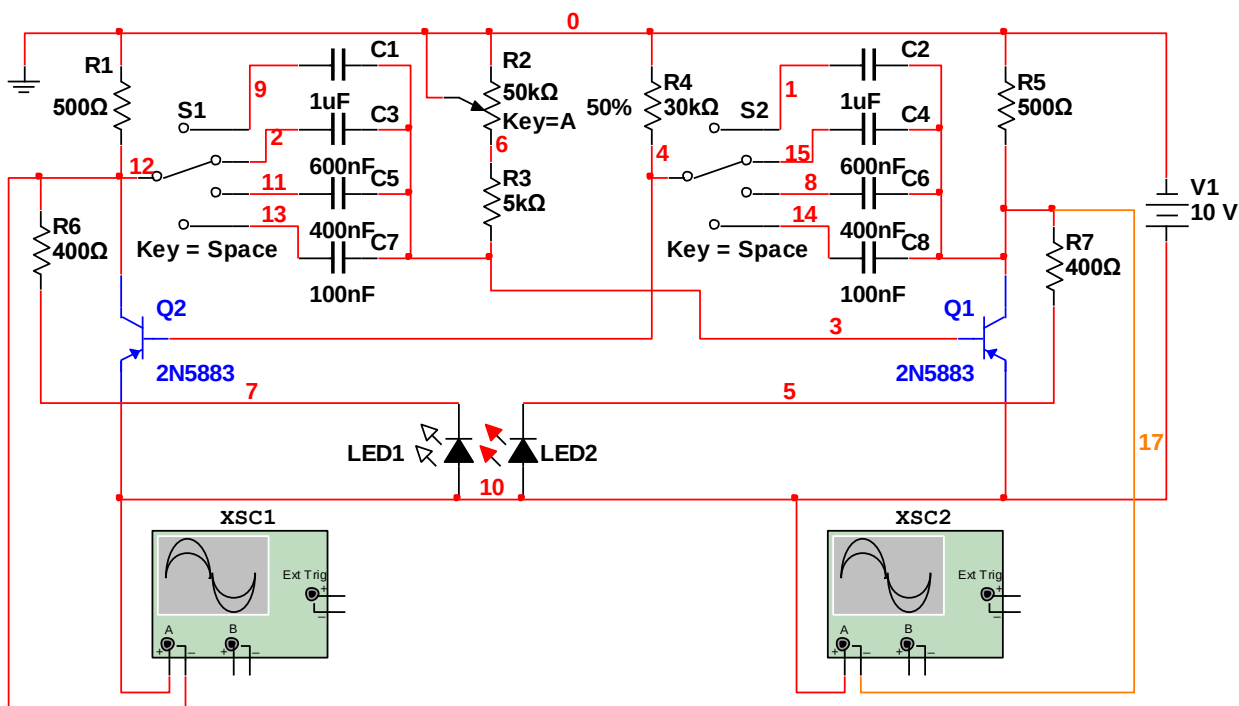
Исследовать работу мультивибратора. Оценить возможность регулировки длительности импульсов и паузы, а так же частоты колебаний.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальную схему. Для исследования предлагается схема симметричного мультивибратора. Переключатели S1 и S2 переключаются одним органом управления на клавиатуре (кнопкой «пробел»). С помощью этих переключателей меняется ёмкость конденсаторов в схеме. Светодиоды LED1 и LED2 применяются для визуального наблюдения работы схемы. При сборке схемы рекомендуется выбрать светодиоды разного цвета.



3. После сборки схемы установить для осциллографов XSC1 и XSC2 масштабы 5mS/d и 2V/d. Движок переменного резистора R2 установить в положение 50%. Переключатели S1 и S2 установить в положение, при котором включены конденсаторы ёмкостью 600 nF (нанофард).
4. Устанавливая разные положения движка резистора R2 согласно таблице №1, определять период и длительность импульсов с помощью осциллографа XSC2. Результаты измерений занести в таблицу №1.

Таблица №1

№ опыта	Положение движка R2.	Сопротивление на базе Q2.	Сопротивление на базе Q1.	Период в делениях шкалы.	Период	Длительность импульса в делениях шкалы.	Длительность импульса	Длительность импульса в процентах от периода.
	R2%	R4	$RQ1 = R3 + 0.01R2 \cdot R2\%$	Td	$T = Td \cdot N$	Tид	$T_{и} = T_{ид} \cdot N$	$T\% = 100 \cdot T_{и}/T$
	%	кОм	кОм	Дел.	мС	Дел.	мС	%
1	0	30						
2	25	30						
3	50	30						
4	75	30						
5	100	30						

*N цена деления шкалы осциллографа в мС

5. Установить движок резистора R2 в положение 50%. Изменяя положение переключателей S1-S2, определять частоту импульсов с помощью осциллографа XSC2, согласно таблице №2. Результаты измерений занести в таблицу №2.

Таблица №2

№ опыта.	Ёмкость конденсаторов.	Период в делениях шкалы.	Период.	Частота импульсов.
	C	Td	$T = Td \cdot N$	$f = 1000/T$
	nF	Дел.	мС	Гц
1	100			
2	400			
3	600			
4	1000			

*N цена деления шкалы осциллографа в мС

6. На основании таблицы №1 построить график зависимости длительности импульса в процентном выражении (T%) от сопротивления (RQ1) на базе Q1. Масштаб для RQ1 в 1 см 5 кОм, для T% в 1 см 10 %.
7. На основании таблицы №2 построить график зависимости частоты импульсов (f) от ёмкости конденсаторов (C). Масштаб для C в 1 см 100 nF, для f в 1 см 25 Гц.
8. Сделать вывод о возможности регулирования частоты и длительности импульсов в исследуемой схеме. Отметить соотношение периода и длительности импульса при $RQ1 = R4$ (см. таблицу №1).

6. Лабораторная работа №6 «Исследование однофазных неуправляемых выпрямителей».

Цель работы:

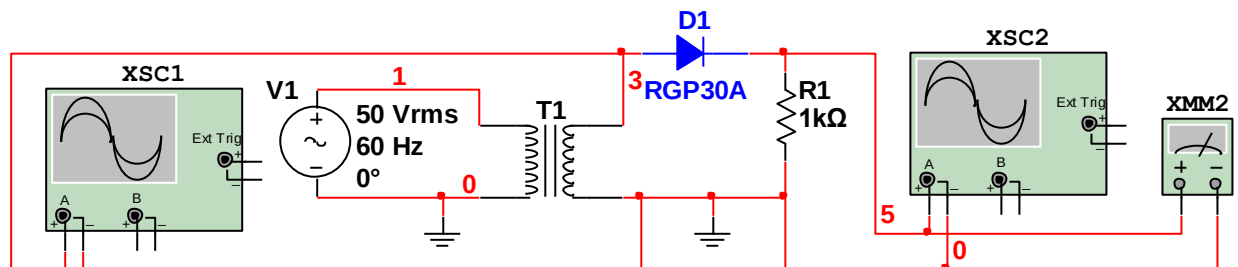
Исследовать работу однофазных неуправляемых выпрямителей. Оценить преимущества и недостатки различных схем.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальную схему однофазного однополупериодного выпрямителя.



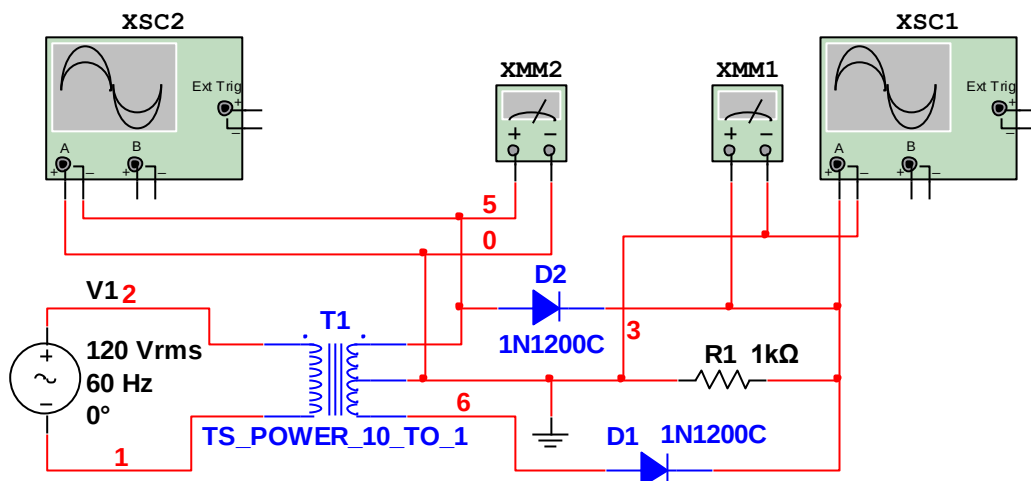
*Коэффициент трансформации трансформатора T1 равен 1.

3. Установить типы элементов и их параметры (согласно схеме). В качестве V1 выбрать AC POWER. Для осциллографов XSC1 и XSC2 установить масштабы 10 mS и 50 V. Мультиметр XMM2 включить, как вольтметр постоянного тока.
4. Зарисовать графики сигналов на входе и выходе устройства, учитывая масштаб. Осциллограмма входного сигнала должна находиться на верхней диаграмме.
5. Замерить среднее напряжение на нагрузке $U_{н\text{ ср}}$ по мультиметру XMM2
6. Рассчитать коэффициент выпрямления (отношение среднего напряжения на нагрузке к действующему переменному напряжению на входе) по формуле $K = U_{н\text{ ср}} / U_{вх.д.}$. $U_{вх.д.} = 50\text{ В}$, т. к. коэффициент трансформации трансформатора T1 равен 1. Результаты измерений и расчётов занести в таблицу №1.

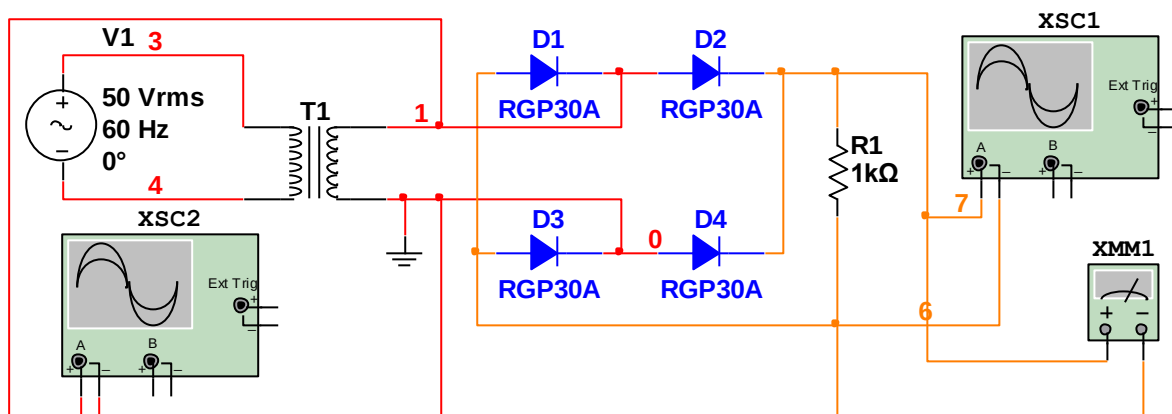
Таблица №1

Схема	$U_{вх.д.}; \text{В}$	$U_{н\text{ ср}}; \text{В}$	K
Схема №1			
Схема №2			
Схема №3			

7. Собрать схему двухполупериодного однофазного выпрямителя на основе трансформатора с выводом от средней точки согласно схеме;



8. Установить типы элементов и их параметры (согласно схеме). В качестве V1 выбрать AC POWER. Для осциллографов XSC1 и XSC2 установить масштабы 10 mS и 10 V. Мультиметр XMM1 включить, как вольтметр постоянного тока, XMM2, как вольтметр переменного тока.
9. Зарисовать графики сигналов на входе и выходе устройства, учитывая масштаб. Осциллограмма входного сигнала должна находиться на верхней диаграмме.
10. Замерить среднее напряжение на нагрузке $U_{н\text{ ср}}$ по мультиметру XMM1 и входное действующее напряжение на одной полуобмотке трансформатора $U_{вх.д}$ по мультиметру XMM2.
11. Рассчитать коэффициент выпрямления (отношение среднего напряжения на нагрузке к действующему переменному напряжению на входе) по формуле $K = U_{н\text{ ср.}} / U_{вх.д}$. Результаты измерений и расчётов занести в таблицу №1.
12. Собрать схему однофазного МОСТОВОГО выпрямителя согласно схеме;



*Коэффициент трансформации трансформатора T1 равен 1.

13. Установить типы элементов и их параметры (согласно схеме). В качестве V1 выбрать AC POWER. Для осциллографов XSC1 и XSC2 установить масштабы 10 mS и 50 V. Мультиметр XMM1 включить, как вольтметр постоянного тока.
14. Зарисовать графики сигналов на входе и выходе устройства, учитывая масштаб. Осциллограмма входного сигнала должна находиться на верхней диаграмме.
15. Замерить среднее напряжение на нагрузке $U_{н\text{ ср}}$ по мультиметру XMM1
16. Рассчитать коэффициент выпрямления (отношение среднего напряжения на нагрузке к действующему переменному напряжению на входе) по формуле $K = U_{н\text{ ср.}} / U_{вх.д}$. $U_{вх.д} = 50\text{ В}$, т. к. коэффициент трансформации трансформатора T1 равен 1. Результаты измерений и расчётов занести в таблицу №1.
17. Сделать выводы об эффективности схем по таблице №1 и эффективности использования трансформаторов.

7. Лабораторная работа №7 «Исследование мостового управляемого выпрямителя».

Цель работы:

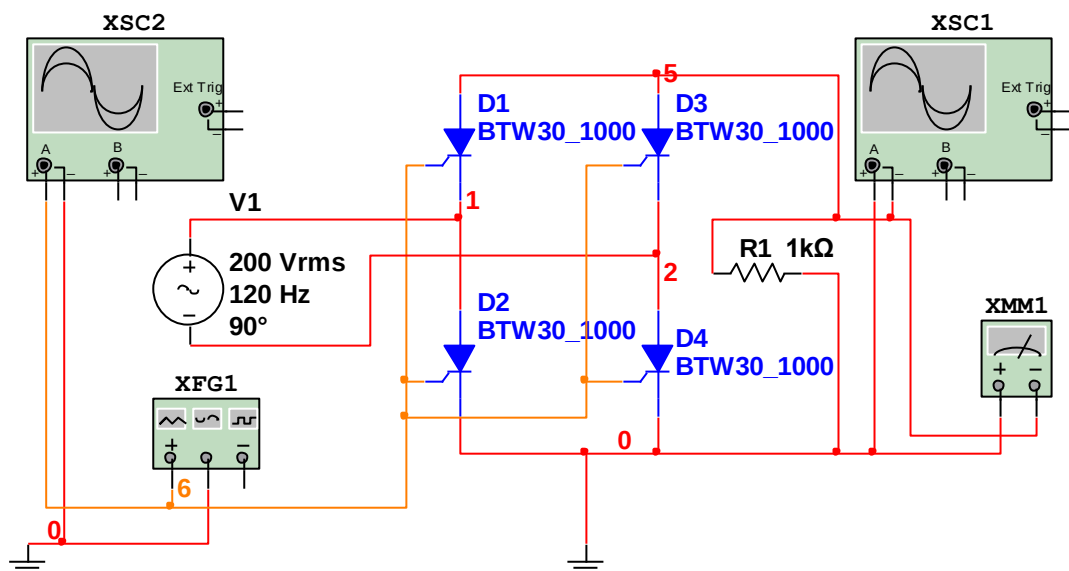
Исследовать работу однофазных управляемых выпрямителей. Сделать анализ возможности управления напряжением на выходе устройства.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальную схему однофазного управляемого мостового выпрямителя.
3. Установить типы элементов и их параметры (согласно схеме). Для источника переменного напряжения V1 (в меню программы AC POWER) установить угол сдвига фазы 90° , частоту 120 Гц, напряжение 200 V. Для генератора XFG1 выбрать режим прямоугольных импульсов, установить частоту импульсов 240 Гц, длительность импульсов 10 %, амплитуду импульсов 5 V, смещение 5 V. На осциллографе XCS2 установить 2 mS и 5V. На осциллографе XCS1 установить 2 mS и 100V. Мультиметр XMM1 включить, как вольтметр постоянного тока.



4. Устанавливая различный угол сдвига фаз (согласно таблице №1), замерить постоянное напряжение на выходе выпрямителя. Выходное напряжение определять по мультиметру XMM1. Результаты измерений занести в таблицу №1.

Таблица №1

№ опы- та.	Угол отставания фазы второго синусоидаль- ного полупериода.	Угол отставания фазы импульса	Входное напряже- ние	Выходное напряжение
	φ_2	$\varphi = 180 - \varphi_2$	$U_{вх}$	$U_{вых}$
	Градус	Градус	В	В
1	180		200	
2	165		200	
3	135		200	
4	120		200	
5	105		200	
6	90		200	
7	75		200	
8	60		200	
9	45		200	
10	30		200	

- 5.. Зарисовать графики сигналов на выходе генератора и на выходе выпрямителя, учитывая масштаб для 1, 5 и 9 опытов (графики лучше располагать друг под другом).
6. Построить график функции $U_{вых} = f(\varphi)$. Для фазы угла управления φ выбрать масштаб в 1 см 10° . Для выходного напряжения $U_{вых}$ в 1 см 10 в.
7. Сделать вывод о возможности управления большим выходным напряжением выпрямителя с помощью малого управляющего сигнала.

8. Лабораторная работа №8 «Исследование свойств сглаживающих фильтров».

Цель работы:

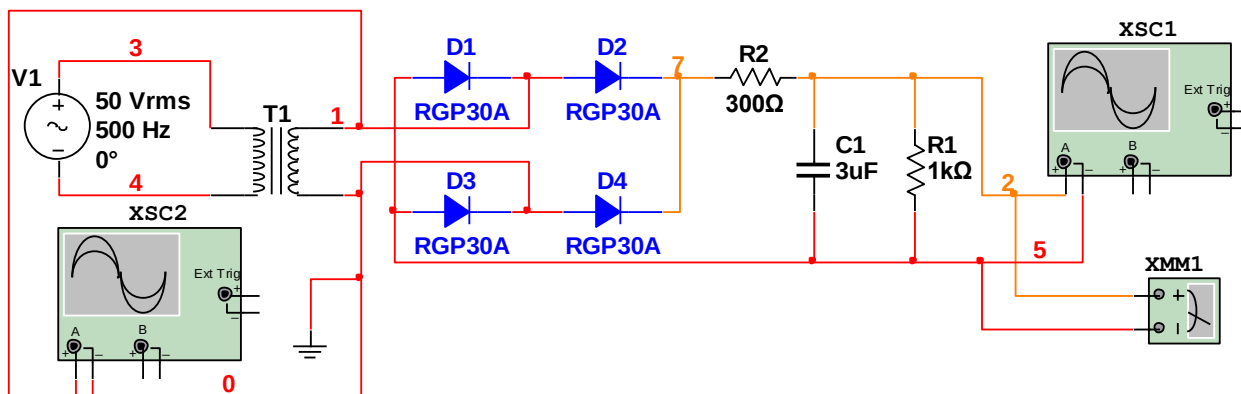
Исследовать работу сглаживающих фильтров.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальную схему.



*Коэффициент трансформации трансформатора T1 равен 1.

3. Установить типы элементов и их параметры (согласно схеме). В качестве V1 выбрать AC POWER. На осциллографе XSC1 установить развёртку 1 mS/D, амплитуду 20 V/D, На осциллографе XSC2 установить развёртку 1 mS/D, амплитуду 50 V/D мультиметр XMM1- вольтметр постоянного тока.
4. Устанавливая различные ёмкости конденсатора C1 (согласно таблице №1), измерять выходное напряжение U02 (с помощью мультиметра XMM1) и максимальное выходное напряжение U max (с помощью осциллографа XSC1).
5. Рассчитать для каждой ёмкости конденсатора превышение напряжения U12 и коэффициент сглаживания Ксгл. Результаты измерений и расчётов занести в таблицу №1.

Таблица №1

№ опыта	C1	U02	U max	U12 = U max - U02	$K_{сгл} = 0,67 \cdot U_{02} / U_{12}$
	μF	V	V	V	
1	0,5				
2	1				
3	2				
4	3				
5	4				

6	5				

6. Построить график функции $K_{\text{сгл}} = f(C1)$. Масштаб для оси $C1$ в 1 см $1 \mu\text{F}$, для оси $K_{\text{сгл}}$ в 1 см 2 единицы коэффициента.
7. Сделать вывод о зависимости коэффициента сглаживания фильтра от изменения ёмкости конденсатора.

9. Лабораторная работа №9 «Исследование параметрического стабилизатора напряжения».

Цель работы:

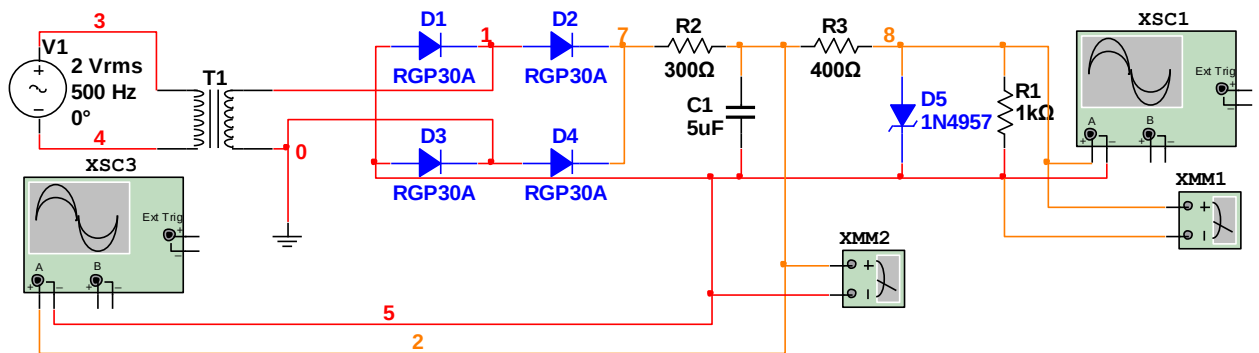
Исследовать работу параллельного параметрического стабилизатора напряжения.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальную схему вторичного источника питания, включающую в себя трансформатор T1, мостовой однополупериодный выпрямитель D1...D4, сглаживающий фильтр C1.R2, стабилизатор D5,R3.



3. На осциллографах XSC1 и XSC3 установить развёртку 1 mS, амплитуду 200 mV, смещение « -3 ». Для опытов №1,№2 установить амплитуду 500 mV. Мультиметры XMM1 и XMM2 включить, как вольтметры постоянного тока.
4. Изменяя сопротивление резистора R3 (согласно таблице №1), измерять входное (для стабилизатора) действующее напряжение $U_{вх}$ по вольтметру XMM2, выходное действующее напряжение $U_{вых}$ по вольтметру XMM1, максимальное входное (для стабилизатора) напряжение $U_{вх \text{ макс}}$ по осциллографу XSC3, максимальное выходное напряжение $U_{вых \text{ макс}}$ по осциллографу XSC1. Результаты измерений занести в таблицу №1.
5. Рассчитать коэффициент стабилизации $K_{ст}$ и КПД стабилизатора η для каждого опыта. Результаты расчётов занести в таблицу №1.

Таблица №1

№ опыта	R3	$U_{вх}$	$U_{вх \text{ макс}}$	$U_{вых}$	$U_{вых \text{ макс}}$	$K_{ст}$	η
	Ом	mV	mV	mV	mV		
1	100						
2	200						
3	300						
4	400						

* $K_{ст} = ((U_{вх \text{ макс}} - U_{вх}) / U_{вх}) / ((U_{вых \text{ макс}} - U_{вых}) / U_{вых})$, $\eta = 100 U_{вых} / U_{вх}$.

6. Построить график зависимости КПД η от коэффициента стабилизации $K_{ст}$
7. Сделать вывод об изменении КПД стабилизатора при изменении коэффициента стабилизации.

10. Лабораторная работа №10 «Исследование работы логических элементов».

Цель работы:

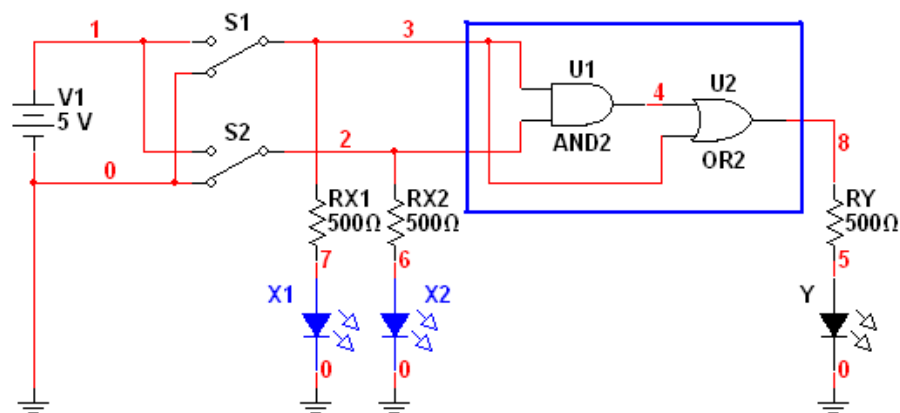
Исследовать работу логических элементов.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать электронную схему на логических элементах для логической функции $Y = X1 \cdot X2 + X1$.



3. Исследуя работу схемы, составить таблицу истинности (Таблица №1).

Таблица №1

X1	X2	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

4. Составить схему, согласно логической функции своего варианта (Таблица №2).

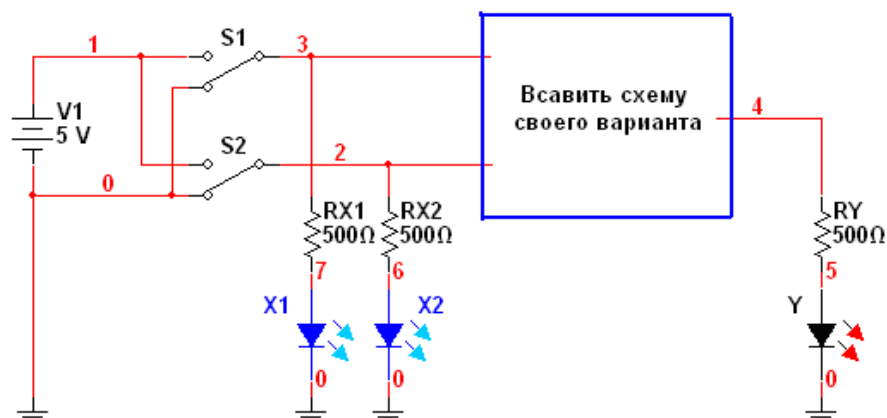


Таблица №2

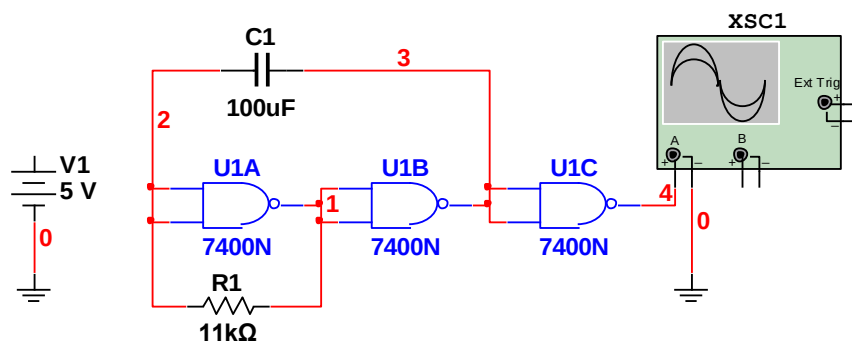
Вариант	Логическая функция
1	$Y = X1 \cdot X2 + X2$
2	$Y = (X1 + X2) \cdot X1$
3	$Y = (X1 + X2) \cdot X2$
4	$Y = \neg (X1 \cdot X2 + X2)$
5	$Y = \neg (X1 \cdot X2 + X1)$
6	$Y = \neg ((X1 + X2) \cdot X2)$
7	$Y = \neg ((X1 + X2) \cdot X1)$
8	$Y = X1 \cdot X2 + (\neg X2)$
9	$Y = X1 \cdot X2 + (\neg X1)$
10	$Y = ((\neg X1) + X2) \cdot X1$
11	$Y = (X1 + (\neg X2)) \cdot X2$
12	$Y = \neg (X1) \cdot X2 + X2$
13	$Y = \neg (X1) \cdot X2 + X1$
14	$Y = X1 \cdot (\neg X2) + X2$
15	$Y = X1 \cdot (\neg X2) + X1$

5. Составить таблицу истинности для логической функции своего варианта, исследуя схему, составленную для своего варианта. Результаты занести в таблицу №3.

Таблица №3

X1	X2	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

6. Собрать схему мультивибратора на логических элементах. На осциллографе выставить развёртку 20 nS/Div, амплитуду 2V/Div.



7. Определить частоту импульсов.
8. Результаты занести в таблицу №4.

Таблица № 4

Период в делениях шкалы. Тд	Масштаб временной шкалы. М	Период $T = M \cdot Tд.$	Частота $f = 1/T.$
	Сек.	Сек.	Гц
	$2 \cdot 10^{-8}$		

8. Сделать вывод.

11. Лабораторная работа №11 «Исследование триггеров».

Цель работы:

Исследовать работу RS, D, T, JK триггеров.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

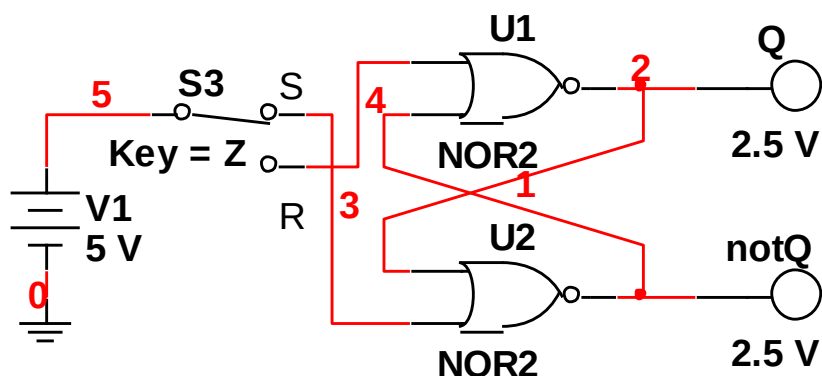
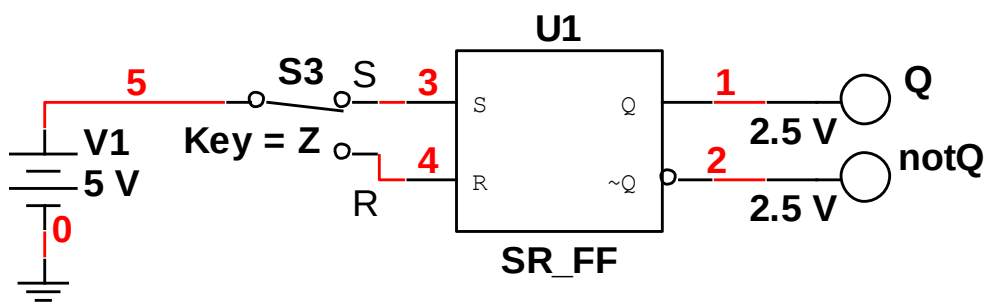
Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальные схемы триггеров для своего варианта, согласно, таблицы №1.
Виртуальные схемы триггеров представлены ниже. Для каждого варианта должны быть собраны 2 схемы для двух типов триггеров.

Таблица №1

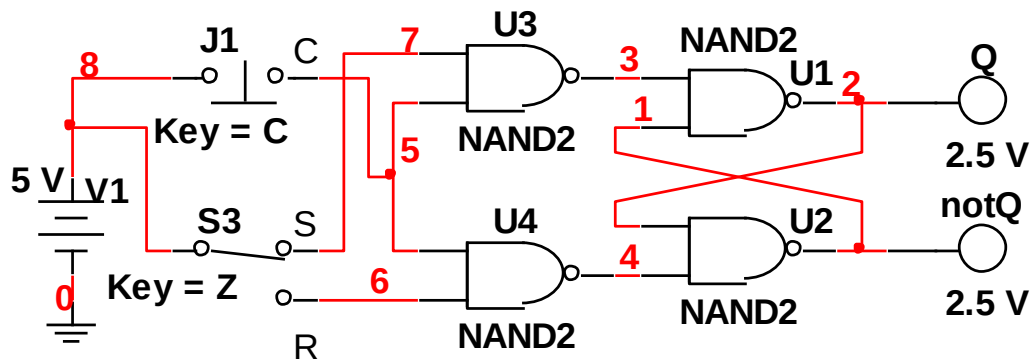
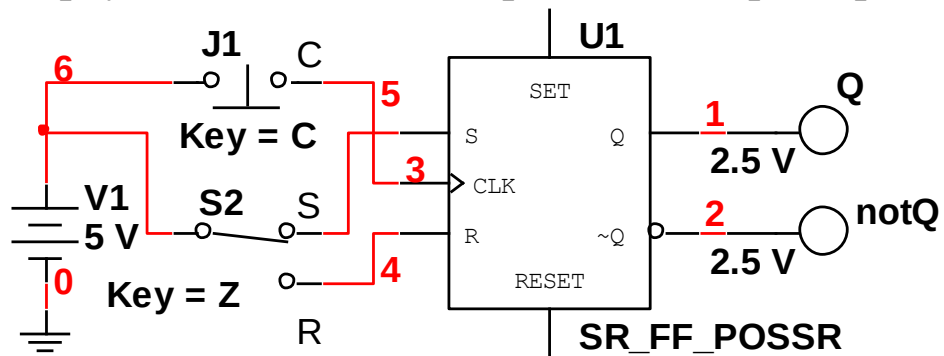
Вариант	Схемы №1	Схемы №2
1	Синхронный RS триггер	Асинхронный RS триггер
2	Синхронный RS триггер	D триггер
3	Синхронный RS триггер	T триггер
4	Синхронный RS триггер	JK триггер
5	Асинхронный RS триггер	D триггер
6	Асинхронный RS триггер	T триггер
7	Асинхронный RS триггер	JK триггер
8	D триггер	T триггер
9	D триггер	JK триггер
10	T триггер	JK триггер

Виртуальные схемы асинхронных RS триггеров.



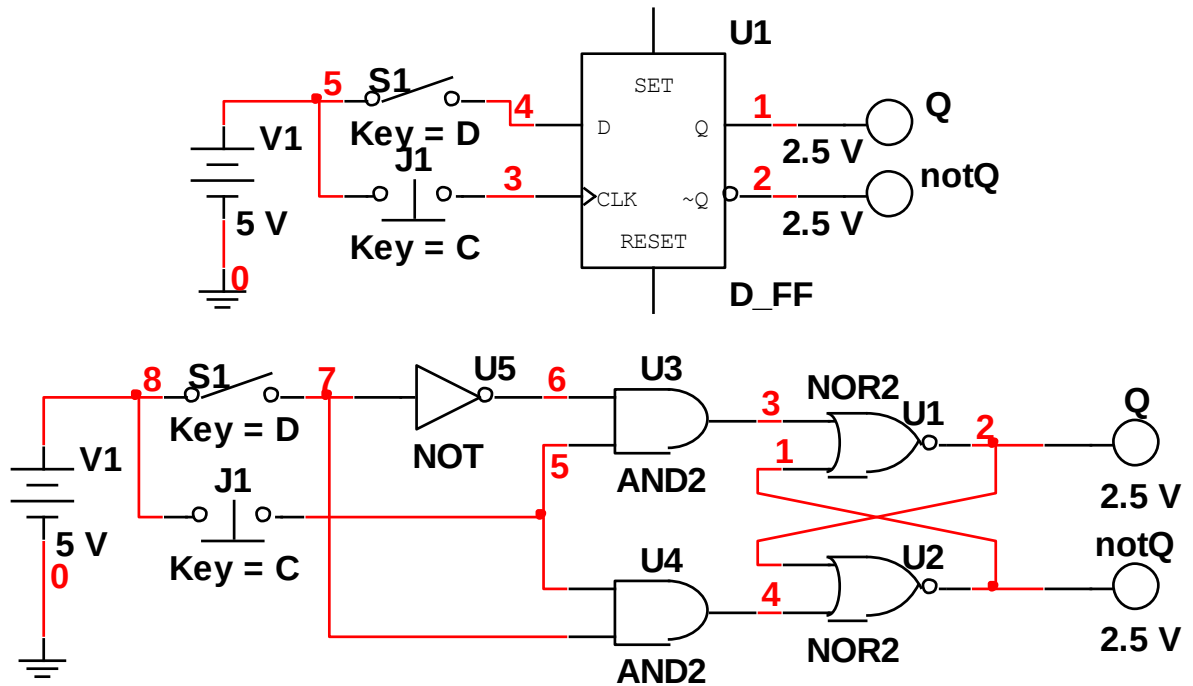
S	R	Q(t)	Q(t+1)
0	0	1	
0	0	0	
0	1	1	
0	1	0	
1	0	1	
1	0	0	
1	1	1	
1	1	0	

Виртуальные схемы синхронных RS триггеров.



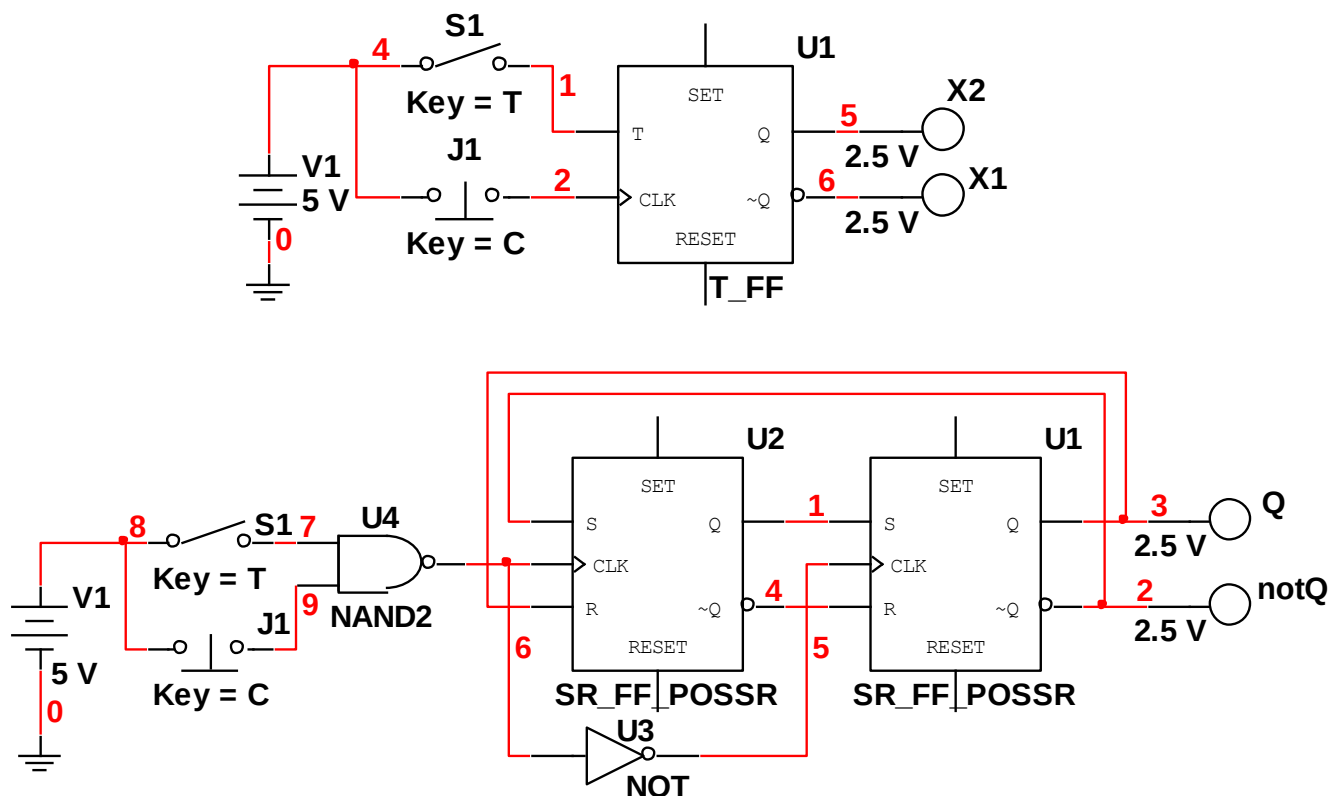
S	R	C	Q(t)	Q(t+1)
0;1	0;1	0;1; 1→0	1	
0;1	0;1	0;1; 1→0	0	
0	0	0→1	1	
0	0	0→1	0	
0	1	0→1	1	
0	1	0→1	0	
1	0	0→1	1	
1	0	0→1	0	
1	1	0→1	1	
1	1	0→1	0	

Виртуальные схемы D триггеров.



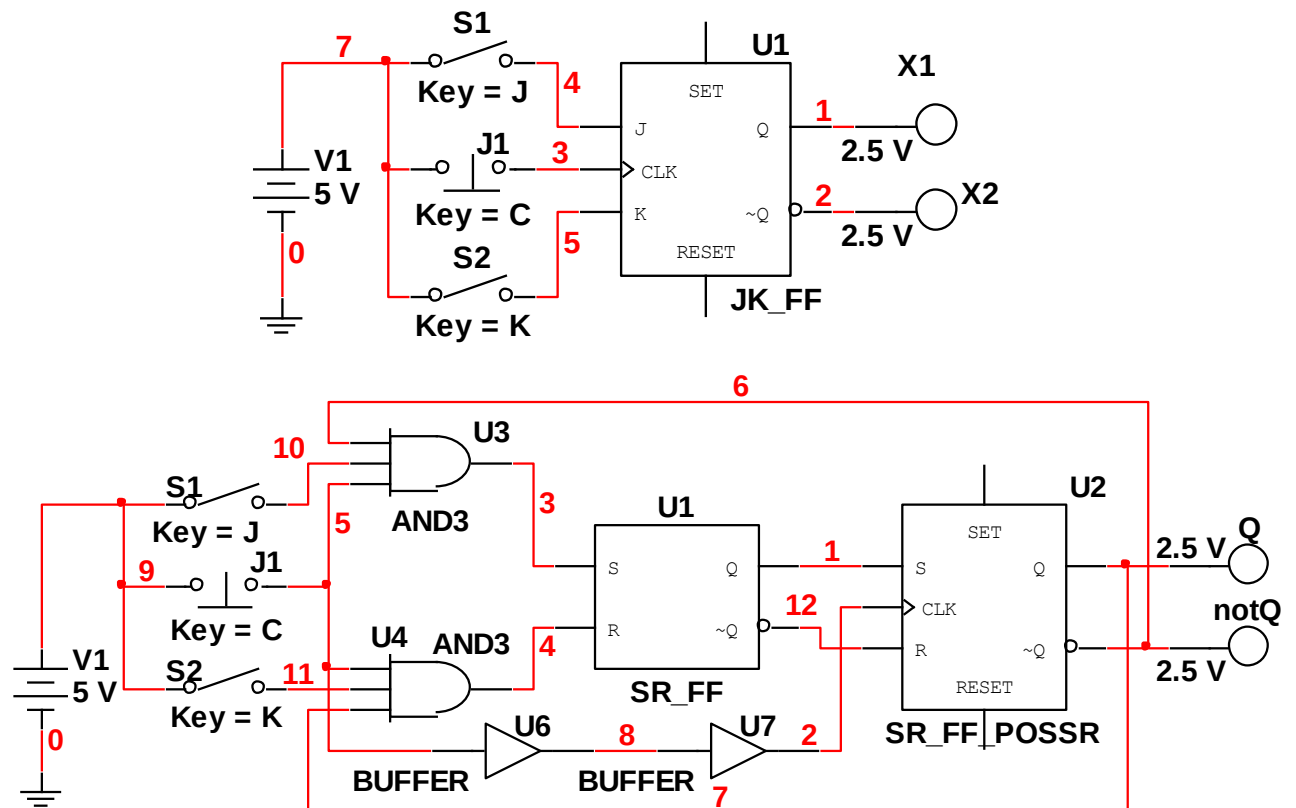
D	C	Q(t)	Q(t+1)
0	0;1; 1→0	0	
0	0→1	1	
1	0;1; 1→0	1	
1	0→1	0	

Виртуальные схемы T триггеров.



T	C	Q(t)	Q(t+1)
0	0;1; 1→0; 0→1	0	
0	0;1; 1→0; 0→1	1	
1	0;1; 1→0	0	
1	0;1; 1→0	1	
1	0→1	0	
1	0→1	1	

Виртуальные схемы JK триггеров.



J	K	C	Q(t)	Q(t+1)
0;1	0;1	0;1; 1→0; 0→1	0	
0;1	0;1	0;1; 1→0; 0→1	1	
0	0	0→1	0	0
0	0	0→1	1	1
0	1	0→1	0	0
0	1	0→1	1	0
1	0	0→1	0	1
1	0	0→1	1	1
1	1	0→1	0	1
1	1	0→1	1	0

3. Экспериментально составить таблицы истинности для каждого типа триггеров, согласно, своего варианта (таблицы показаны после схем).
4. Сделать вывод о возможности реализации схем триггеров с помощью электронных логических элементов.

12. Лабораторная работа №12 «Исследование дешифраторов».

Цель работы:

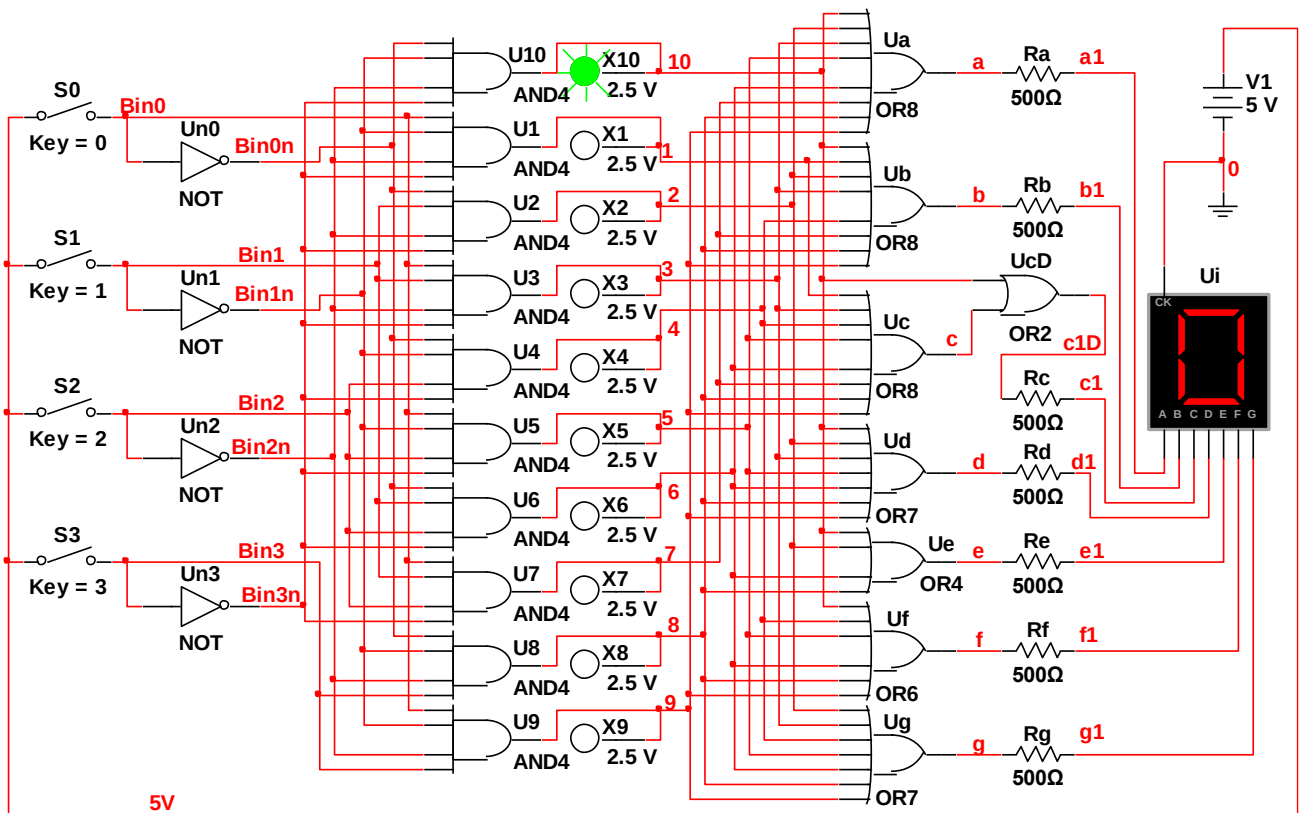
Исследование работы дешифраторов.

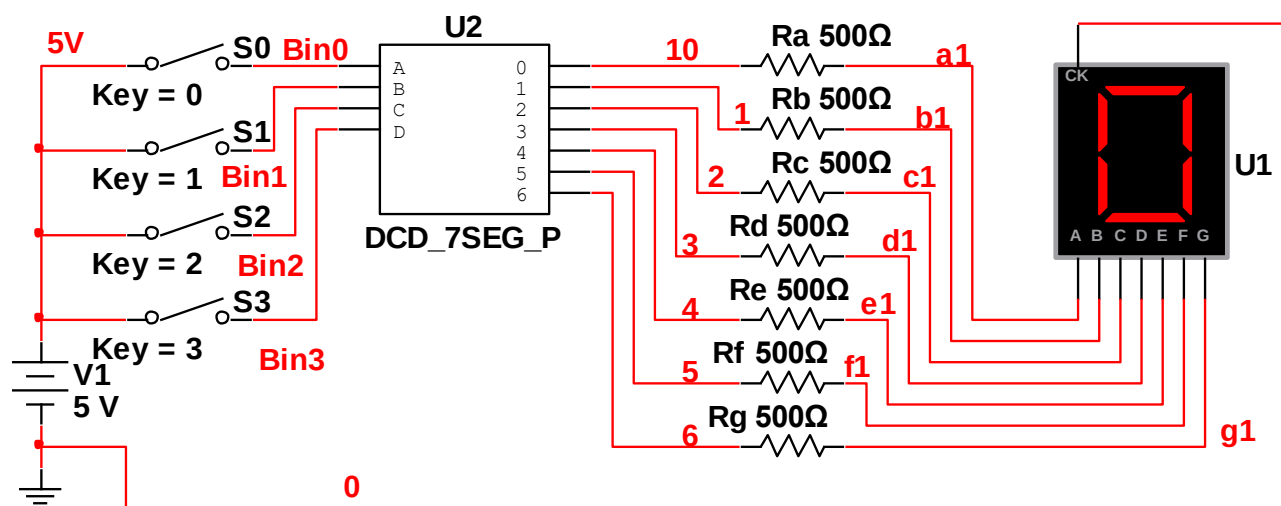
Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальные схемы дешифраторов.





3. Заполнить таблицу, показывающую работу дешифраторов, устанавливая различные двоичные коды согласно таблицы №1.

Таблица №1

Двоичный код	Показание индикатора
0000	
0001	
0010	
0011	
0100	
0101	
0110	
0111	
1000	
1001	

4. Сделать вывод о возможности реализации схем дешифраторов с помощью электронных логических элементов.

Список использованных источников.

Основные источники:

1. Лекции для студентов специальности 23.02.06 «Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог» по дисциплине ОП.04. «Электроника и микропроцессорная техника» Саратов 2020г., Составитель Локтионов О.Б.

Дополнительные источники:

1. Акимова Г. Н. Электронная техника: учебник. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017.
2. Фролов В. А. Электронная техника: учебник: в 2 ч. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. 532 с.

Приложение к рабочей программе
по специальности 23.02.06
Техническая эксплуатация
подвижного состава железных дорог
направление подготовки: тепловозы и
дизель-поезда

**Методические указания по проведению
лабораторных работ**
по дисциплине
ОП.04. Электроника и микропроцессорная техника

Саратов 2023

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Лабораторные работы по учебной дисциплине ОП.04 Электроника и микропроцессорная техника является частью основной профессиональной образовательной программы в соответствии с ФГОС по специальности СПО: 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог

Учебная дисциплина «Электроника и микропроцессорная техника» относится к циклу профессиональных и общепрофессиональных дисциплин и нацелена на развитие у студентов мышления и навыков овладения работой с электронными приборами и устройствами, изучения работы источников вторичного питания, логических и микропроцессорных устройств.

Цель проведения лабораторных работ - научить студентов пользоваться электронными приборами и устройствами, измерять параметры электронных схем, способствовать изучению студентами принципов работы и характеристик электронных приборов и устройств, а также принципов работы логических элементов.

Рекомендуется, выполнение лабораторных работ в рабочей тетради. В результате выполнения заданий рабочей тетради обучающийся должен уметь измерять параметры электронных схем, пользоваться электронными приборами и оборудованием.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен знать принципы работы и характеристики электронных приборов и логических элементов.

В результате изучения данного курса студент должен сформировать следующие **общие компетенции:**

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

профессиональные компетенции:

ПК 1.1. Эксплуатировать подвижной состав железных дорог.

ПК 1.2. Производить техническое обслуживание и ремонт подвижного состава железных дорог в соответствии с требованиями технологических процессов.

ПК 1.3. Обеспечивать безопасность движения подвижного состава.

ПК 2.3. Контролировать и оценивать качество выполняемых работ

ПК 3.1. Оформлять техническую и технологическую документацию.

ПК 3.2. Разрабатывать технологические процессы на ремонт отдельных деталей и узлов подвижного состава железных дорог в соответствии с нормативной документацией.

Структура методических указаний подчинена основным формам учебной работы и организации самостоятельной работы в виде работы с учебником и электронными лекциями по дисциплине «Электроника и микропроцессорная техника», а также организации практической работы в виде исследовательской работы, с применением обучающих компьютерных программ. Методические указания включает также список основной и дополнительной литературы к курсу.

Контроль умений и знаний по дисциплине производится по каждой лабораторной работе в виде оценки по пятибалльной системе.

При анализе и оценке ответа студента необходимо учитывать:

1. Знание основных понятий по дисциплине «Электроника и микропроцессорная техника»;
2. Умение ориентироваться в схемах и элементах схем.
3. Умение пользоваться электроизмерительными приборами и производить основные измерения и настройки схем.
4. Техническую грамотность студента, позволяющую определить глубину понимания студентом вопроса;
5. Умение применять знания, полученные по другим дисциплинам.

Критерии оценки:

Оценка «5» (отлично) – ставится студенту, полностью и правильно выполнившему все практические и исследовательские задания лабораторной работы, понимая происходящие процессы, ответившему полностью на все контрольные вопросы и на дополнительные вопросы при отчёте за лабораторную работу, что соответствует 10 дидактическим баллам.

Оценка «4» (хорошо) – ставится студенту, который допустил незначительные ошибки при выполнении лабораторной работы и в ответах на контрольные вопросы и ответил на дополнительные вопросы при отчёте, что соответствует 8 дидактическим баллам.

Оценка «3» (удовлетворительно) – ставится студенту, который не полностью выполнил задания лабораторной работы, понимая происходящие процессы или(и) не полностью ответил на контрольные вопросы, показав понимание данной темы и ответил на дополнительные вопросы при отчёте., что соответствует 6 дидактическим баллам.

В остальных случаях выставляется оценка «2» (неудовлетворительно).\

Содержание.

Введение.....	5
1. Лабораторная работа №1 «Исследование работы диода».....	6
2. Лабораторная работа №2 «Исследование работы тиристора».....	8
3. Лабораторная работа №3 «Исследование работы транзистора».....	10
4. Лабораторная работа №4 «Исследование электронного усилителя».....	12
5. Лабораторная работа №5 «Исследование мультивибратора».....	15
6. Лабораторная работа №6 «Исследование однофазных неуправляемых выпрямителей».....	17
7. Лабораторная работа №7 «Исследование мостового управляемого выпрямителя».....	19
8. Лабораторная работа №8 «Исследование свойств сглаживающих фильтров»...	21
9. Лабораторная работа №9 «Исследование параметрического стабилизатора напряжения».....	23
10. Лабораторная работа №10 «Исследование работы логических элементов».....	25
11. Лабораторная работа №11 «Исследование триггеров».....	27
12. Лабораторная работа №12 «Исследование дешифраторов».....	31
Список использованных источников.....	33

РЕКОМЕНДОВАНО

к использованию в образовательной организации внутри

внутри филиала СамГУПС в г. Саратов

согласно решения методического совета

№1 от 21 сентября 2023 г.

ОДОБРЕНО

на заседании ЦМК

«Техническая эксплуатация
подвижного состава железных
дорог»

Протокол № ____ от «__» _____ 20__ г.

Председатель

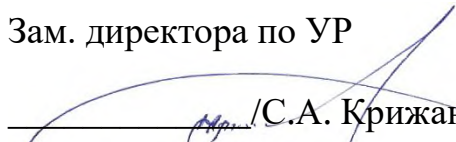


/ Д.К. Гусев /

Методические указания составлены в соответствии с требованиями ФГОС по специальности СПО 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог (приказ Минобрнауки РФ от 22.04.2014 № 388) и на основе профессионального стандарта «Работник по управлению и обслуживанию локомотива» (утв. приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 21 апреля 2022 г. N 226н)

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по УР



/С.А. Крижановский/

«__» _____ 20__ г.

Составители (авторы):

Гусев Д.К., преподаватель филиала СамГУПС в г. Саратове;

Локтионов О.Б., преподаватель филиала СамГУПС в г. Саратове, высшей квалификационной категории;

Мелешкин В.Е., преподаватель филиала СамГУПС в г. Саратове.

Введение.

Технический прогресс современной техники базируется на применении электронных устройств. В системах электроснабжения и электроподвижного состава железнодорожного транспорта эксплуатируются преобразователи электроэнергии, устройства автоматики, телемеханики, релейной защиты и вычислительной техники, создаваемые на основе электронных полупроводниковых приборов. Уровень их эксплуатации зависит от квалификации работников. Из этого следует, что необходимым условием подготовки кадров для железных дорог является изучение свойств полупроводниковых приборов, их характеристик, конструкции, принципа действия и условий эксплуатации.

С прогрессом в электронике теснейшим образом связано развитие рельсовых и безрельсовых транспортных средств. Современная полупроводниковая электроника обеспечивает любое преобразование электроэнергии, позволяет перейти к гибким технологическим процессам в системе тягового электроснабжения и на подвижном составе. Применение современных устройств электронной техники способствует созданию энергоэкономичных систем электрической тяги с оптимальным электропотреблением при обеспечении заданной пропускной и провозной способности.

Проблемы электроники обсуждаются на различных научных конференциях, конгрессах и симпозиумах. Одним из наиболее значительных подобных мероприятий является международный симпозиум «Eltrans», который проводится в России один раз в два года, начиная с 2001 года. Симпозиум проводят ОАО «РЖД», Академия транспорта РФ, Октябрьская железная дорога — филиал ОАО «РЖД» и Петербургский государственный университет путей сообщения (ПГУПС). В работе симпозиума принимают участие руководители и специалисты ОАО «РЖД», ученые РАН, специалисты научно-исследовательских и проектных организаций, ученые и преподаватели транспортных вузов РФ, стран СНГ и других государств, фирмы-разработчики подвижного состава и электрооборудования энергетических комплексов, средств промышленной автоматизации, строительно-монтажных работ тягового электроснабжения; руководители и специалисты РАО ЕЭС России.

Проведение практикума по техническому моделированию призвано помочь студентам усвоить умения и навыки применения радиоизмерительных приборов для определения параметров электронных устройств. В ходе практикума студенты обсуждают теоретические вопросы и выполняют экспериментальные задания.

1. Лабораторная работа №1 «Исследование работы диода».

Цель работы:

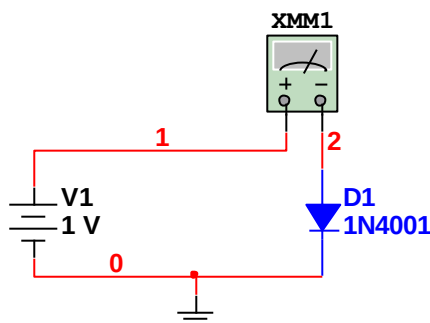
Исследовать работу выпрямительного диода. Построить ВАХ диода. Сделать вывод.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальную схему, включив диод согласно схеме (выбрать диод 1N4001).

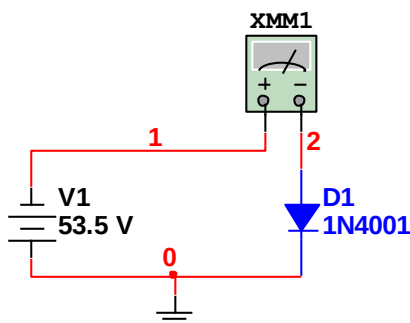


3. Измерить прямой ток диода, изменяя прямое напряжение, согласно таблице №1 (напряжение изменять на источнике V1, ток измерять с помощью мультиметра XMM1). Результаты измерений занести в таблицу №1.

Таблица №1

U,V	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
I,A											

4. Построить ВАХ при прямом включении диода на основании таблицы №1. Рекомендуется выбрать следующий масштаб: для напряжения в 1 см 0,2 В; для тока в 1см 1А
5. Поменять полярность источника V1, согласно схеме ниже.



6. Измерить обратный ток диода, изменяя обратное напряжение, согласно таблице №2 (напряжение изменять на источнике V1, ток измерять с помощью мультиметра ХММ1). Результаты измерений занести в таблицу №2.

Таблица №2

U,B	-53,0	-53,1	-53,2	-53,3	-53,4	-53,5	-53,6	-53,7	-53,8	-53,9	-54,0
I,A											

7. Построить ВАХ при обратном включении диода на основании таблицы №2. Рекомендуется выбрать следующий масштаб: для напряжения в 1 см 0,1В; для тока в 1 см 1 А
8. Сделать вывод об односторонней проводимости диода.

2. Лабораторная работа №2 «Исследование работы тиристора».

Цель работы:

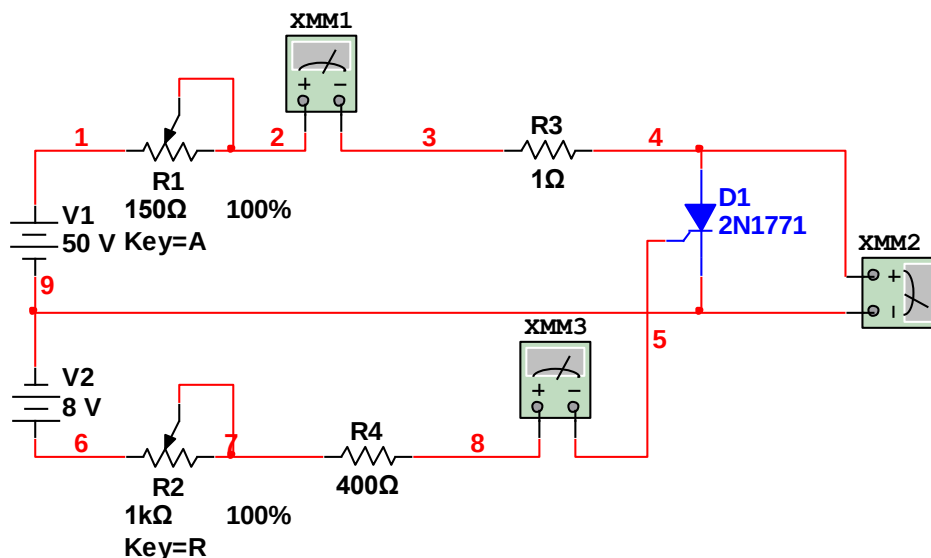
Исследовать работу тиристора. Построить ВАХ тиристора при различных режимах.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальную схему.



3. Тиристор открывается при токе управления больше 9,8 мА. С помощью резистора R2 установить ток управления $I_{упр.} < 9,8$ мА (ток устанавливать по мультиметру XMM3).
4. Изменяя переменным резистором R1 сопротивление нагрузки (согласно таблице №1), измерьте напряжение и ток тиристора (напряжение измерять по мультиметру XMM2, ток по XMM1). Результаты измерений занесите в таблицу №1.

Таблица №1

Положение R1	U; В*	I; А*
30%		
60%		
90%		

* значения округлять до двух знаков

5. С помощью резистора R2 установить ток управления $I_{упр.} > 9,8$ мА (ток устанавливать по мультиметру XMM3).
6. Изменяя переменным резистором R1 сопротивление нагрузки (согласно таблице №2), измерьте напряжение и ток тиристора (напряжение измерять по мультиметру XMM2, ток по XMM1). Результаты измерений занесите в таблицу №2. Тиристор 2N1771 открывается при токе управления 9,8 мА. При уменьшении тока управления тиристор не закрывается !!! Что бы закрыть переходы тиристора

необходимо уменьшить ток управления меньше 9,8 мА, выключить питание, а затее снова включить.

Таблица №2

Пол. R1	I _{упр.} > 9,8 мА	
	U; В	I; А
95%		
80%		
65%		
55%		
45%		
35%		
30%		
25%		
20%		

7. Построить ВАХ при токе управления $I_{упр.} > 9,8 \text{ мА}$. Рекомендуется выбрать масштаб: 10 мВ на 1 см для напряжения и 200 мА на 1 см для тока. Напряжение задавать в пределах от 850 мВ до 1 В.
8. Сделать вывод о влиянии тока управления на прямой ток тиристора..

3. Лабораторная работа №3 «Исследование работы транзистора».

Цель работы:

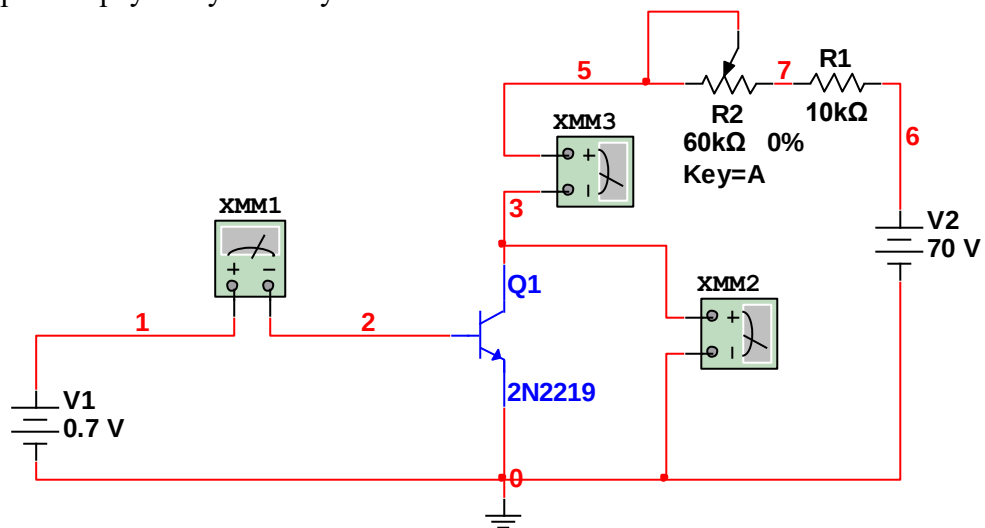
Исследовать работу транзистора. Построить статические характеристики п-р-п транзистора (в схеме с общим эмиттером). Убедиться в реальности изучаемых характеристик.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальную схему.



3. Установить параметры элементов согласно схеме. Для удобства проведения измерений, выставить дискретность изменения R2 – 2%.
4. Установить резистор R2 в положение 50%. Измерить и записать в таблицу №1 ток базы I_b (по XMM1), изменяя напряжение $U_{бэ}$ (напряжение $U_{бэ}$ изменять на источнике V1, согласно таблице №1).
5. Измерить токи коллектора I_c (по XMM2) при различных напряжениях $U_{кэ}$ (XMM2) при каждом из напряжений $U_{бэ}$ (согласно таблице №1, выставляемых на источнике V1), изменяя положение движка переменного резистора R2. Результаты занести в таблицу №1.

Таблица №1

$U_{бэ}$, В	$R2$, кОм	I_b , мА	I_c , мА, при						
			$U_{кэ} = 0\text{мВ}$	$U_{кэ} = 1\text{мВ}$	$U_{кэ} = 2\text{мВ}$	$U_{кэ} = 3\text{мВ}$	$U_{кэ} = 4\text{мВ}$	$U_{кэ} = 5\text{мВ}$	$U_{кэ} = 6\text{мВ}$
0,7	60		0						
0,75	21		0						
0,78	13		0						
0,85	6,6		0						-----

6. Построить входные статические характеристики транзистора ($I_b = f(U_{бэ})$) по результатам таблицы %1. , выбрав масштаб для $U_{бэ}$ 0,05 В на 1 см ($U_{бэ}$ задавать от 0,7В до 0,9В), для I_b 2 мА в 1 см.
7. Построить семейство выходных статических характеристик транзистора ($I_k = f(U_{кэ})$, если $I_b = \text{const}$) при различных токах базы, выбрав масштаб для $U_{кэ}$ в 1 см 1 мВ, для I_k в 1 см 1 мА.
8. Сделать выводы об изменении тока коллектора при изменении тока базы и напряжения между коллектором и эмиттером и об изменении тока базы при изменении напряжения между базой и эмиттером.

4. Лабораторная работа №4 «Исследование электронной схемы усилителя».

Цель работы:

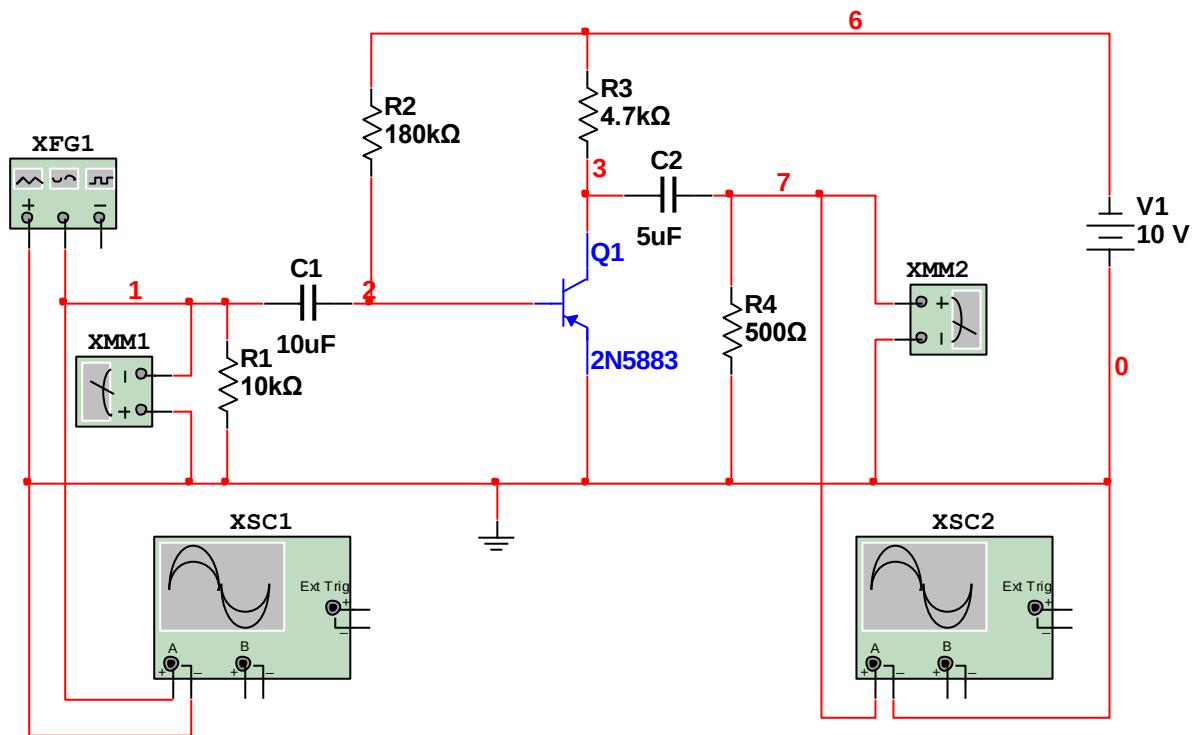
Исследовать работу усилителя. Построить амплитудную и амплитудно – частотную характеристики. Убедиться в реальности изучаемых характеристик.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench-2.
2. Собрать виртуальную схему. Для исследования предложена однокаскадная схема с общим эмиттером, работающая в режиме «А».



3. Установить параметры элементов согласно схеме. Для генератора XFG1 установить синусоидальный сигнал, частотой 10000 Гц, амплитудой 20 mV (смещение 0). Для осциллографа XSC1 установить 100 μ S и 20 mV на деление (смещение 0). Для осциллографа XSC2 установить 100 μ S и 200 mV на деление (смещение 0). Мультиметры XMM1 и XMM2 включить, как вольтметры переменного напряжения.

4. Изменяя амплитуду входного сигнала ($U_{\text{вх.д}}$) на генераторе, согласно таблице №1, произвести измерения для построения амплитудной характеристики (зависимость $U_{\text{вых.д}}$ от $U_{\text{вх.д}}$) усилителя (при проведении измерений в опытах №5...№10, для осциллографа XSC1 установить 100 μ S и 50 mV на деление (смещение 0), для осциллографа XSC2 установить 100 μ S и 500 mV на деление (смещение 0)). $U_{\text{вх.д}}$ измерять по XMM1, $U_{\text{вых.д}}$ по XMM2 после остановки цифр вольтметров. Результаты измерений занести в таблицу №1.

Таблица №1

№ опыта	Амплитуда входного сигнала ($U_{\text{макс}}$, mV)	Действующее входное напряжение ($U_{\text{вх.д}}$, mV)	Действующее выходное напряжение ($U_{\text{вых.д}}$, mV)
1	5		
2	10		
3	15		
4	20		
5	25		
6	30		
7	40		
8	60		
9	80		

5. Для генератора XFG1 установить синусоидальный сигнал, частотой 10000 Гц, амплитудой 20 mV (смещение 0). Для осциллографа XSC1 установить 100 μ S и 20 mV на деление (смещение 0). Для осциллографа XSC2 установить 100 μ S и 200 mV на деление (смещение 0).

6. Изменяя частоту входного сигнала (F) на генераторе, согласно таблице №2, произвести измерения для построения амплитудно - частотной характеристики (зависимость K_u от F) усилителя. $U_{\text{вх.д}}$ измерять по ХММ1, $U_{\text{вых.д}}$ по ХММ2 после остановки цифр вольтметров. Результаты измерений занести в таблицу №2.

Таблица №2

№ опыта	Частота входного сигнала (F, Гц)	Действующее входное напряжение ($U_{\text{вх.д}}$, mV)	Действующее выходное напряжение ($U_{\text{вых.д}}$, mV)	Коэффициент усиления по напряжению (K_u)
1	100			
2	400			
3	500			
4	1000			
5	2000			
6	5000			
7	6000			
8	10000			
9	15000			
10	16000			
11	17000			
12	20000			

$$* K_u = U_{\text{вых.д}} / U_{\text{вх.д}}$$

7. По результатам измерений в таблице №1 построить амплитудную характеристику (зависимость $U_{\text{вых.д}}$ от $U_{\text{вх.д}}$) усилителя. Для $U_{\text{вх.д}}$ выбрать масштаб в 1 см 10 mV, для $U_{\text{вых.д}}$ в 1 см 100 mV.

8. По построенной амплитудной характеристике визуально определить её линейную часть и максимальное входное напряжение $U_{\text{вх.д макс}}$ для исследуемого усилителя.

9. По результатам измерений в таблице №2 построить амплитудно - частотную характеристику (зависимость K_u от F) усилителя. Для F выбрать масштаб в 1 см 1000 Гц, для коэффициента усиления (K_u) в 1 см 0,2 единицы. Коэффициент усиления (K_u) строить в пределе от 23 до 25.

10. По построенной амплитудно - частотной характеристике определить в каких пределах изменения частоты входного сигнала ($F_{\text{нижн}}$ и $F_{\text{верхн}}$) коэффициент усиления (K_u) будет изменяться меньше чем на 1% от максимального.

11. Результаты пунктов 8 и 10 занести в таблицу №3.

Таблица №3

Максимальное входное напряжение ($U_{вх.д макс}$, mV)	Частотная полоса пропускания усилителя	
	Нижний предел изменения частоты входного сигнала ($f_{нижн}$, Гц)	Верхний предел изменения частоты входного сигнала ($f_{верхн}$, Гц)

12 Сделать вывод о пределах применения усилителя.

5. Лабораторная работа №5 «Исследование мультивибратора».

Цель работы:

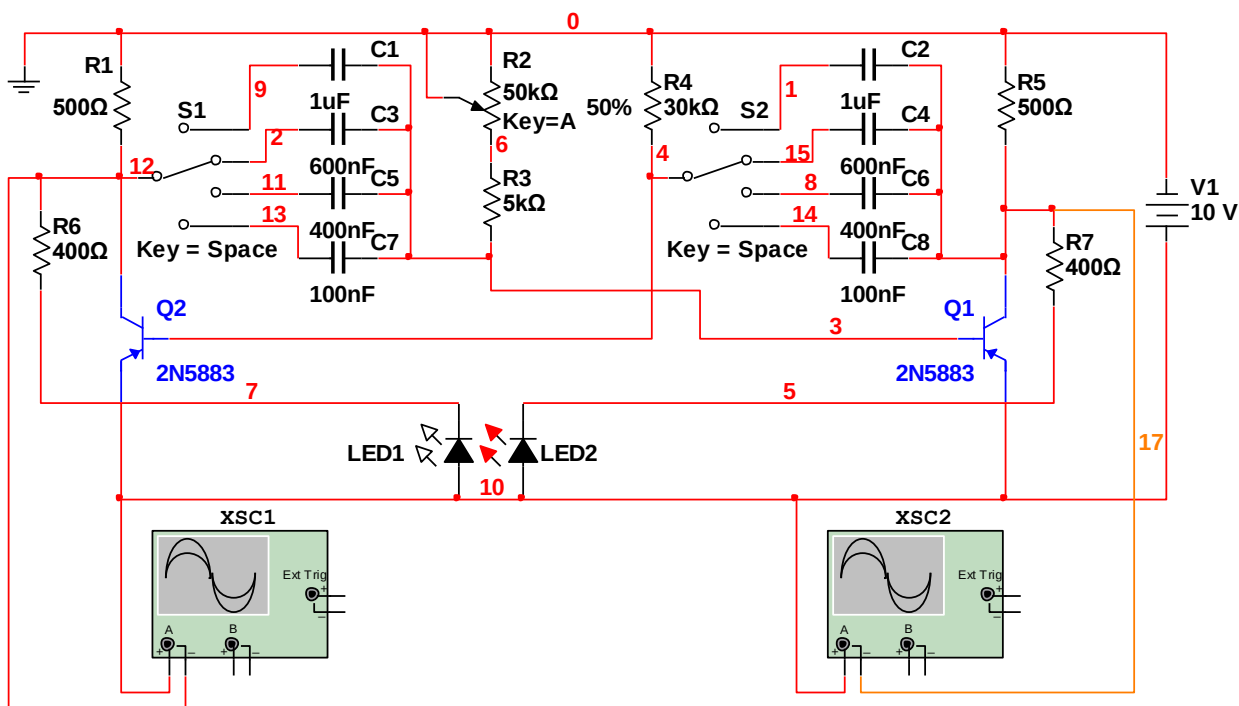
Исследовать работу мультивибратора. Оценить возможность регулировки длительности импульсов и паузы, а так же частоты колебаний.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальную схему. Для исследования предлагается схема симметричного мультивибратора. Переключатели S1 и S2 переключаются одним органом управления на клавиатуре (кнопкой «пробел»). С помощью этих переключателей меняется ёмкость конденсаторов в схеме. Светодиоды LED1 и LED2 применяются для визуального наблюдения работы схемы. При сборке схемы рекомендуется выбрать светодиоды разного цвета.



3. После сборки схемы установить для осциллографов XSC1 и XSC2 масштабы 5mS/d и 2V/d. Движок переменного резистора R2 установить в положение 50%. Переключатели S1 и S2 установить в положение, при котором включены конденсаторы ёмкостью 600 nF (нанофард).
4. Устанавливая разные положения движка резистора R2 согласно таблице №1, определять период и длительность импульсов с помощью осциллографа XSC2. Результаты измерений занести в таблицу №1.

Таблица №1

№ опыта	Положение движка R2.	Сопротивление на базе Q2.	Сопротивление на базе Q1.	Период в делениях шкалы.	Период	Длительность импульса в делениях шкалы.	Длительность импульса	Длительность импульса в процентах от периода.
	R2%	R4	$RQ1 = R3 + 0.01R2 \cdot R2\%$	Td	$T = Td \cdot N$	Tид	$T_{и} = T_{ид} \cdot N$	$T\% = 100 \cdot T_{и}/T$
	%	кОм	кОм	Дел.	мС	Дел.	мС	%
1	0	30						
2	25	30						
3	50	30						
4	75	30						
5	100	30						

*N цена деления шкалы осциллографа в мС

5. Установить движок резистора R2 в положение 50%. Изменяя положение переключателей S1-S2, определять частоту импульсов с помощью осциллографа XSC2, согласно таблице №2. Результаты измерений занести в таблицу №2.

Таблица №2

№ опыта.	Ёмкость конденсаторов.	Период в делениях шкалы.	Период.	Частота импульсов.
	C	Td	$T = Td \cdot N$	$f = 1000/T$
	nF	Дел.	мС	Гц
1	100			
2	400			
3	600			
4	1000			

*N цена деления шкалы осциллографа в мС

6. На основании таблицы №1 построить график зависимости длительности импульса в процентном выражении (T%) от сопротивления (RQ1) на базе Q1. Масштаб для RQ1 в 1 см 5 кОм, для T% в 1 см 10 %.
7. На основании таблицы №2 построить график зависимости частоты импульсов (f) от ёмкости конденсаторов (C). Масштаб для C в 1 см 100 nF, для f в 1 см 25 Гц.
8. Сделать вывод о возможности регулирования частоты и длительности импульсов в исследуемой схеме. Отметить соотношение периода и длительности импульса при $RQ1 = R4$ (см. таблицу №1).

6. Лабораторная работа №6 «Исследование однофазных неуправляемых выпрямителей».

Цель работы:

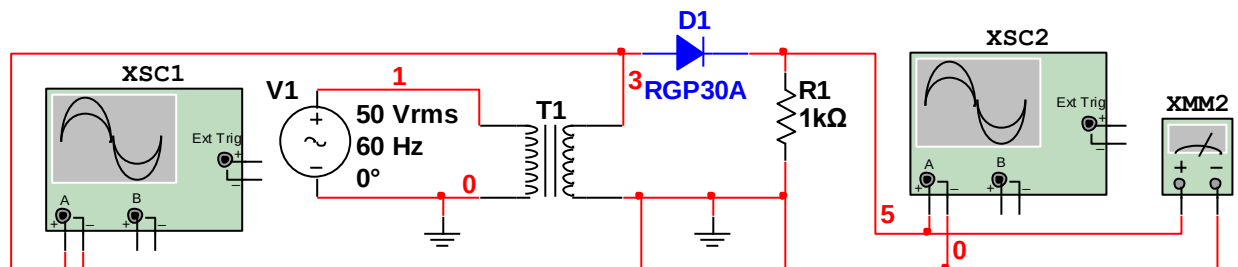
Исследовать работу однофазных неуправляемых выпрямителей. Оценить преимущества и недостатки различных схем.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальную схему однофазного однополупериодного выпрямителя.



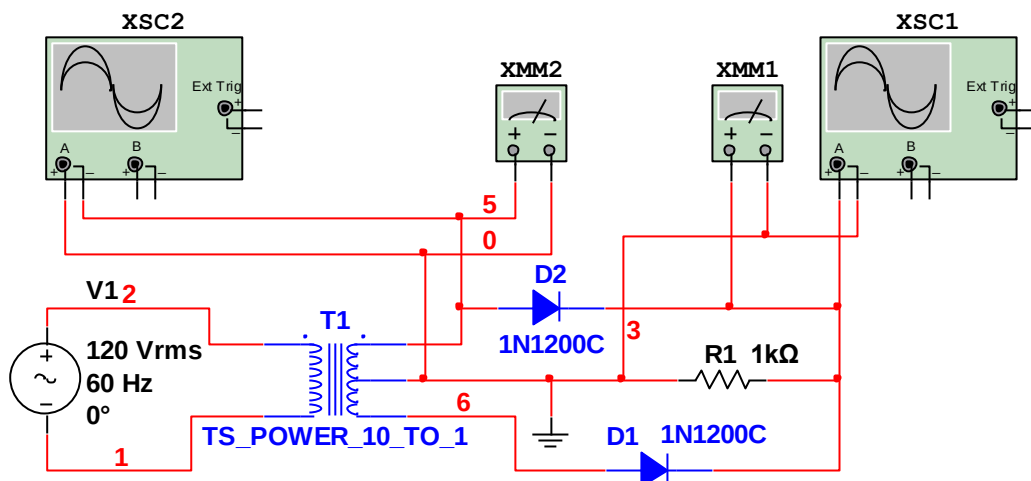
*Коэффициент трансформации трансформатора T1 равен 1.

3. Установить типы элементов и их параметры (согласно схеме). В качестве V1 выбрать AC POWER. Для осциллографов XSC1 и XSC2 установить масштабы 10 mS и 50 V. Мультиметр XMM2 включить, как вольтметр постоянного тока.
4. Зарисовать графики сигналов на входе и выходе устройства, учитывая масштаб. Осциллограмма входного сигнала должна находиться на верхней диаграмме.
5. Замерить среднее напряжение на нагрузке $U_{н\text{ ср}}$ по мультиметру XMM2
6. Рассчитать коэффициент выпрямления (отношение среднего напряжения на нагрузке к действующему переменному напряжению на входе) по формуле $K = U_{н\text{ ср}} / U_{вх.д.}$. $U_{вх.д.} = 50\text{ В}$, т. к. коэффициент трансформации трансформатора T1 равен 1. Результаты измерений и расчётов занести в таблицу №1.

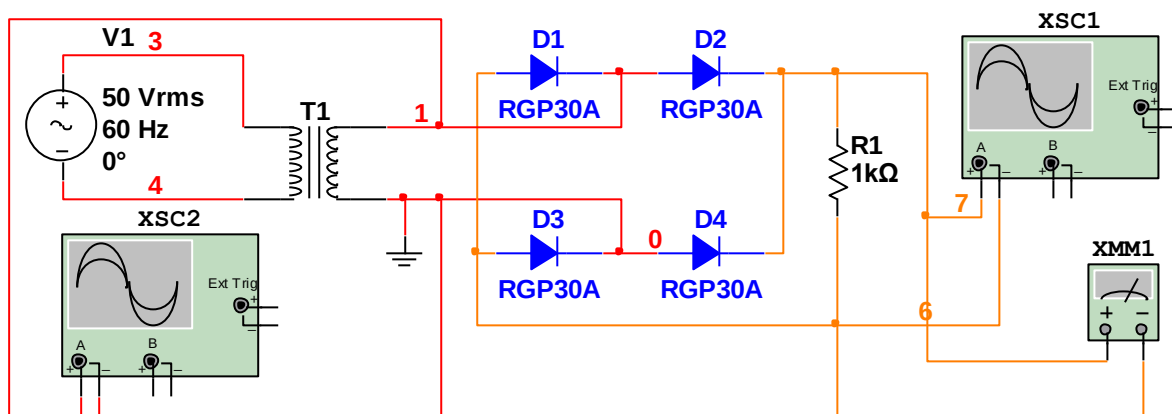
Таблица №1

Схема	$U_{вх.д.}; \text{В}$	$U_{н\text{ ср}}; \text{В}$	K
Схема №1			
Схема №2			
Схема №3			

7. Собрать схему двухполупериодного однофазного выпрямителя на основе трансформатора с выводом от средней точки согласно схеме;



8. Установить типы элементов и их параметры (согласно схеме). В качестве V1 выбрать AC POWER. Для осциллографов XSC1 и XSC2 установить масштабы 10 mS и 10 V. Мультиметр XMM1 включить, как вольтметр постоянного тока, XMM2, как вольтметр переменного тока.
9. Зарисовать графики сигналов на входе и выходе устройства, учитывая масштаб. Осциллограмма входного сигнала должна находиться на верхней диаграмме.
10. Замерить среднее напряжение на нагрузке $U_{н\text{ ср}}$ по мультиметру XMM1 и входное действующее напряжение на одной полуобмотке трансформатора $U_{вх.д}$ по мультиметру XMM2.
11. Рассчитать коэффициент выпрямления (отношение среднего напряжения на нагрузке к действующему переменному напряжению на входе) по формуле $K = U_{н\text{ ср.}} / U_{вх.д}$. Результаты измерений и расчётов занести в таблицу №1.
12. Собрать схему однофазного МОСТОВОГО выпрямителя согласно схеме;



*Коэффициент трансформации трансформатора T1 равен 1.

13. Установить типы элементов и их параметры (согласно схеме). В качестве V1 выбрать AC POWER. Для осциллографов XSC1 и XSC2 установить масштабы 10 mS и 50 V. Мультиметр XMM1 включить, как вольтметр постоянного тока.
14. Зарисовать графики сигналов на входе и выходе устройства, учитывая масштаб. Осциллограмма входного сигнала должна находиться на верхней диаграмме.
15. Замерить среднее напряжение на нагрузке $U_{н\text{ ср}}$ по мультиметру XMM1
16. Рассчитать коэффициент выпрямления (отношение среднего напряжения на нагрузке к действующему переменному напряжению на входе) по формуле $K = U_{н\text{ ср.}} / U_{вх.д}$. $U_{вх.д} = 50\text{ В}$, т. к. коэффициент трансформации трансформатора T1 равен 1. Результаты измерений и расчётов занести в таблицу №1.
17. Сделать выводы об эффективности схем по таблице №1 и эффективности использования трансформаторов.

7. Лабораторная работа №7 «Исследование мостового управляемого выпрямителя».

Цель работы:

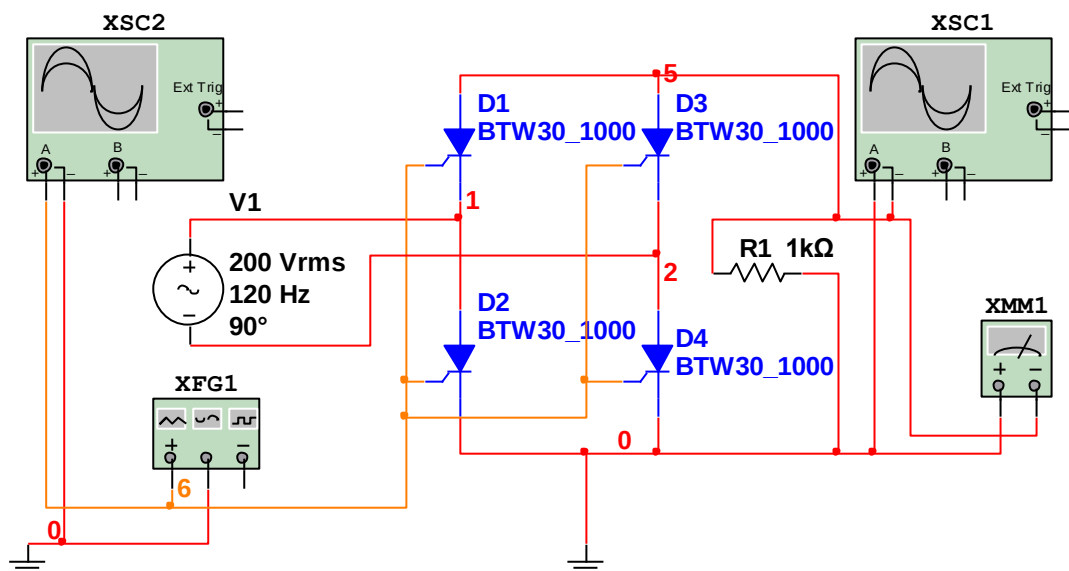
Исследовать работу однофазных управляемых выпрямителей. Сделать анализ возможности управления напряжением на выходе устройства.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальную схему однофазного управляемого мостового выпрямителя.
3. Установить типы элементов и их параметры (согласно схеме). Для источника переменного напряжения V1 (в меню программы AC POWER) установить угол сдвига фазы 90° , частоту 120 Гц, напряжение 200 V. Для генератора XFG1 выбрать режим прямоугольных импульсов, установить частоту импульсов 240 Гц, длительность импульсов 10 %, амплитуду импульсов 5 V, смещение 5 V. На осциллографе XCS2 установить 2 mS и 5V. На осциллографе XCS1 установить 2 mS и 100V. Мультиметр XMM1 включить, как вольтметр постоянного тока.



4. Устанавливая различный угол сдвига фаз (согласно таблице №1), замерить постоянное напряжение на выходе выпрямителя. Выходное напряжение определять по мультиметру XMM1. Результаты измерений занести в таблицу №1.

Таблица №1

№ опы- та.	Угол отставания фазы второго синусоидаль- ного полупериода.	Угол отставания фазы импульса	Входное напряже- ние	Выходное напряжение
	φ_2	$\varphi = 180 - \varphi_2$	$U_{вх}$	$U_{вых}$
	Градус	Градус	В	В
1	180		200	
2	165		200	
3	135		200	
4	120		200	
5	105		200	
6	90		200	
7	75		200	
8	60		200	
9	45		200	
10	30		200	

- 5.. Зарисовать графики сигналов на выходе генератора и на выходе выпрямителя, учитывая масштаб для 1, 5 и 9 опытов (графики лучше располагать друг под другом).
6. Построить график функции $U_{вых} = f(\varphi)$. Для фазы угла управления φ выбрать масштаб в 1 см 10° . Для выходного напряжения $U_{вых}$ в 1 см 10 в.
7. Сделать вывод о возможности управления большим выходным напряжением выпрямителя с помощью малого управляющего сигнала.

8. Лабораторная работа №8 «Исследование свойств сглаживающих фильтров».

Цель работы:

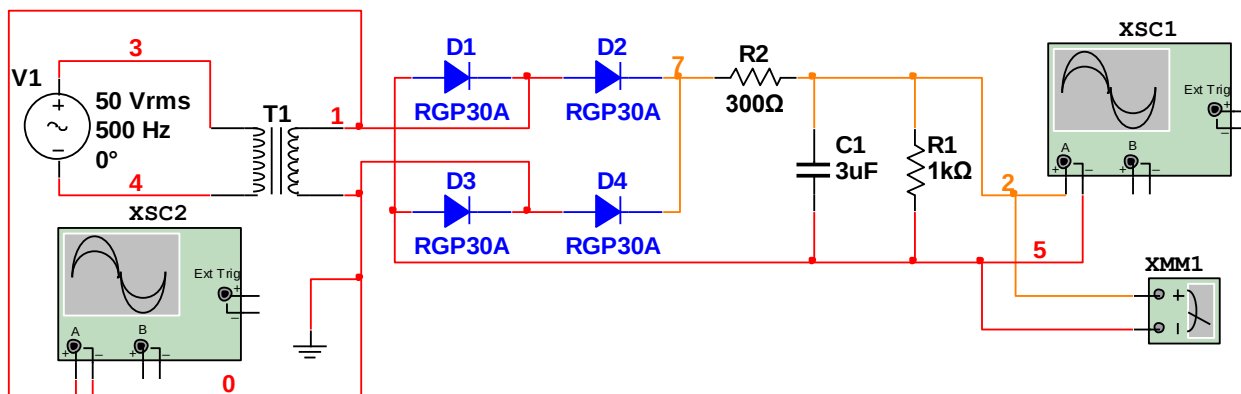
Исследовать работу сглаживающих фильтров.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальную схему.



*Коэффициент трансформации трансформатора T1 равен 1.

3. Установить типы элементов и их параметры (согласно схеме). В качестве V1 выбрать AC POWER. На осциллографе XSC1 установить развёртку 1 mS/D, амплитуду 20 V/D, На осциллографе XSC2 установить развёртку 1 mS/D, амплитуду 50 V/D мультиметр XMM1- вольтметр постоянного тока.
4. Устанавливая различные ёмкости конденсатора C1 (согласно таблице №1), измерять выходное напряжение U02 (с помощью мультиметра XMM1) и максимальное выходное напряжение U max (с помощью осциллографа XSC1).
5. Рассчитать для каждой ёмкости конденсатора превышение напряжения U12 и коэффициент сглаживания Ксгл. Результаты измерений и расчётов занести в таблицу №1.

Таблица №1

№ опыта	C1	U02	U max	U12 = U max - U02	$K_{сгл} = 0,67 \cdot U_{02} / U_{12}$
	μF	V	V	V	
1	0,5				
2	1				
3	2				
4	3				
5	4				

6	5				

6. Построить график функции $K_{\text{сгл}} = f(C1)$. Масштаб для оси $C1$ в 1 см $1 \mu\text{F}$, для оси $K_{\text{сгл}}$ в 1 см 2 единицы коэффициента.
7. Сделать вывод о зависимости коэффициента сглаживания фильтра от изменения ёмкости конденсатора.

9. Лабораторная работа №9 «Исследование параметрического стабилизатора напряжения».

Цель работы:

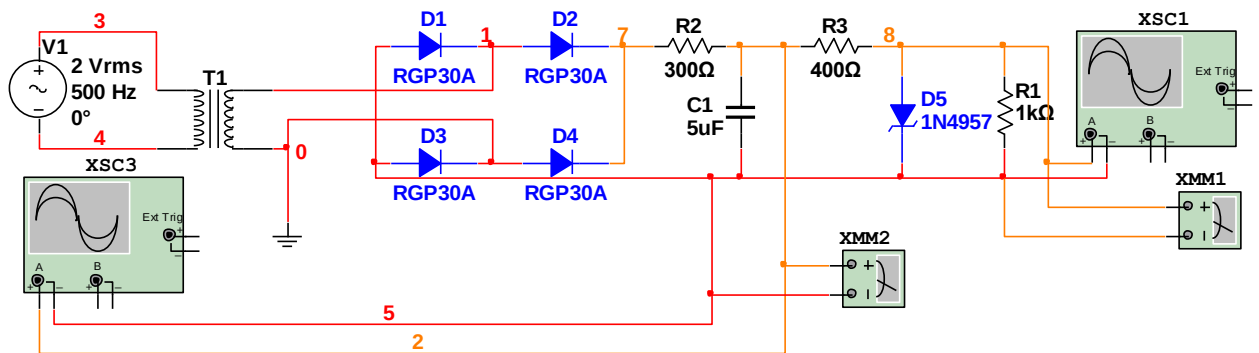
Исследовать работу параллельного параметрического стабилизатора напряжения.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальную схему вторичного источника питания, включающую в себя трансформатор T1, мостовой однополупериодный выпрямитель D1...D4, сглаживающий фильтр C1.R2, стабилизатор D5,R3.



3. На осциллографах XSC1 и XSC3 установить развёртку 1 mS, амплитуду 200 mV, смещение « -3 ». Для опытов №1,№2 установить амплитуду 500 mV. Мультиметры XMM1 и XMM2 включить, как вольтметры постоянного тока.
4. Изменяя сопротивление резистора R3 (согласно таблице №1), измерять входное (для стабилизатора) действующее напряжение $U_{вх}$ по вольтметру XMM2, выходное действующее напряжение $U_{вых}$ по вольтметру XMM1, максимальное входное (для стабилизатора) напряжение $U_{вх \text{ макс}}$ по осциллографу XSC3, максимальное выходное напряжение $U_{вых \text{ макс}}$ по осциллографу XSC1. Результаты измерений занести в таблицу №1.
5. Рассчитать коэффициент стабилизации $K_{ст}$ и КПД стабилизатора η для каждого опыта. Результаты расчётов занести в таблицу №1.

Таблица №1

№ опыта	R3	$U_{вх}$	$U_{вх \text{ макс}}$	$U_{вых}$	$U_{вых \text{ макс}}$	$K_{ст}$	η
	Ом	mV	mV	mV	mV		
1	100						
2	200						
3	300						
4	400						

* $K_{ст} = ((U_{вх \text{ макс}} - U_{вх}) / U_{вх}) / ((U_{вых \text{ макс}} - U_{вых}) / U_{вых})$, $\eta = 100 U_{вых} / U_{вх}$.

6. Построить график зависимости КПД η от коэффициента стабилизации $K_{ст}$
7. Сделать вывод об изменении КПД стабилизатора при изменении коэффициента стабилизации.

10. Лабораторная работа №10 «Исследование работы логических элементов».

Цель работы:

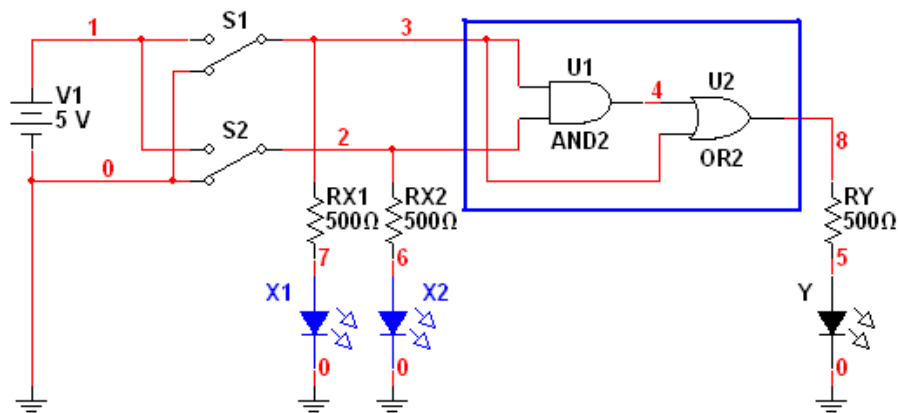
Исследовать работу логических элементов.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной программой Electronics Workbench.

Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать электронную схему на логических элементах для логической функции $Y = X1 \cdot X2 + X1$.



3. Исследуя работу схемы, составить таблицу истинности (Таблица №1).

Таблица №1

X1	X2	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

4. Составить схему, согласно логической функции своего варианта (Таблица №2).

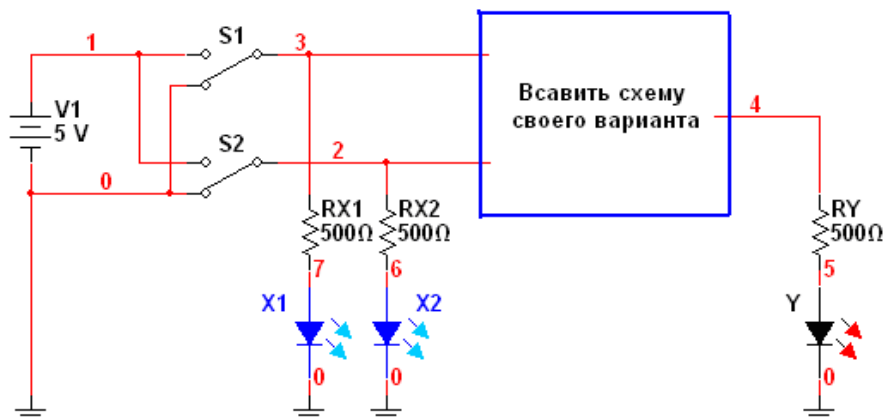


Таблица №2

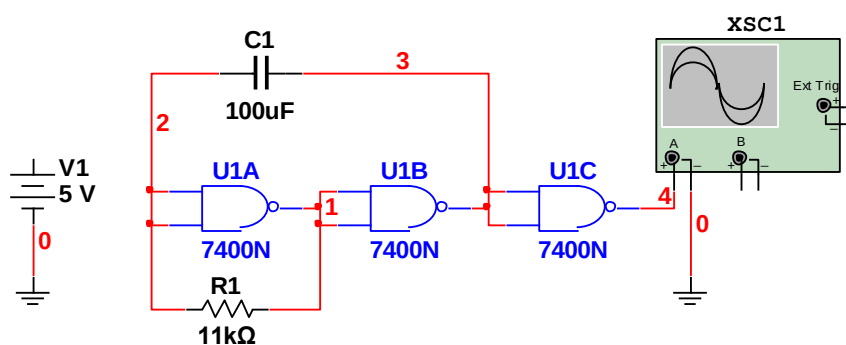
Вариант	Логическая функция
1	$Y = X1 \cdot X2 + X2$
2	$Y = (X1 + X2) \cdot X1$
3	$Y = (X1 + X2) \cdot X2$
4	$Y = \neg (X1 \cdot X2 + X2)$
5	$Y = \neg (X1 \cdot X2 + X1)$
6	$Y = \neg ((X1 + X2) \cdot X2)$
7	$Y = \neg ((X1 + X2) \cdot X1)$
8	$Y = X1 \cdot X2 + (\neg X2)$
9	$Y = X1 \cdot X2 + (\neg X1)$
10	$Y = ((\neg X1) + X2) \cdot X1$
11	$Y = (X1 + (\neg X2)) \cdot X2$
12	$Y = \neg (X1) \cdot X2 + X2$
13	$Y = \neg (X1) \cdot X2 + X1$
14	$Y = X1 \cdot (\neg X2) + X2$
15	$Y = X1 \cdot (\neg X2) + X1$

5. Составить таблицу истинности для логической функции своего варианта, исследуя схему, составленную для своего варианта. Результаты занести в таблицу №3.

Таблица №3

X1	X2	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

6. Собрать схему мультивибратора на логических элементах. На осциллографе выставить развёртку 20 nS/Div, амплитуду 2V/Div.



7. Определить частоту импульсов.
8. Результаты занести в таблицу №4.

Таблица № 4

Период в делениях шкалы. Тд	Масштаб временной шкалы. М	Период $T = M \cdot Tд.$	Частота $f = 1/T.$
	Сек.	Сек.	Гц
	$2 \cdot 10^{-8}$		

8. Сделать вывод.

11. Лабораторная работа №11 «Исследование триггеров».

Цель работы:

Исследовать работу RS, D, T, JK триггеров.

Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

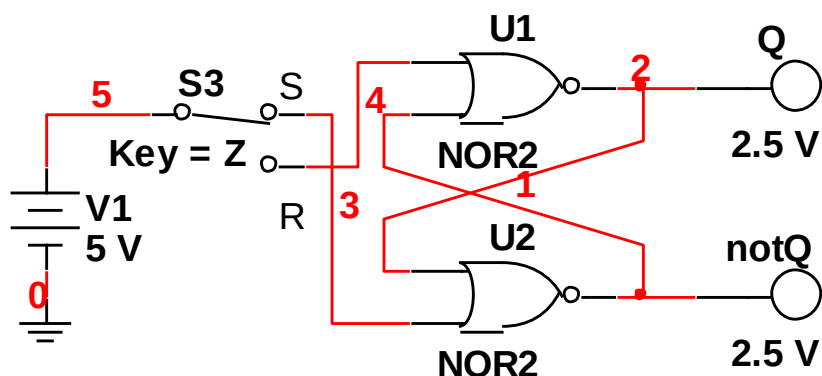
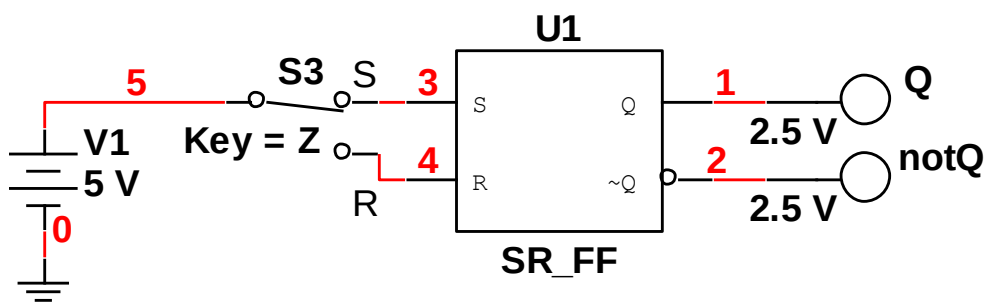
Порядок выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальные схемы триггеров для своего варианта, согласно, таблицы №1.
Виртуальные схемы триггеров представлены ниже. Для каждого варианта должны быть собраны 2 схемы для двух типов триггеров.

Таблица №1

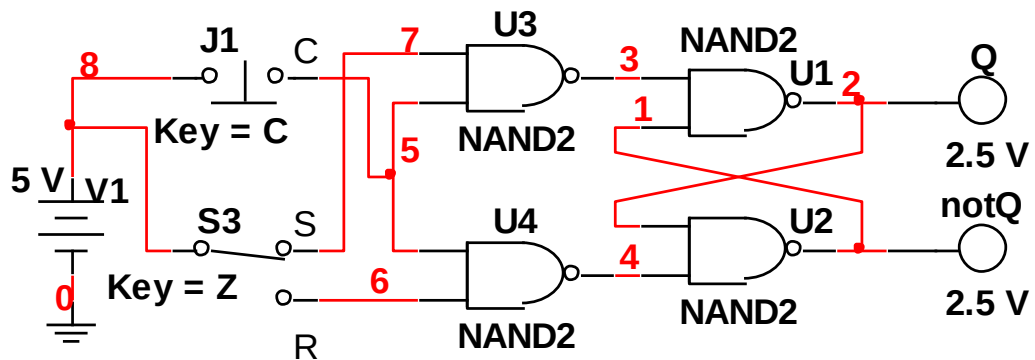
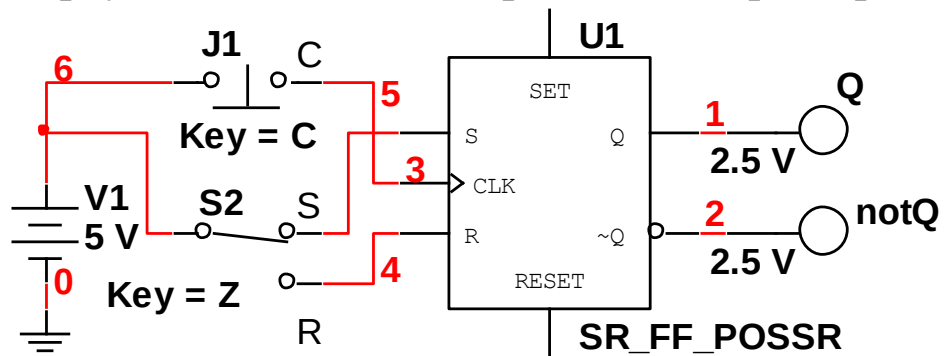
Вариант	Схемы №1	Схемы №2
1	Синхронный RS триггер	Асинхронный RS триггер
2	Синхронный RS триггер	D триггер
3	Синхронный RS триггер	T триггер
4	Синхронный RS триггер	JK триггер
5	Асинхронный RS триггер	D триггер
6	Асинхронный RS триггер	T триггер
7	Асинхронный RS триггер	JK триггер
8	D триггер	T триггер
9	D триггер	JK триггер
10	T триггер	JK триггер

Виртуальные схемы асинхронных RS триггеров.



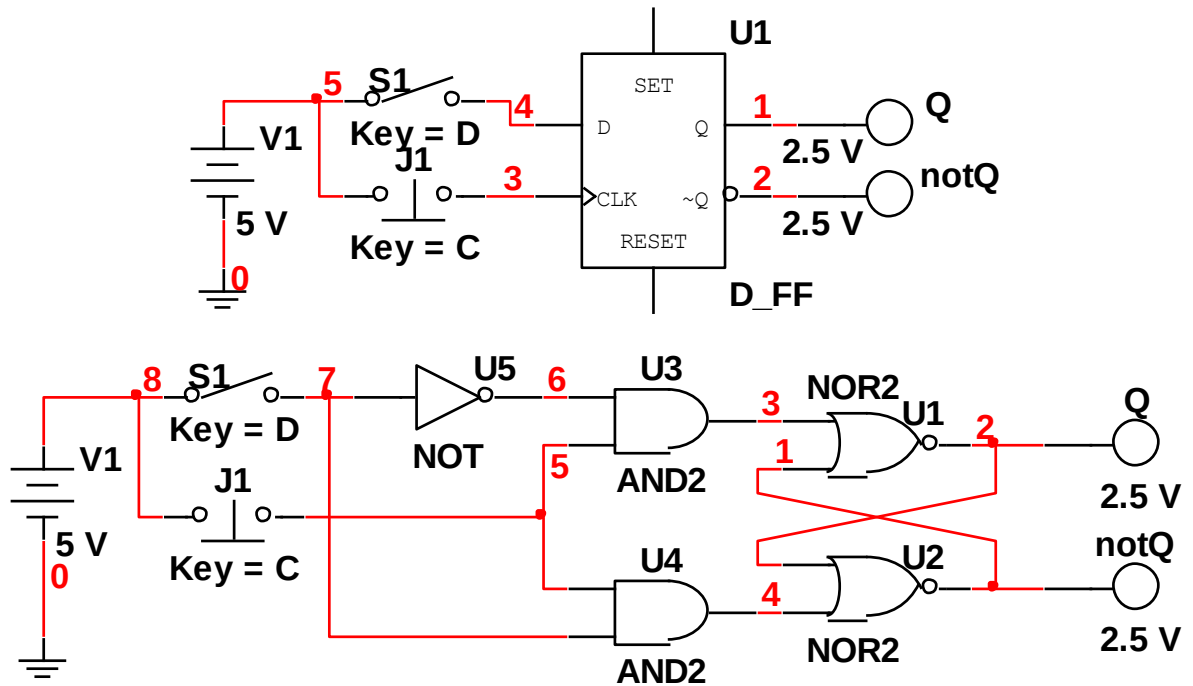
S	R	Q(t)	Q(t+1)
0	0	1	
0	0	0	
0	1	1	
0	1	0	
1	0	1	
1	0	0	
1	1	1	
1	1	0	

Виртуальные схемы синхронных RS триггеров.



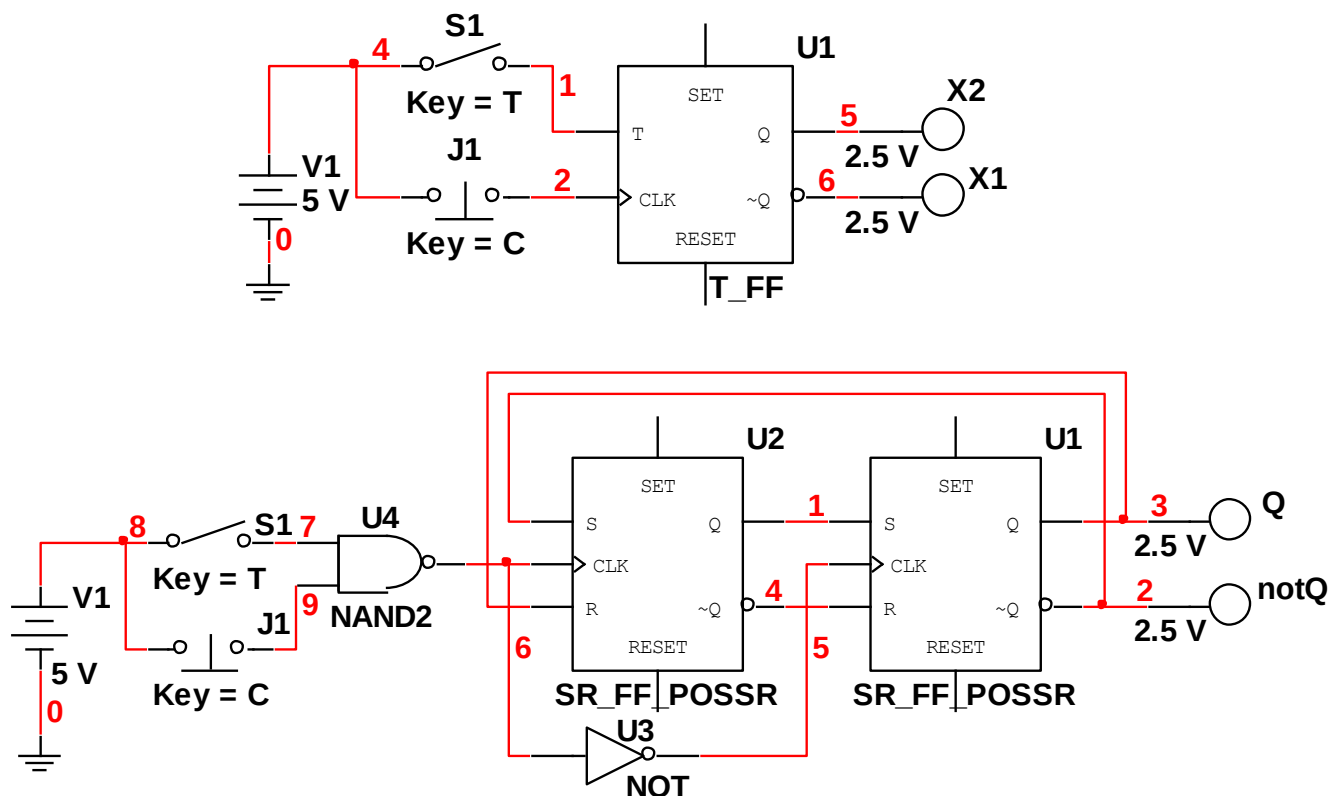
S	R	C	Q(t)	Q(t+1)
0;1	0;1	0;1; 1→0	1	
0;1	0;1	0;1; 1→0	0	
0	0	0→1	1	
0	0	0→1	0	
0	1	0→1	1	
0	1	0→1	0	
1	0	0→1	1	
1	0	0→1	0	
1	1	0→1	1	
1	1	0→1	0	

Виртуальные схемы D триггеров.



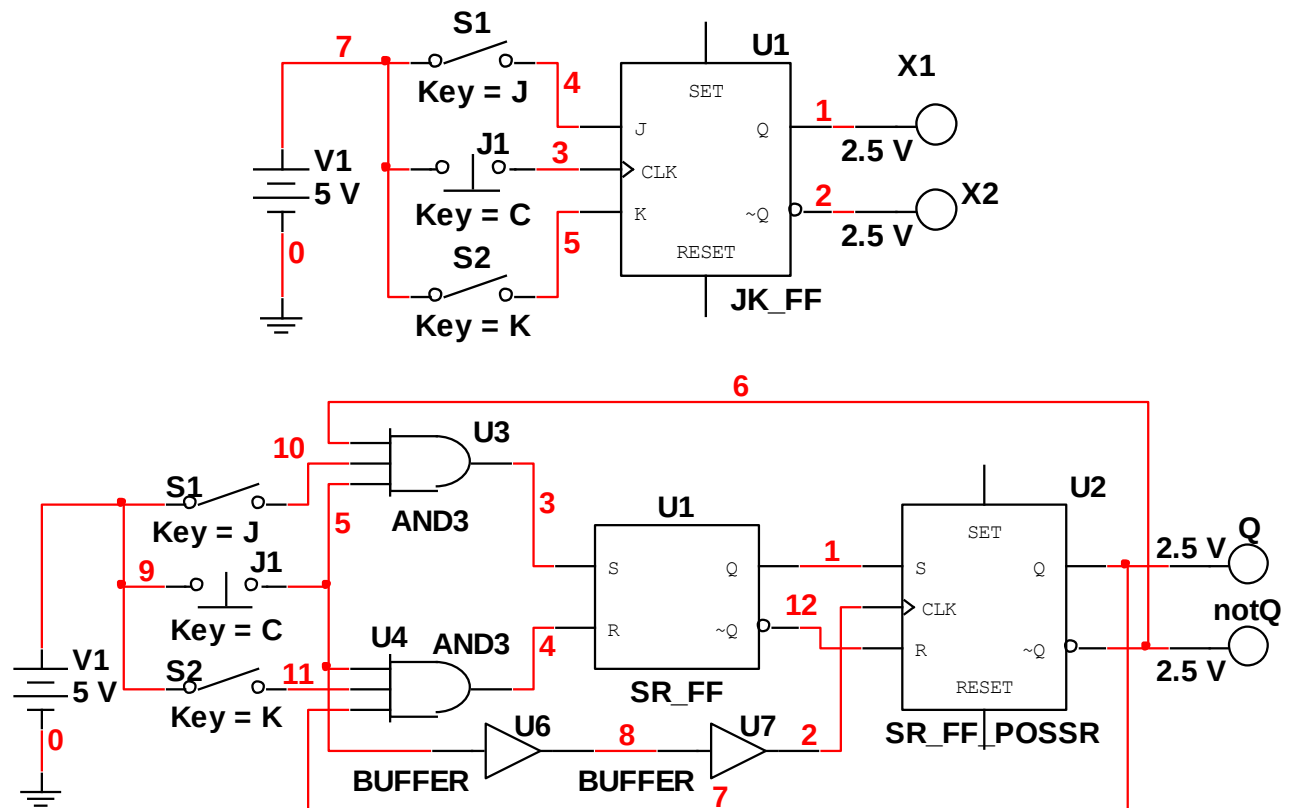
D	C	Q(t)	Q(t+1)
0	0;1; 1→0	0	
0	0→1	1	
1	0;1; 1→0	1	
1	0→1	0	

Виртуальные схемы T триггеров.



T	C	Q(t)	Q(t+1)
0	0;1; 1→0; 0→1	0	
0	0;1; 1→0; 0→1	1	
1	0;1; 1→0	0	
1	0;1; 1→0	1	
1	0→1	0	
1	0→1	1	

Виртуальные схемы JK триггеров.



J	K	C	Q(t)	Q(t+1)
0;1	0;1	0;1; 1→0; 0→1	0	
0;1	0;1	0;1; 1→0; 0→1	1	
0	0	0→1	0	0
0	0	0→1	1	1
0	1	0→1	0	0
0	1	0→1	1	0
1	0	0→1	0	1
1	0	0→1	1	1
1	1	0→1	0	1
1	1	0→1	1	0

3. Экспериментально составить таблицы истинности для каждого типа триггеров, согласно, своего варианта (таблицы показаны после схем).
4. Сделать вывод о возможности реализации схем триггеров с помощью электронных логических элементов.

12. Лабораторная работа №12 «Исследование дешифраторов».

Цель работы:

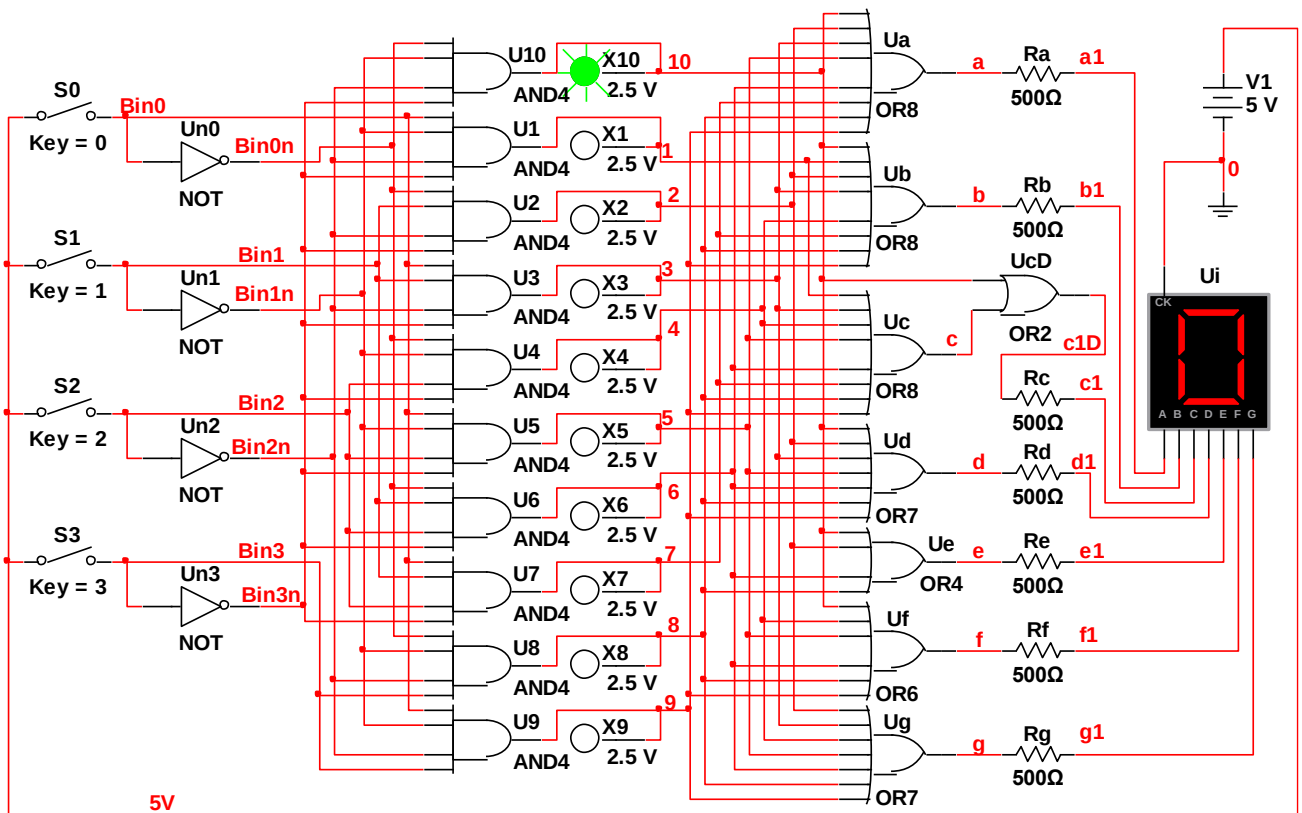
Исследование работы дешифраторов.

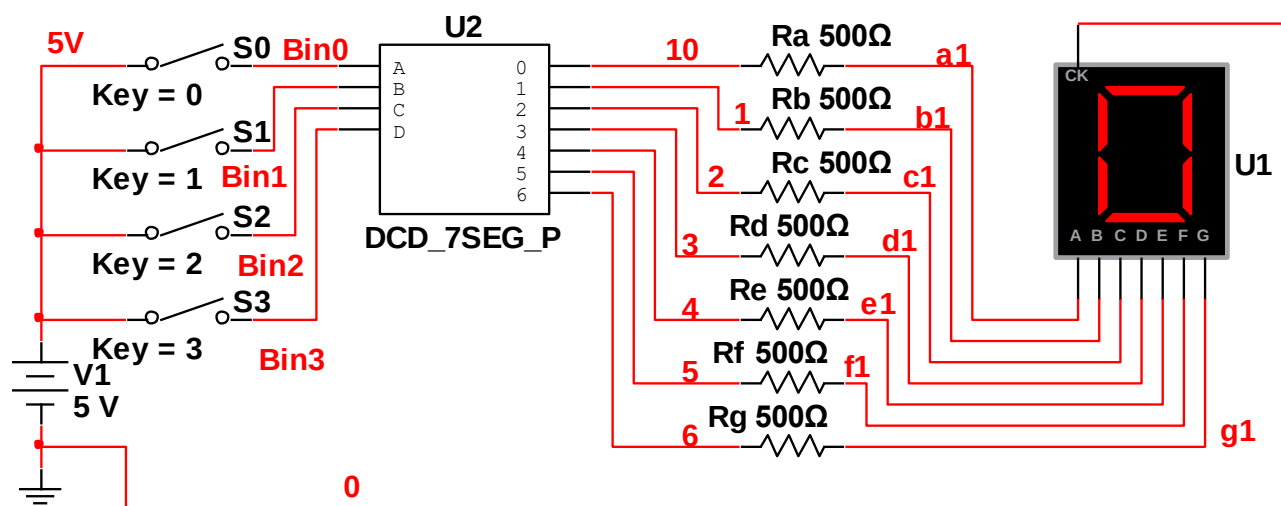
Необходимое оборудование:

Персональный компьютер с установленной обучающей программой Electronics Workbench.

Выполнения работы:

1. Загрузить программу Electronics Workbench.
2. Собрать виртуальные схемы дешифраторов.





3. Заполнить таблицу, показывающую работу дешифраторов, устанавливая различные двоичные коды согласно таблицы №1.

Таблица №1

Двоичный код	Показание индикатора
0000	
0001	
0010	
0011	
0100	
0101	
0110	
0111	
1000	
1001	

4. Сделать вывод о возможности реализации схем дешифраторов с помощью электронных логических элементов.

Список использованных источников.

Основные источники:

1. Лекции для студентов специальности 23.02.06 «Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог» по дисциплине ОП.04. «Электроника и микропроцессорная техника» Саратов 2020г., Составитель Локтионов О.Б.

Дополнительные источники:

1. Акимова Г. Н. Электронная техника: учебник. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017.
2. Фролов В. А. Электронная техника: учебник: в 2 ч. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. 532 с.

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА**

Филиал федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Самарский государственный университет путей сообщения» в г. Саратове

КУРС ЛЕКЦИЙ
по дисциплине ОП.04

«ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА»
для студентов специальности 23.02.06 «Техническая эксплуатация
подвижного состава железных дорог»

Саратов 2023

РЕКОМЕНДОВАНО

к использованию в образовательной организации внутри

внутри филиала СамГУПС в г. Саратов

согласно решения методического совета

№1 от 21 сентября 2023 г.

ОДОБРЕНО

на заседании ЦМК

«Техническая эксплуатация
подвижного состава железных
дорог»

Протокол № __ от «__» _____ 20__ г.

Председатель

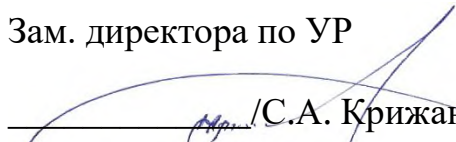


/ Д.К. Гусев /

Методические указания составлены в соответствии с требованиями ФГОС по специальности СПО 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог (приказ Минобрнауки РФ от 22.04.2014 № 388) и на основе профессионального стандарта «Работник по управлению и обслуживанию локомотива» (утв. приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 21 апреля 2022 г. N 226н)

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по УР



/С.А. Крижановский/

«__» _____ 20__ г.

Составители (авторы):

Гусев Д.К., преподаватель филиала СамГУПС в г. Саратове;

Локтионов О.Б., преподаватель филиала СамГУПС в г. Саратове, высшей квалификационной категории;

Мелешкин В.Е., преподаватель филиала СамГУПС в г. Саратове.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Курс лекций для студентов по учебной дисциплине ОП.04 Электроника и микропроцессорная техника является частью основной профессиональной образовательной программы в соответствии с ФГОС по специальности: 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог.

Учебная дисциплина «Электроника и микропроцессорная техника» относится к циклу профессиональных и общепрофессиональных дисциплин и нацелена на развитие у студентов мышления и навыков овладения работой с электронными приборами и устройствами, изучения работы источников вторичного питания, логических и микропроцессорных устройств.

Цель применения электронного учебника в учебном процессе для студентов – систематизация книжных и электронных теоретических ресурсов для системного освоения необходимых материалов для изучения дисциплины «Электроника и микропроцессорная техника».

В результате изучения материалов учебника обучающийся должен знать принципы работы и характеристики электронных приборов и логических элементов основные принципы построения электронных схем.

В результате изучения данного курса студент должен сформировать следующие общие компетенции:

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

профессиональные компетенции:

ПК 1.1. Эксплуатировать подвижной состав железных дорог.

ПК 1.2. Производить техническое обслуживание и ремонт подвижного состава железных дорог в соответствии с требованиями технологических процессов.

ПК 1.3. Обеспечивать безопасность движения подвижного состава.

ПК 2.3. Контролировать и оценивать качество выполняемых работ

ПК 3.1. Оформлять техническую и технологическую документацию.

ПК 3.2. Разрабатывать технологические процессы на ремонт отдельных деталей и узлов подвижного состава железных дорог в соответствии с нормативной документацией.

Структура лекций подчинена основным формам учебной работы и организации самостоятельной работы в виде работы с учебниками и электронными лекциями по дисциплине «Электроника и микропроцессорная техника». Курс лекций включает список основной и дополнительной литературы к курсу, перечень экзаменационных вопросов по курсу.

Оглавление

Введение.	7
1. Электронные приборы.	9
1.1. Физические основы полупроводниковых приборов.	9
1.2. Полупроводниковые диоды.	10
1.3. Тиристоры.	16
1.4. Полупроводниковый транзистор.	21
1.5. Схемы включения биполярных транзисторов.	26
1.6. Основные параметры транзисторов.	29
1.7. Режимы работы биполярных транзисторов.	33
1.8. Интегральные микросхемы. Элементы и компоненты.	36
1.9. Классификация интегральных микросхем.	43
1.10. Полупроводниковые фотоприборы.	47
1.11. Оптроны, термисторы.	53
1.12. Тесты для самоконтроля по разделу 1.	59
2. Электронные усилители и генераторы.	63
2.1. Электронные усилители.	63
2.2. Основные характеристики, параметры и режимы усилителей.	69
2.3. Усилители напряжения, мощности и тока. Операционные усилители.	74
2.4. Электронные генераторы.	79
2.5. Стабилизация частоты генераторов. Электрические импульсы.	85
2.6. ГЛИН. Симметричный мультивибратор.	90
2.7. Мультивибратор на операционном усилителе.	95
2.8. Тесты для самоконтроля по разделу 2.	99
3. Источники вторичного питания.	103
3.1. Классификация выпрямителей.	103
3.2. Однофазные и трехфазные неуправляемые выпрямители.	108
3.3. Принцип действия управляемых выпрямителей.	112
3.4. Трехфазные управляемые выпрямители.	117
3.5. Сглаживающие фильтры.	122
3.6. Активные фильтры.	127
3.7. Стабилизаторы напряжения и тока.	130
3.8. Компенсационный стабилизатор напряжения (КСН.	135
3.9. Компенсационный стабилизатор тока. Импульсные стабилизаторы.	139
3.10. Тесты для самоконтроля по разделу 3.	143
4. Логические устройства.	148
4.1. Цифровые коды. Основы алгебры логики.	148
4.2. Логические элементы цифровой техники.	153
4.3. Базисные элементы. Применение элементов логических микросхем.	157
4.4. Триггеры.	162
4.5. Регистры.	167
4.6. Счётчики электрических импульсов. Шифраторы и дешифраторы.	172
4.7. Мультиплексоры и демультиплексоры. Сумматоры и полусумматоры. Шинные формирователи.	176
4.8. АЛУ.	181
4.9. Тесты для самоконтроля по разделу 4.	185
5. Микропроцессорные системы.	189
5.1. Назначение и классификация запоминающих устройств.	189
5.2. Внешние запоминающие устройства.	194
5.3. Цифровая обработка электрических сигналов: дискретизация, квантование	198
5.4. Цифро-аналоговые преобразователи.	203

5.5. Аналогово-цифровой преобразователь.	207
5.6. Структура процессора, назначение структурных блоков.	211
5.7. Архитектура процессоров. CISC-, RISC-, VLIW-процессоры.	215
5.8. Микропроцессоры, разновидности, применение. Цифровые сигнальные процессоры, применение.	219
5.9. Тесты для самоконтроля по разделу 5.	222
6. Ответы к тестам для самоконтроля.	225
Экзаменационные вопросы и задания.	226
Список использованных источников.	229

Введение.

Технический прогресс современной техники базируется на применении электронных устройств. В системах электроснабжения и электроподвижного состава железнодорожного транспорта эксплуатируются преобразователи электроэнергии, устройства автоматики, телемеханики, релейной защиты и вычислительной техники, создаваемые на основе электронных полупроводниковых приборов. Уровень их эксплуатации зависит от квалификации работников. Из этого следует, что необходимым условием подготовки кадров для железных дорог является изучение свойств полупроводниковых приборов, их характеристик, конструкции, принципа действия и условий эксплуатации.

С прогрессом в электронике теснейшим образом связано развитие рельсовых и безрельсовых транспортных средств. Современная полупроводниковая электроника обеспечивает любое преобразование электроэнергии, позволяет перейти к гибким технологическим процессам в системе тягового электроснабжения и на подвижном составе. Применение современных устройств электронной техники способствует созданию энергоэкономичных систем электрической тяги с оптимальным электропотреблением при обеспечении заданной пропускной и провозной способности.

Проблемы электроники обсуждаются на различных научных конференциях, конгрессах и симпозиумах. Одним из наиболее значительных подобных мероприятий является международный симпозиум «Eltrans», который проводится в России один раз в два года, начиная с 2001 года. Симпозиум проводят ОАО «РЖД», Академия транспорта РФ, Октябрьская железная дорога — филиал ОАО «РЖД» и Петербургский государственный университет путей сообщения (ПГУПС). В работе симпозиума принимают участие руководители и специалисты ОАО «РЖД», ученые РАН, специалисты научно-исследовательских и проектных организаций, ученые и преподаватели транспортных вузов РФ, стран СНГ и других государств, фирмы-разработчики подвижного состава и электрооборудования энергетических комплексов, средств промышленной автоматизации, строительно-монтажных работ тягового электроснабжения; руководители и специалисты РАО ЕЭС России.

Этапы развития электроники.

1 этап. Изобретение в 1809 году русским инженером Ладыгиным лампы накаливания.

Открытие в 1874 году немецким ученым Брауном выпрямительного эффекта в контакте металл–полупроводник. Использование этого эффекта русским изобретателем Поповым для детектирования радиосигнала позволило создать ему первый радиоприемник. Датой изобретения радио принято считать 7 мая 1895 г.

2 этап. В 1904 г. английский ученый Флеминг сконструировал электровакуумный диод.

В 1907 г. американский инженер Ли де Форест изобрёл первую электронную усилительную лампу – триод, после чего стала развиваться ламповая радиотехника. В

России первые радиолампы были изготовлены в 1914 году в Санкт–Петербурге Николаем Дмитриевичем Папалекси, будущим академиком АН СССР. В 1934 году сотрудники центральной радиолaborатории, Коровин и Румянцев, провели первый эксперимент по применению радиолакации и определению летящего самолета. В 30–е годы были заложены основы радиотелевидения. Первые предложения сделали независимо друг от друга Константинов и Катаев.

3 этап. В 1946 году при лаборатории "Белл Телефон" группа во главе с Уильямом Шокли, начала проведение исследования свойств полупроводников на Кремнии (Sc) и Германии (Ge).

Это период создания и внедрения дискретных полупроводниковых приборов, начавшийся с изобретения точечного транзистора

4 этап. В 1960 году Роберт Нойс (США) из фирмы Fairchild предложил и запатентовал идею монолитной интегральной схемы и изготовил первые кремниевые монолитные интегральные схемы.

Интегральными микросхемами стали называться микроэлектронные устройства, рассматриваемые как единое изделие, имеющее высокую плотность расположения элементов эквивалентных элементам обычной схемы. Усложнение, выполняемых микросхемами функций, достигается повышением степени интеграции.

1. Электронные приборы.

1.1. Физические основы полупроводниковых приборов.

Основой всех полупроводниковых приборов является р - n перехо́д. р-n перехо́д (n — negative — отрицательный, электронный, р — positive — положительный, дырочный), или электронно-дырочный переход — область пространства на стыке двух полупроводников р- и n-типа, в которой происходит переход от одного типа проводимости к другому. р-n-Переход является основой для полупроводниковых диодов, триодов и других электронных элементов с нелинейной вольт-амперной характеристикой.

В полупроводнике р-типа концентрация дырок намного превышает концентрацию электронов. В полупроводнике n-типа концентрация электронов намного превышает концентрацию дырок. Если между двумя такими полупроводниками установить контакт, то возникнет диффузионный ток — носители заряда, хаотично двигаясь, перетекают из той области, где их больше, в ту область, где их меньше. При такой диффузии электроны и дырки переносят с собой заряд. Как следствие, область на границе станет заряженной, и область в полупроводнике р-типа, которая примыкает к границе раздела, получит дополнительный отрицательный заряд, приносимый электронами, а пограничная область в полупроводнике n-типа получит положительный заряд, приносимый дырками. Таким образом, граница раздела будет окружена двумя областями пространственного заряда противоположного знака.

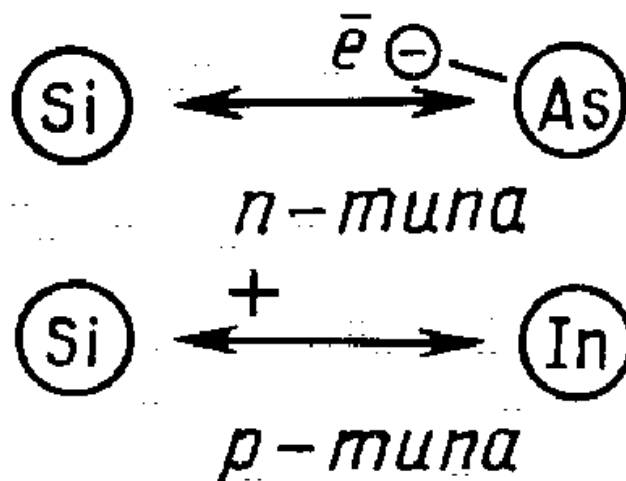
1.2. Полупроводниковые диоды.



Полупроводниковый диод — это полупроводниковый прибор с одним электрическим переходом и двумя выводами, в котором используются свойства p-n- перехода.

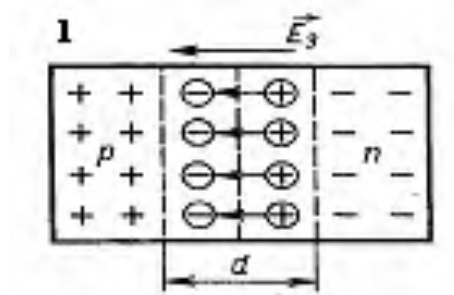
Примесные полупроводники

Донорная примесь: основные носители заряда - свободные электроны. Остается положительный ион примеси. Акцепторная примесь: основные носители заряда— дырки. Остается отрицательный ион примеси. В месте контакта донорного и акцепторного полупроводников возникает электронно-дырочный переход (p-n-переход).

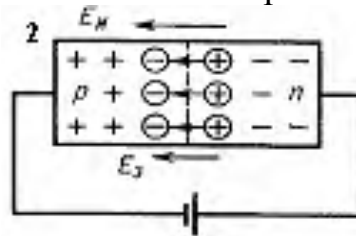


Свойства р-п перехода

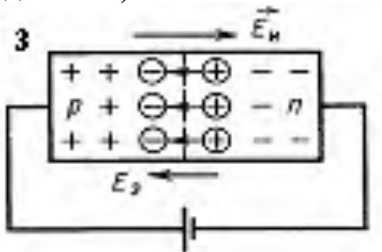
1. Образуется запирающий слой, образованный зарядами ионов примеси:
 $d=10^{-7}$ м, $\Delta\phi=0.4—0.8$ В.



2. Направление внешнего поля (источника) совпадает с направлением контактного поля. Тока основных носителей заряда нет. Существует слабый ток не основных носителей заряда. Такое включение называется обратным.



3. Прямое включение. Существует ток основных носителей заряда. р-п-переход пропускает электрический ток только в одном направлении (свойство односторонней проводимости).

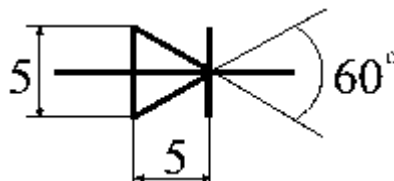


Полупроводниковые диоды классифицируются:

По назначению:

1. Выпрямительные.

Выпрямительные диоды предназначены для выпрямления переменного тока низкой частоты (50-100 000 Гц).



Направление стрелки указывает направление прямого тока.

2. Высокочастотные и сверхвысокочастотные (ВЧ- и СВЧ- диоды).

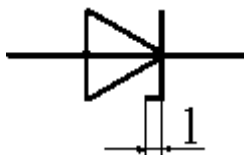
Высокочастотные диоды являются приборами универсального назначения, могут работать в выпрямителях переменного тока широкого диапазона частот (до нескольких сотен мегагерц), а также в модуляторах, детекторах и других преобразователях электрических сигналов.

3. Импульсные.

Импульсные диоды являются разновидностью высокочастотных диодов и предназначены для использования в качестве ключевых элементов в быстродействующих импульсных схемах.

4. Стабилитроны (опорные диоды).

Стабилитроны – это кремниевые плоскостные диоды, предназначенные для стабилизации уровня постоянного напряжения в схеме при изменении в некоторых пределах тока через диод.



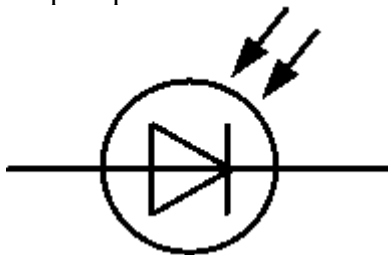
5. Варикапы.

Варикапом называется специально сконструированный полупроводниковый диод, применяемый в качестве конденсатора переменной емкости. Значение емкости варикапа определяется емкостью его р-п перехода и изменяется при изменении приложенного к переходу (диоду) напряжения.



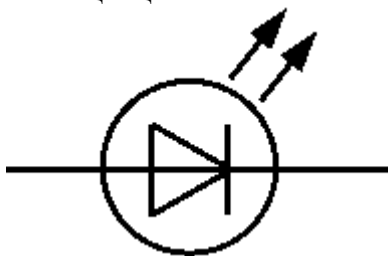
6. Фотодиод.

Фотодиод – полупроводниковый фотоэлектрический прибор с внутренним фотоэффектом, отображающим процесс преобразования световой энергии в электрическую.



7. Светодиод.

Светодиоды преобразуют энергию электрического поля в нетепловое оптическое излучение, называемое электролюминесценцией.



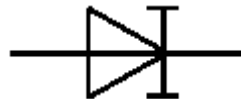
8. Туннельный диод .

Туннельный диод это полупроводниковый диод, в котором используется явление туннельного пробоя при включении в прямом направлении.



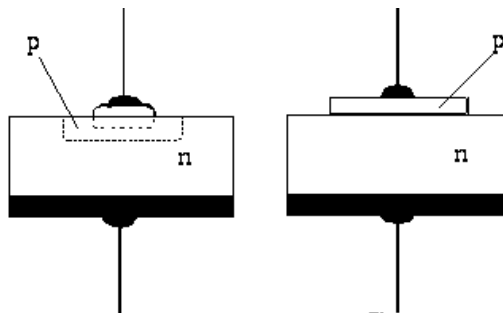
9. Обращенный диод.

Обращенный диод – диод на основе полупроводника с критической концентрацией примесей, в котором проводимость при обратном напряжении вследствие туннельного эффекта значительно больше, чем при прямом напряжении.

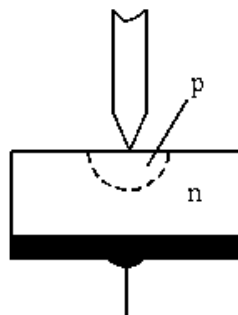


По конструктивно – технологическим особенностям:

1. Плоскостные.



2. Точечные.

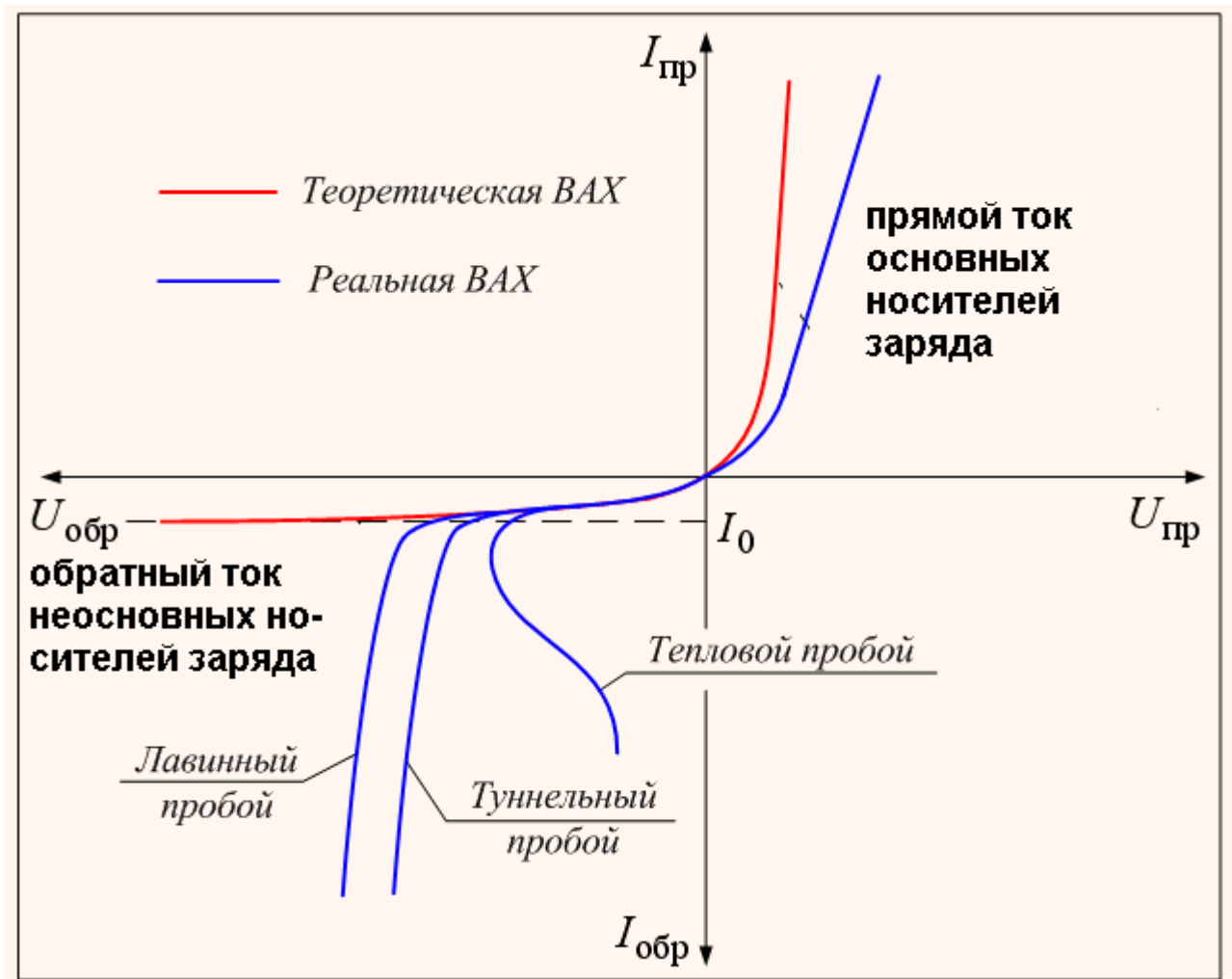


По типу исходного материала:

1. Германиевые.
2. Кремниевые.

3. Арсенидо – галлиевые и др.

Вольтамперная характеристика полупроводникового диода.



Пробой диода.

Это явление резкого увеличения обратного тока через диод при достижении обратным напряжением некоторого критического для данного диода значения.

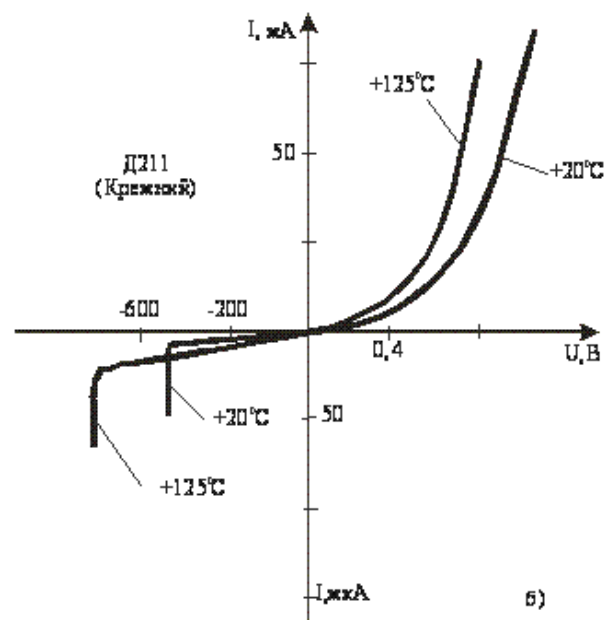
Лавинный пробой (ударная ионизация) является наиболее важным механизмом пробоя р-п-перехода. Напряжение лавинного пробоя определяет верхний предел обратного напряжения большинства диодов. Пробой связан с образованием лавины носителей заряда под действием сильного электрического поля, при котором носители приобретают энергии, достаточные для образования новых электронно-дырочных пар в результате ударной ионизации атомов полупроводника.

Туннельным пробоем р-п перехода называют электрический пробой перехода, вызванный квантовомеханическим туннелированием носителей заряда сквозь запрещённую зону полупроводника без изменения их энергии. Туннелирование электронов возможно при условии, если ширина потенциального барьера, который

необходимо преодолеть электронам, достаточно мала. При одной и той же ширине запрещённой зоны (для одного и того же материала) ширина потенциального барьера определяется напряжённостью электрического поля или напряжением на р-п переходе — пробивным напряжением.

Тепловой пробой — это пробой, обусловленный выделением в выпрямляющем электрическом переходе тепла вследствие прохождения тока через переход. При подаче обратного напряжения практически всё оно падает на р-п переходе, через который идёт, хотя и небольшой, обратный ток. Выделяющаяся мощность вызывает разогрев р-п перехода и прилегающих к нему областей полупроводника. При недостаточном теплоотводе эта мощность вызывает дальнейшее увеличение тока, что приводит к пробую. Тепловой пробой, в отличие от предыдущих, необратим.

Вольт-амперная характеристика р-п-перехода и влияние температуры.



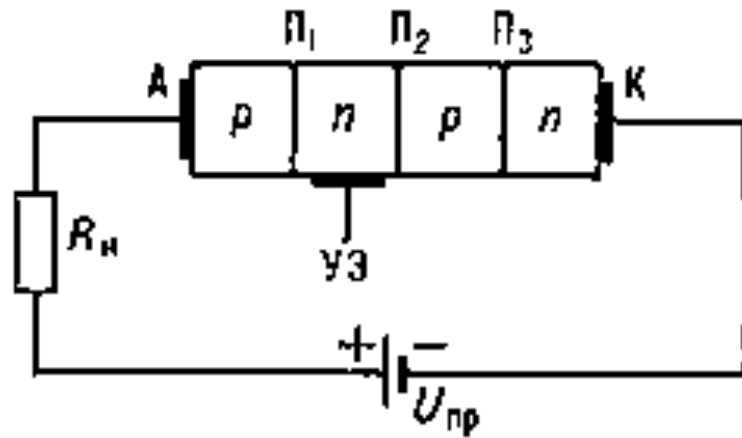
1.3. Тиристоры.

Тири́стор — полупроводниковый прибор, выполненный на основе монокристалла полупроводника с тремя или более р-п-переходами и имеющий два устойчивых состояния: закрытое состояние, то есть состояние низкой проводимости, и открытое состояние, то есть состояние высокой проводимости.



Тиристор можно рассматривать как электронный выключатель (ключ). Основное применение тиристоров — управление мощной нагрузкой с помощью слабых сигналов, а также переключающие устройства.

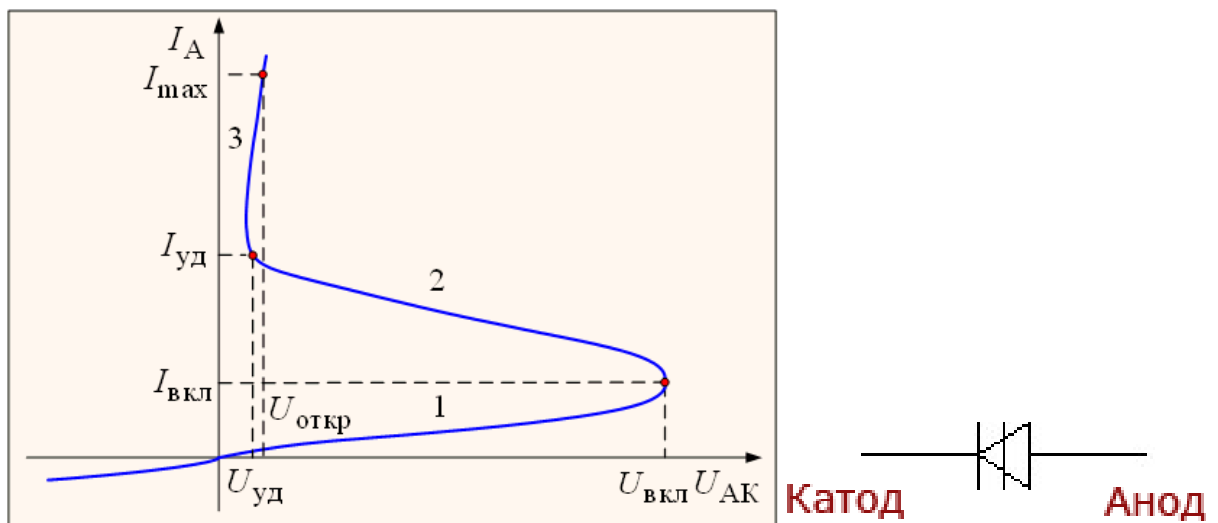
Тиристор имеет четырехслойную р-п-р-п-структуру с тремя выводами: анод , катод и управляющий электрод.



Классификация тиристоров

Динисторы

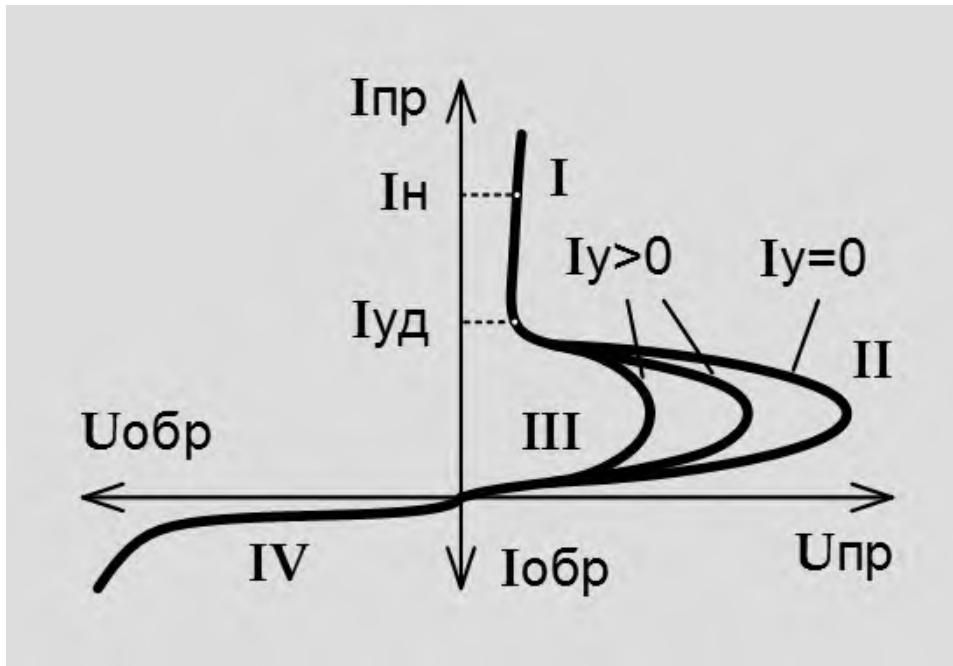
Динистором, или, по-другому, диодным тиристором, называют переключательный компонент с двумя выводами, который переходит в открытое состояние при превышении определённого напряжения, которое прикладывают между его выводами. Динисторы применяют в регуляторах и переключателях, чувствительных к изменениям напряжений.



Тринисторы

Тринистором, или, иначе, триодным тиристором, называют переключательный компонент с тремя электронно-дырочными переходами, и тремя выводами – анодом, катодом и управляющим электродом. Тринисторы обладают аналогичной динисторам структурой, а отличие состоит в наличии управляющего электрода – дополнительного

вывода, подключённого к одной из баз. Если через управляющий электрод тринистора пропустить отпирающий ток, то тринистор перейдёт в открытое состояние. Тринисторы широко применяют в регуляторах мощности, контакторах, ключевых преобразователях и инверторах и пр. Некоторое ограничение на внедрение тринисторов накладывает их частичная управляемость.



Наиболее широкое применение в силовых электронных аппаратах получили фазовое и широтно-импульсное управление с помощью тиристоров.

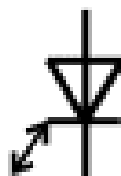
При фазовом методе управления тиристором с принудительной коммутацией регулирование тока нагрузки возможно как за счёт изменения угла фаз между током нагрузки и управляющим током.

При широтно-импульсном управлении (широтно-импульсной модуляции – ШИМ) регулирование происходит изменением длины импульса на управляющем электроде.

Тринисторы широко применяют в регуляторах мощности, контакторах, ключевых преобразователях и инверторах и пр. Некоторое ограничение на внедрение тринисторов накладывает их частичная управляемость.

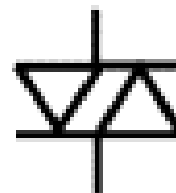
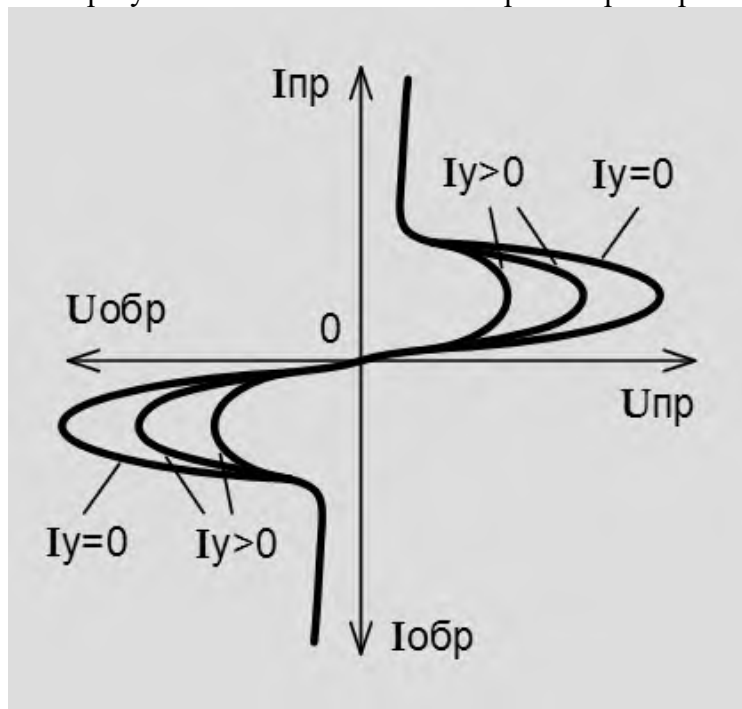
Запираемые тиристоры

Запираемые тиристоры, в отличие от тринисторов – это полностью управляемые компоненты, и под воздействием тока управляющего электрода они могут переходить из закрытого состояния в открытое состояние, и наоборот. Чтобы выключить запираемый тиристор, нужно пропустить через управляющий электрод ток противоположной полярности, чем полярность, вызывавшая отпирание компонента. Запираемые тиристоры обычно используют в преобразовательной технике в качестве электронных ключей.



Симисторы

Симисторы, в отличие от обычных тиристоров, проводят ток анод-катод при протекании тока по управляющему электроду, как в прямом направлении, так и в обратном. В результате этого их вольтамперная характеристика симметрична.

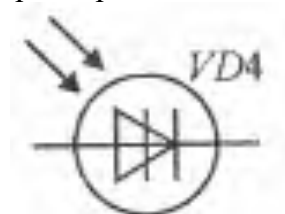


Симисторы нашли широкое применение в устройствах регулирования скорости вращения электродвигателей, в системах освещения, в электронагревателях, в преобразовательных установках.

Фототиристоры

Фототиристором называют специальный тиристор, в корпусе которого (в случае дискретного исполнения) предусмотрено окно, при облучении которого световым потоком тиристор переходит в открытое состояние.

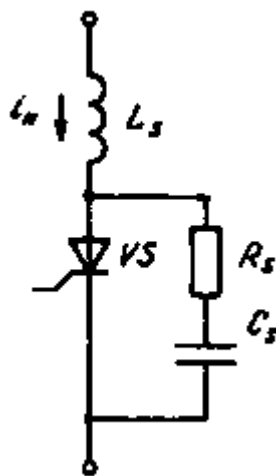
Некоторые фототиристоры позволяют коммутировать токи силой до сотен ампер при напряжениях анод-катод в десятки киловольт и обеспечивают гальваническую развязку системы управления и исполнительной цепи. В результате между устройством управления и фототиристором не нужно включать дорогой, ненадежный и крупногабаритный высоковольтный трансформатор.



Защита тиристоров

Тиристоры являются приборами, критичными к скоростям нарастания прямого тока и прямого напряжения. Тиристорам, как и диодам, присуще явление протекания обратного тока восстановления, резкое спадание которого до нуля усугубляет возможность возникновения перенапряжений. Перенапряжения являются следствием резкого

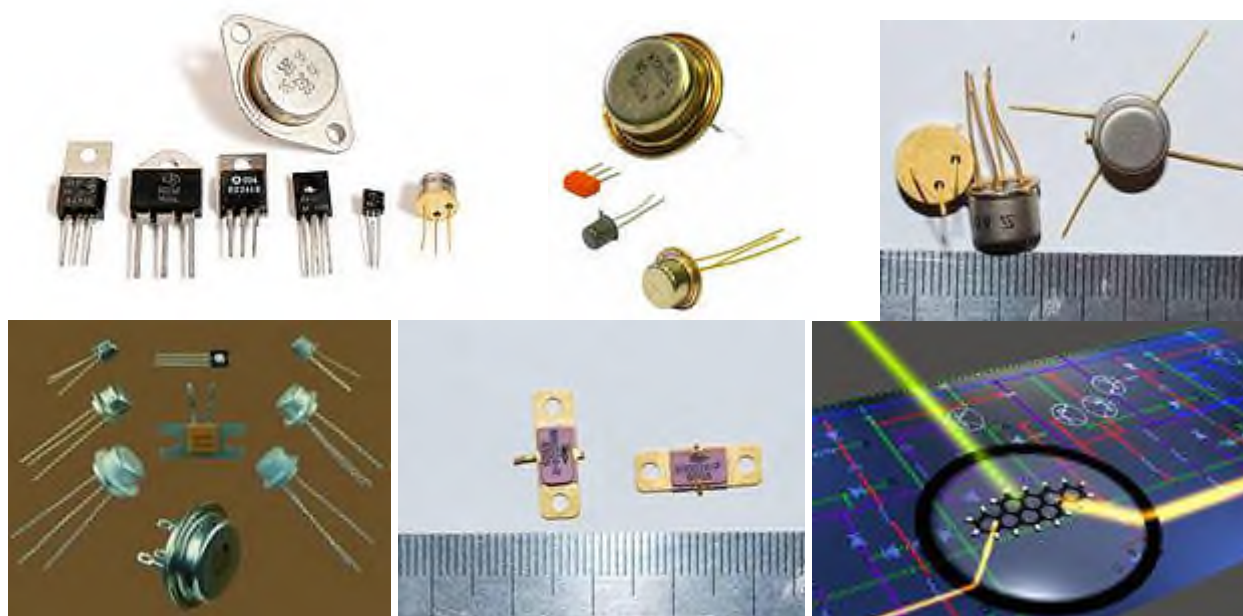
прекращения тока в индуктивных элементах схемы, включая малые индуктивности монтажа. Поэтому для защиты тиристоров обычно используют различные схемы. Часто для этой цели обычно используют RC-цепи, подключаемые параллельно тиристорам.



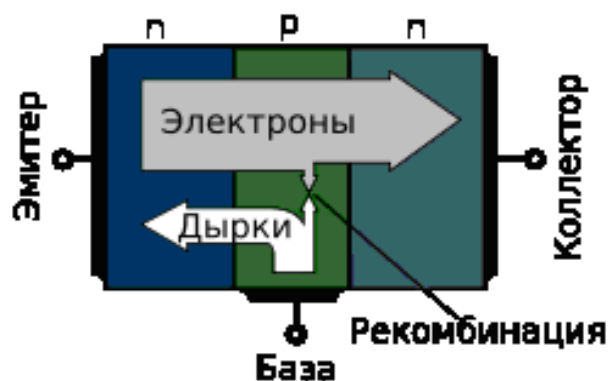
1.4. Полупроводниковый транзистор.

Транзистор (англ. transistor), полупроводниковый триод — радиоэлектронный компонент из полупроводникового материала, обычно с тремя выводами, позволяющий входным сигналом управлять током в электрической цепи.

Обычно используется для усиления, генерации и преобразования электрических сигналов. В общем случае транзистором называют любое устройство, которое имитирует главное свойство транзистора - изменения сигнала между двумя различными состояниями при изменении сигнала на управляющем электроде.



В настоящее время в аналоговой технике доминируют биполярные транзисторы (БТ) (международный термин — ВЈТ, bipolar junction transistor). Другой важнейшей отраслью электроники является цифровая техника (логика, память, процессоры, компьютеры, цифровая связь и т. п.), где, напротив, биполярные транзисторы почти полностью вытеснены полевыми.



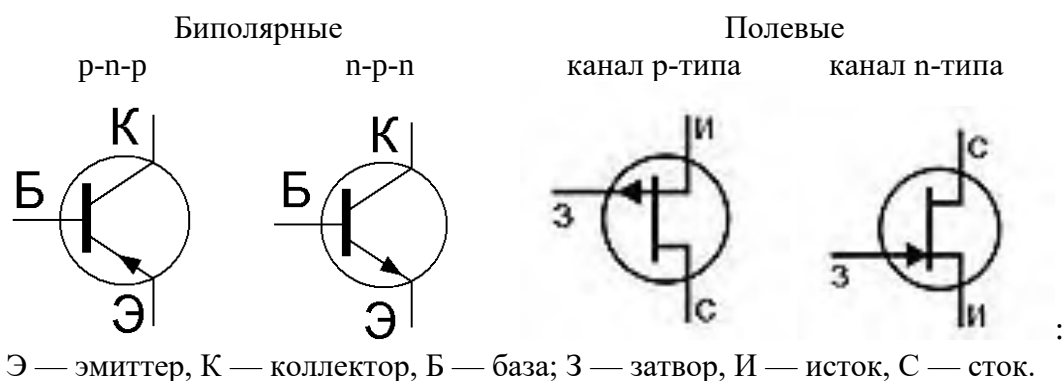
Первые патенты на принцип работы полевых транзисторов были зарегистрированы в Германии в 1928 году (в Канаде, 22 октября 1925 года) на имя австро-венгерского физика

Юлия Эдгара Лилиенфельда. В 1934 году немецкий физик Оскар Хайл запатентовал полевой транзистор. Полевые транзисторы (в частности, МОП-транзисторы) основаны на простом электростатическом эффекте поля, по физике они существенно проще биполярных транзисторов, и поэтому они придуманы и запатентованы задолго до биполярных транзисторов. Тем не менее, первый МОП-транзистор, составляющий основу современной компьютерной индустрии, был изготовлен позже биполярного транзистора, в 1960 году. Только в 90-х годах XX века МОП-технология стала доминировать над биполярной.

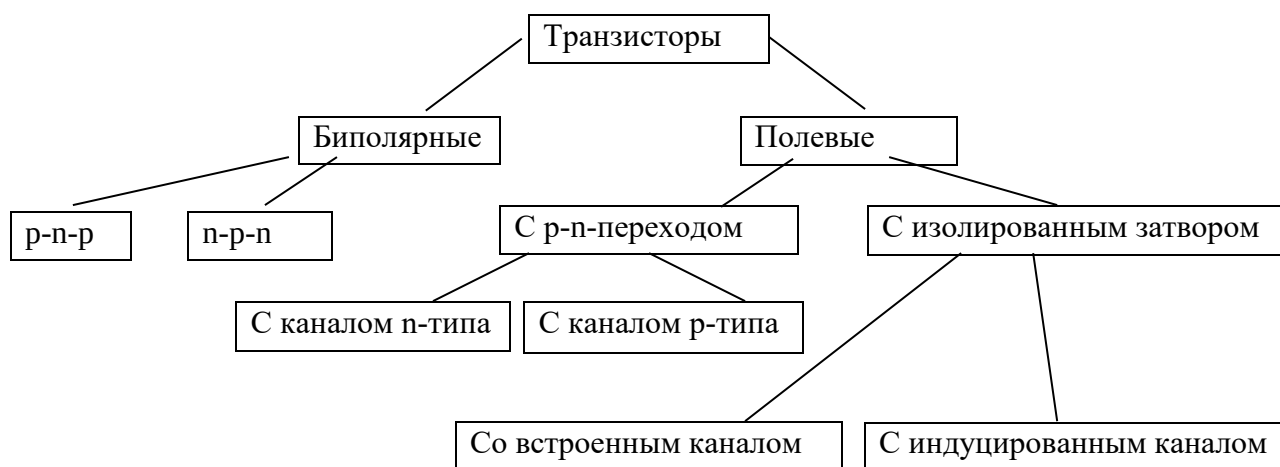
В 1947 году Уильям Шокли, Джон Бардин и Уолтер Браттейн в лабораториях Bell Labs впервые создали действующий биполярный транзистор. В 1956 году они были награждены Нобелевской премией по физике. Транзисторы заменили вакуумные лампы в большинстве электронных устройств.

Слово transistor, образовано от слов transfer — передача и resist — сопротивление.

Обозначение транзисторов



Классификация транзисторов по структуре.



Принцип действия и способы применения транзисторов

Биполярные

В биполярном транзисторе носители заряда движутся от эмиттера через тонкую базу к коллектору. База отделена от эмиттера и коллектора рп переходами. Ток протекает через транзистор лишь тогда, когда носители заряда инжектируются из эмиттера в базу через рп переход. В базе они являются неосновными носителями заряда и легко проникают через другой рп переход между базой и коллектором, ускоряясь при этом. В самой базе носители заряда движутся за счет диффузионного механизма, поэтому база должна быть достаточно тонкой. Управления током между эмиттером и коллектором осуществляется изменением напряжения между базой и эмиттером, от которой зависят условия инжекции носителей заряда в базу.

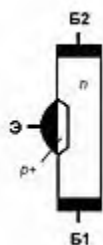
Полевые

В полевом транзисторе ток протекает от истока до стока через канал под затвором. Канал существует в легированном полупроводнике в промежутке между затвором и нелегированной подложкой, в которой нет носителей заряда, и она не может проводить ток. Преимущественно под затвором существует область обеднения, в которой тоже нет носителей заряда благодаря образованию между легированным полупроводником и металлическим затвором контакта Шоттки. Таким образом ширина канала ограничена пространством между подложкой и областью обеднения. Приложенное к затвору напряжение увеличивает или уменьшает ширину области обеднения и, тем самым, ширину канала, контролируя ток.

Разновидности транзисторов.

Однопереходные (Двухбазовый диод)

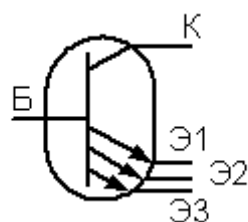
Основой транзистора является кристалл полупроводника (например n-типа), который называется базой. На концах кристалла имеются омические контакты Б1 и Б2, между которыми располагается область, имеющая выпрямляющий контакт Э с полупроводником р-типа, выполняющим роль эмиттера. Выпускался в СССР и имел обозначение КТ 117А (Б,В,Г). Зарубежные аналоги 2N6027, 2N6028



Многоэмиттерные

Многоэмиттерный транзистор (МЭТ) это биполярный транзистор, который имеет несколько эмиттерных областей. Различают МЭТ в которых эмиттерные области

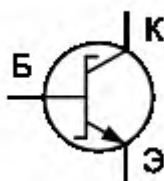
объединены одним внешним выводом, и МЭТ в которых каждая эмиттерная область имеет отдельный внешний вывод.



Транзисторы Шоттки

Транзисторы Шоттки (рис. 3.4, а) отличаются от обычных биполярных транзисторов тем, что они не входят в глубокое насыщение, следовательно, в их базах в открытом состоянии накапливается мало носителей заряда, и в результате время их рассасывания меньше обычного.

Эффект Шоттки снижает напряжение открывания кремниевого р-п перехода от обычных 0,5...0,7 В до 0,2...0,3 В и значительно уменьшает время жизни неосновных носителей в полупроводнике. Эффект Шоттки основан на том, что в р-п переходе или рядом с ним присутствует очень тонкий слой металла, богатый свободными носителями.



Фототранзисторы

Фототранзистор – полупроводниковый прибор с двумя р-п переходами – предназначен для преобразования светового потока Φ в электрический ток (рис. 3.3). При освещении фототранзистора в его базе генерируются электронно-дырочные пары. Неосновные носители зарядов переходят в область коллектора и частично в область эмиттера. При этом потенциалы эмиттера и коллектора относительно базы изменяются. Эмиттерный переход смещается в прямом направлении, и даже небольшое изменение его потенциала вызывает большое изменение тока коллектора, т. е. фототранзистор является усилителем.

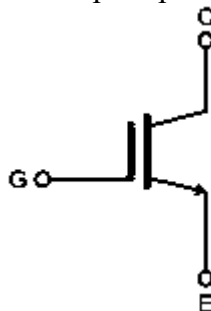
Полевые транзисторы для интегральных микросхем репрограммируемых постоянных запоминающих устройств

В интегральных микросхемах (ИМС) репрограммируемых постоянных запоминающих устройств (РПЗУ) в виде ячейки для хранения одного бита информации используются полевые транзисторы МНОП или МОП транзисторы с плавающим затвором. Аббревиатура МНОП расшифровывается следующим образом. М – металл, Н – сплав Si_3N_4 , О – оксид металла, П – полупроводник

IGBT

. IGBT, БТИЗ (от англ. Insulated-gate bipolar transistor — биполярный транзистор с изолированным затвором) — трёхэлектродный силовой электронный прибор, используемый, в основном, как мощный электронный ключ в импульсных источниках питания, инверторах, в системах управления электрическими приводами.

По своей внутренней структуре IGBT представляет собой каскадное включение двух электронных ключей: входной ключ на полевом транзисторе управляет мощным оконечным ключом на биполярном транзисторе. Управляющий электрод называется затвором как у ПТ, два других электрода — эмиттером и коллектором как у биполярного. Такое составное включение ПТ и БТ позволяет сочетать в одном устройстве достоинства обоих типов полупроводниковых приборов.



Биотранзистор.

Биотранзистор — это транзистор, основанный на использовании биологически активных полимеров. Используется в сенсорных элементах, биотехнике, медицине, энергетике.

Использование биоматериалов в электронных системах были продемонстрированы различными исследовательскими группами.

Группа Facci's в 2005 году предложила биотранзистор влажного типа, составленный из металлопротеинов. Металлопротеин имеет окислительно-восстановительную реакцию и естественную передачу электронов между молекулярным донором и акцептором. С тех пор биотранзисторы стали кандидатом для использования в биоэлектронике.

Группа Yang's в 2006 году развила цифровое устройство памяти, состоящее из вируса табачной мозаики [2].

В 2006 году ученые из университета Огайо отслеживали изменение структуры молекулы хлорофилла А, выделенного из растений шпината. Затем внесли в нее дополнительный электрон, и смогли создать биологический переключатель, способный принимать четыре различных положения — от полностью вытянутого до скрученного. Ранее уже создали биотранзистор, однако значительно более простой, с 2-мя положениями.

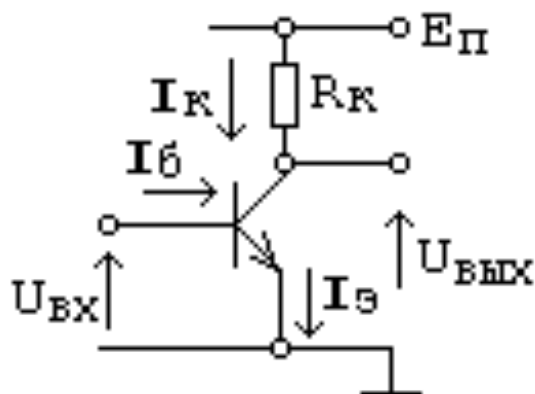
1.5. Схемы включения биполярных транзисторов.

Существуют три основные схемы включения транзисторов:

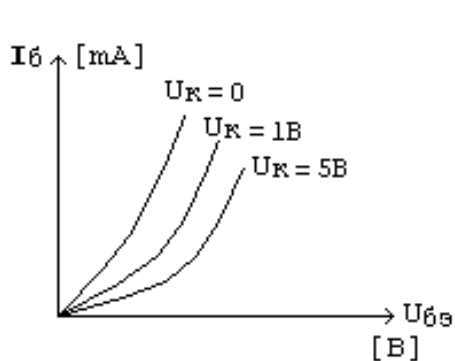
- 1) - ОЭ
- 2) - ОБ
- 3) - ОК

1) Схема с общим эмиттером (применяется наиболее часто).

В этой схеме управляющее напряжение прикладывается к участку Б-Э, выходной сигнал снимается с резистора нагрузки, включенного в коллекторную цепь (потенциал эмиттера фиксирован).

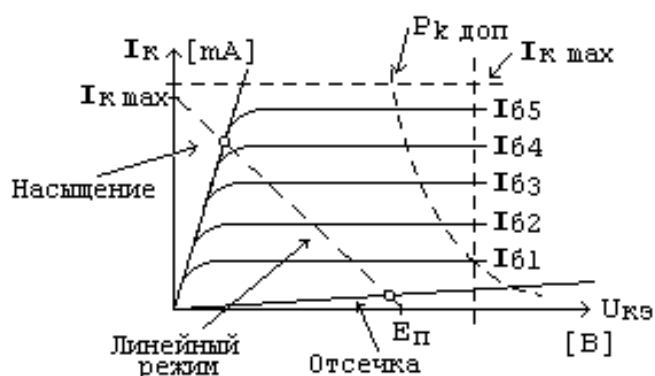


Входные характеристики приведены на рис.а, выходные - на рис.б. Это статические характеристики транзистора (без нагрузки). Нагрузочная характеристика (при подключении нагрузки) – динамическая характеристика. Она показана на рисунке б штриховой линией.



$$I_k = f(U_{бэ}) \big|_{U_k = \text{const}}$$

а)



$$I_k = f(U_k) \big|_{U_{бэ} = \text{const}}$$

б)

Пересечение выходной и нагрузочной характеристик образуют рабочую точку транзистора.

На семействе выходных характеристик выделяют три области:

- 1) Область линейного усиления, нормальный активный режим: $U_{бэ} > 0, U_{кб} > 0$
- 2) Область насыщения: $U_{бэ} > 0, U_{кб} < 0$.
- 3) Область отсечки: $U_{бэ} < 0, U_{кб} > 0$.

В области линейного усиления, увеличение тока базы приводит к пропорциональному изменению тока коллектора, при этом динамическое сопротивление участка К-Э стремится к ∞

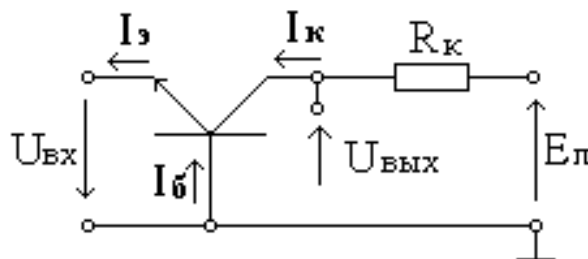
В области насыщения, изменение тока коллектора не приводит к существенному изменению напряжения на коллекторе. Динамическое сопротивление участка К-Э стремится к 0.

В области отсечки $I_k = I_{кб0} \gg 0$. Динамическое сопротивление участка К-Э стремится к ∞ .

Величина I_k сверху ограничена допустимой рассеиваемой мощностью данного транзистора на участке К-Э. Превышение предельного тока $I_{k \max}$ ведет к разрушению транзистора.

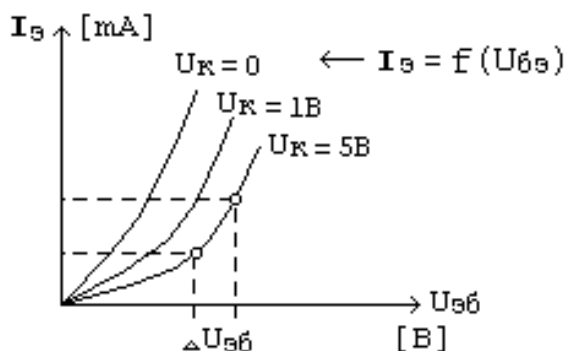
2) Схема с общей базой

В этой схеме управляющее напряжение прикладывается к участку Э-Б, а входной сигнал снимается с резистора нагрузки, включенного в коллекторную цепь. Потенциал базы при этом фиксирован, а потенциал Э должен быть меньше потенциала Б, если переход Б-Э смещен в прямом направлении.

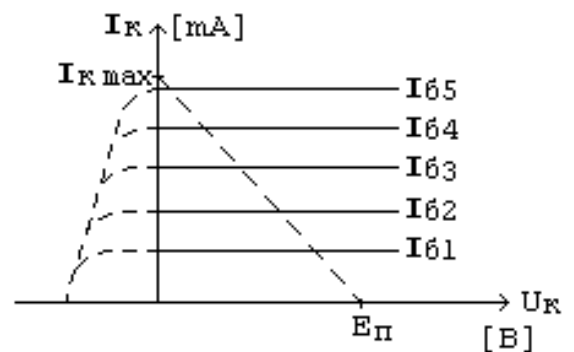


Вольт - амперная характеристика и режимы работы.

а) входные характеристики



б) выходные характеристики.



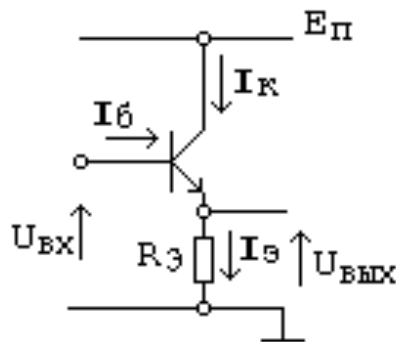
3) Схема с общим коллектором

Это по сути частный случай схемы с ОЭ при $R_k = 0$! Поэтому, практически все соотношения для токов транзистора и потенциалов на его переходах, характерные для схемы с ОЭ, могут быть применимы и в данном случае.

В этой схеме управляющее напряжение приложено к участку Б-Э, выходной сигнал снимается с резистора нагрузки, включенного в эмиттерную цепь. Потенциал коллектора при этом фиксирован!

Причем, в этой схеме, также как и в схеме с ОБ, отсутствует режим насыщения, поскольку потенциал коллектора никогда не может быть ниже потенциала базы!!

Параметры схемы в режиме отсечки аналогичны таковым в схеме с ОЭ!!



1.6. Основные параметры транзисторов.

Предельно допустимые параметры

- 1) $U_{эбобр.}$ - электрический (Зенеровский) или тепловой пробой перехода Б-Э
- 2) $U_{кбобр.}$

Это тах допустимые обратные напряжения на переходах Э-Б и К-Б. Причем,

$$U_{эбобр.} < U_{кбобр.} \text{ (иногда в 2 раза!)}$$

- 3) $U_{кэ max}$

- 4) $P_r max$ - максимально допустимая рассеиваемая мощность

$$P_r \gg U_{кэ} \times I_k$$

В паспорте обычно указывается $P_r max$ при температуре корпуса, равной 25 °С.

С увеличением t °С необходимо уменьшение P_r ниже $P_r max$!

Основные параметры биполярных транзисторов.

- статический коэффициент усиления по току α в схеме с общей базой α ;
- статический коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером β .
- обратный ток коллектора $I_{ко}$;
- граничная $f_{гр}$ и предельная f_{h21} частоты коэффициента передачи тока.

Система h параметров.

Свойства транзисторов оцениваются по их параметрам. При определении этих параметров транзистор рассматривают как активный четырёхполюсник, т.е. такой четырёхполюсник, у которого мощность электрических колебаний на его выходе превышает мощность колебаний на входе и имеется внутренний источник электрической энергии.



Наибольшее практическое применение получила система h параметров. В системе h параметров в качестве независимых переменных приняты ток I_1 (входной ток) и напряжение U_2 (напряжение на выходе). Тогда для U_1 (напряжение на входе) и I_2 (ток на выходе) получим зависимости:

$$U_1 = f(I_1, U_2) \text{ и } I_2 = f(I_1, U_2).$$

Зависимости для сигналов малых амплитуд позволяют записать связь между напряжениями и токами на входе и выходе следующими выражениями:

$$\begin{aligned}\Delta U_1 &= h_{11}\Delta I_1 + h_{12}\Delta U_2, \\ \Delta I_2 &= h_{21}\Delta I_1 + h_{22}\Delta U_2.\end{aligned}$$

Для определения h параметров создают режим холостого хода на входе ($\Delta I_1 = 0$) и режим короткого замыкания на выходе ($\Delta U_2 = 0$) по переменной составляющей. Эти условия означают, что при определении соответствующего h -параметра входной ток I_1 или выходное напряжение U_2 неизменны, т.е.

$$I_1 = \text{const} \text{ или } U_2 = \text{const}.$$

Параметр h_{11} представляет собой входное сопротивление транзистора и измеряется при коротко замкнутом выходе по переменному напряжению. Так как в этом режиме $U_2 = 0$,

$$h_{11} = \Delta U_1 / \Delta I_1 \text{ при } \Delta U_2 = 0$$

Параметр h_{12} — коэффициент обратной связи по напряжению показывает, какая часть напряжения с выхода транзистора поступает на его вход, т.е. характеризует глубину обратной связи. Он определяется при разомкнутой входной цепи, т.е. при $\Delta I_1 = 0$, тогда

$$h_{12} = \Delta U_1 / \Delta U_2 \text{ при } \Delta I_1 = 0$$

Параметр h_{21} — коэффициент усиления по току — отношение тока на выходе к входному току. Он определяется при короткозамкнутом выходе. При $\Delta U_2 = 0$ имеем:

$$h_{21} = \Delta I_2 / \Delta I_1 \text{ при } \Delta U_2 = 0$$

Для схемы с ОБ h_{21} обозначают α ($h_{21} = \alpha$). Для схемы с ОЭ h_{21} обозначают β ($h_{21} = \beta$). Коэффициент усиления по току β для схемы с ОЭ может быть выражен через α :

$$\beta = \Delta I_K / \Delta I_B = \alpha / (1 - \alpha)$$

Параметр h_{22} — выходная проводимость — определяется как отношение выходного тока к выходному напряжению при разомкнутых входных по переменному току. При $\Delta I_1 = 0$ имеем:

$$h_{22} = \Delta I_2 / \Delta U_2 \text{ при } \Delta I_1 = 0$$

Влияние температуры на характеристики и параметры транзисторов.

При повышении температуры большее число основных носителей поступает в зону проводимости и увеличивается прямой ток через эмиттерный переход, что приводит к сдвигу входных характеристик относительно характеристик нормального температурного (20°C) режима.

Изменение собственной проводимости при повышении температуры изменяет характеристики и рабочие параметры транзистора. Во избежание этого в транзисторные схемы вводят соответствующие компенсирующие элементы.

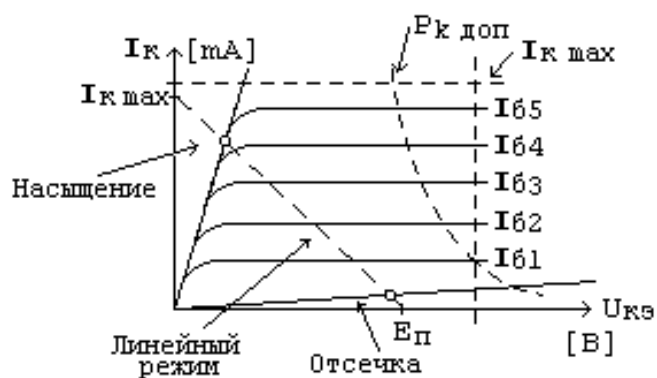
Теплостойкость транзистора характеризуется максимальной рассеиваемой мощностью P_{Kmax} , представляющей собой предельно допустимое значение мощности, рассеиваемой на коллекторе, при которой его температура не превосходит допустимых пределов. Эта мощность определяется на коллекторе, поскольку сопротивление коллекторного перехода значительно больше сопротивления эмиттерного перехода. Величина P_{Kmax} зависит от максимально допустимой температуры коллекторного перехода t_{Kmax} , температуры окружающей среды $t_{окр}$ и общего теплового сопротивления R_t между коллекторным переходом и окружающей средой:

$$P_{Kmax} = (t_{Kmax} - t_{окр}) / R_t$$

Для повышения мощности рассеивания необходимо:

- выполнять коллекторный переход из материала с высокой допустимой температурой (например, кремний с $t_{Kmax} = 150 \dots 170^\circ\text{C}$);
- уменьшать R_t за счет применения материалов с высокой теплопроводностью для изготовления корпуса;
- применять радиаторы для увеличения поверхности охлаждения.

Значение P_{Kmax} дается в справочниках и наносится гиперболической кривой на семейство статических выходных характеристик транзистора.



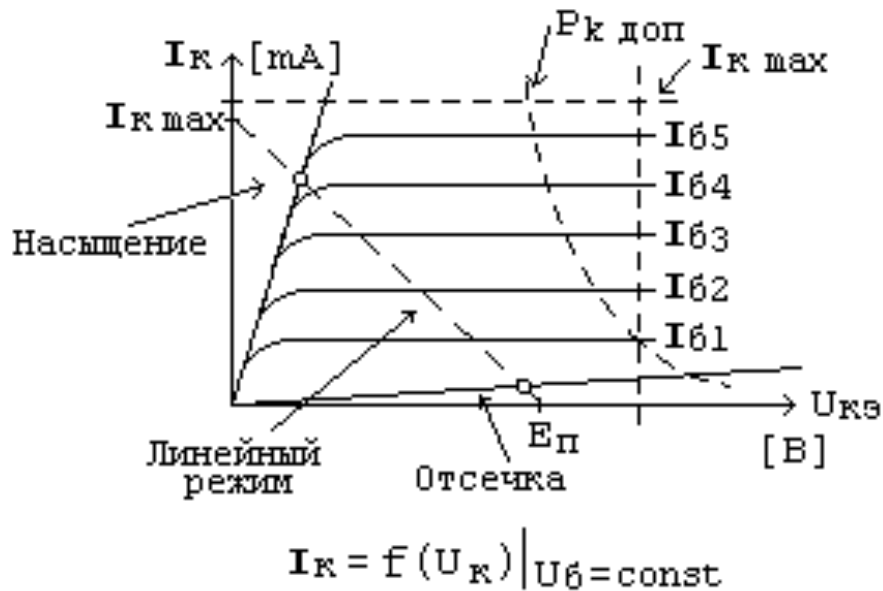
Основные показатели биполярного транзистора для различных схем его включения.

Вид схемы	Токи		Напряжения		Основные параметры		Примечание
	$I_{ВХ}$	$I_{ВЫХ}$	$U_{ВХ}$	$U_{ВЫХ}$	kI	kU	
С общей базой (ОБ)	$I_{Э}$	$I_{К}$	$U_{ЭБ}$	$U_{Н}$	α	$\alpha \cdot R_{Н}/R_{ВХБ}$	$KI < 1$ $KU > 1$
С общим эмиттером (ОЭ)	$I_{Б}$	$I_{К}$	$U_{ЭБ}$	$U_{Н}$	β	$\beta \cdot R_{Н}/R_{ВХБ}$	$KI < 1$ $KU > 1$
С общим коллектором (ОК)	$I_{Б}$	$I_{Э}$	$U_{КБ}$	$U_{Н}$	$\beta + 1$	$R_{Н}/(R_{Н} + R_{ВХБ})$	$KI < 1$ $KU > 1$

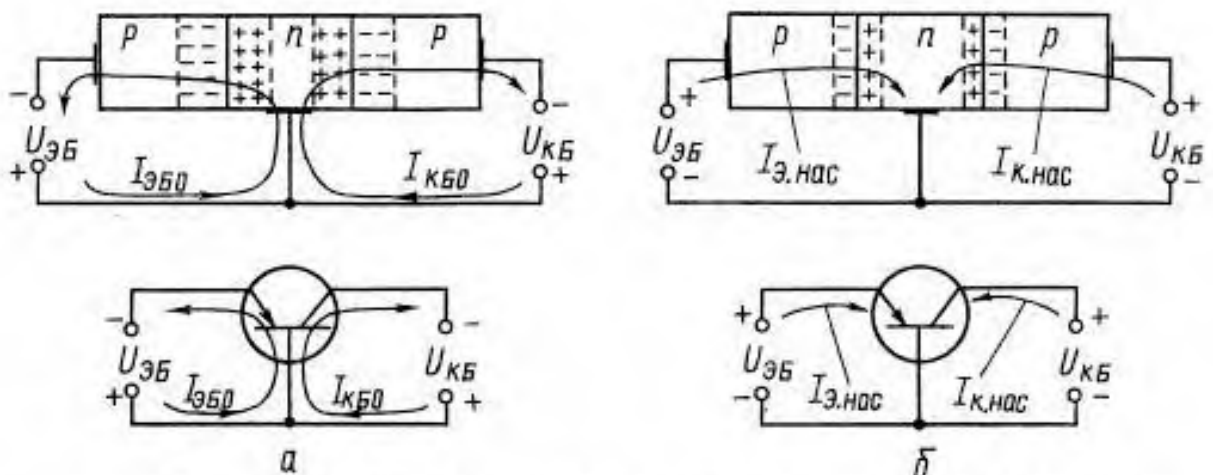
Основные параметры полевых транзисторов.

- напряжение отсечки U_0 — приложенное к затвору напряжение, при котором перекрывается сечение канала;
- максимальный ток стока $I_{с. макс}$;
- напряжения: между затвором и стоком $U_{зс}$, между стоком и истоком $U_{си}$ и между затвором и истоком $U_{зи}$;
- входная $S_{вх}$, проходная $S_{пр}$ и выходная $S_{вых}$ емкости.

1.7. Режимы работы биполярных транзисторов



Режим отсечки транзистора получается тогда, когда эмиттерный и коллекторный р-п переходы подключены к внешним источникам в обратном направлении. В этом случае через оба р-п-перехода протекают очень малые обратные токи эмиттера ($I_{ЭБО}$) и коллектора ($I_{КБО}$). Ток базы равен сумме этих токов и в зависимости от типа транзистора находится в пределах от единиц микроампер — мкА (у кремниевых транзисторов) до единиц миллиампер — мА (у германиевых транзисторов).



Токопрохождение в транзисторе в режимах отсечки (а) и насыщения (б)

Если эмиттерный и коллекторный р-п переходы подключить к внешним источникам в прямом направлении, транзистор будет находиться в режиме насыщения. Диффузионное электрическое поле эмиттерного и коллекторного переходов будет частично ослабляться электрическим полем, создаваемым внешними источниками $U_{ЭБ}$ и $U_{КБ}$. В результате уменьшится потенциальный барьер, ограничивавший диффузию основных носителей заряда, и начнется проникновение (инжекция) дырок из эмиттера и коллектора в базу, то есть через эмиттер и коллектор транзистора потекут токи, называемые токами насыщения эмиттера ($I_{Э.нас}$) и коллектора ($I_{К.нас}$).

Для усиления сигналов применяется активный режим работы транзистора. При работе транзистора в активном режиме, его эмиттерный переход включается в прямом, а коллекторный — в обратном направлениях.



Под действием прямого напряжения $U_{ЭБ}$ происходит инжекция дырок из эмиттера в базу. Попадая в базу n-типа, дырки становятся в ней неосновными носителями заряда и под действием сил диффузии движутся (диффундируют) к коллекторному р-п переходу. Часть дырок в базе заполняется (рекомбинирует) имеющимися в ней свободными электронами. Однако ширина базы небольшая — от нескольких единиц до 10 мкм. Поэтому основная часть дырок достигает коллекторного р-п-перехода и его электрическим полем перебрасывается в коллектор. Очевидно, что ток коллектора $I_{Кр}$ не может быть больше тока эмиттера, так как часть дырок рекомбинирует в базе. Поэтому $I_{Кр} = h_{21Б} \cdot I_{Э}$

Величина $h_{21Б}$ называется статическим коэффициентом передачи тока эмиттера. Для современных транзисторов $h_{21Б} = 0,90...0,998$. Так как коллекторный переход включен в обратном направлении (часто говорят — смещен в обратном направлении), через него протекает также обратный ток $I_{КБ0}$, образованный неосновными носителями базы (дырками) и коллектора (электронами). Поэтому полный ток коллектора транзистора, включенного по схеме с общей базой

$$I_{К} = h_{21Б} \cdot I_{Э} + I_{КБ0}$$

Дырки, не дошедшие до коллекторного перехода и прорекомбинировавшие (заполнившиеся) в базе, сообщают ей положительный заряд. Для восстановления электрической нейтральности базы в нее из внешней цепи поступает такое же количество

электронов. Движение электронов из внешней цепи в базу создает в ней рекомбинационный ток $I_{Б.рек}$. Помимо рекомбинационного через базу протекает обратный ток коллектора в противоположном направлении и полный ток базы

$$I_B = I_{Б.рек} - I_{КБО}$$

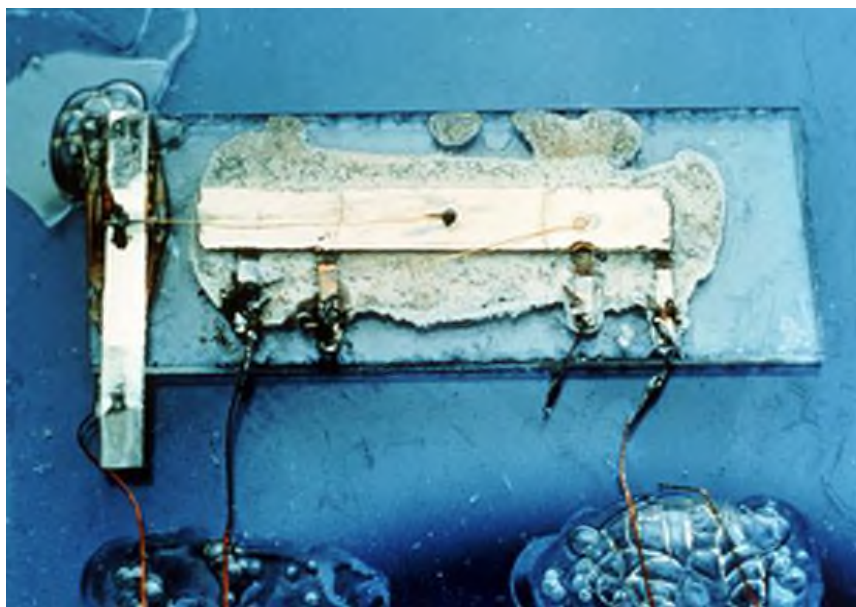
В активном режиме ток базы в десятки и сотни раз меньше тока коллектора и тока эмиттера.

1.8. Интегральные микросхемы. Элементы и компоненты.

Интегральная микросхема (ИМС) – конструктивно законченное изделие микроэлектронной техники, выполняющее определенную функцию преобразования и обработки информации (сигнала), изготовленное в едином технологическом цикле, воспринимаемое (неразделимой частью) как компонент в устройстве электронной техники.

История создания.

В 1958 году Джек Килби (Texas Instruments) и Роберт Нойс (Fairchild Semiconductor) независимо друг от друга изобрели практически идентичную модель интегральной схемы. Килби воспользовался германием, а Нойс кремнием.



Джек Килби из Далласа (фото 2000 г.) и его первая микросхема



Роберт Нойс (сооснователь Intel) и его первая микросхема (содержит четыре транзистора и другие компоненты, уместающиеся на кристалле площадью 5...10 мм²).

В 1959 году они отдельно друг от друга получили патенты на свои изобретения — началось противостояние двух компаний, которое закончилось мирным договором и созданием совместной лицензии на производство чипов.

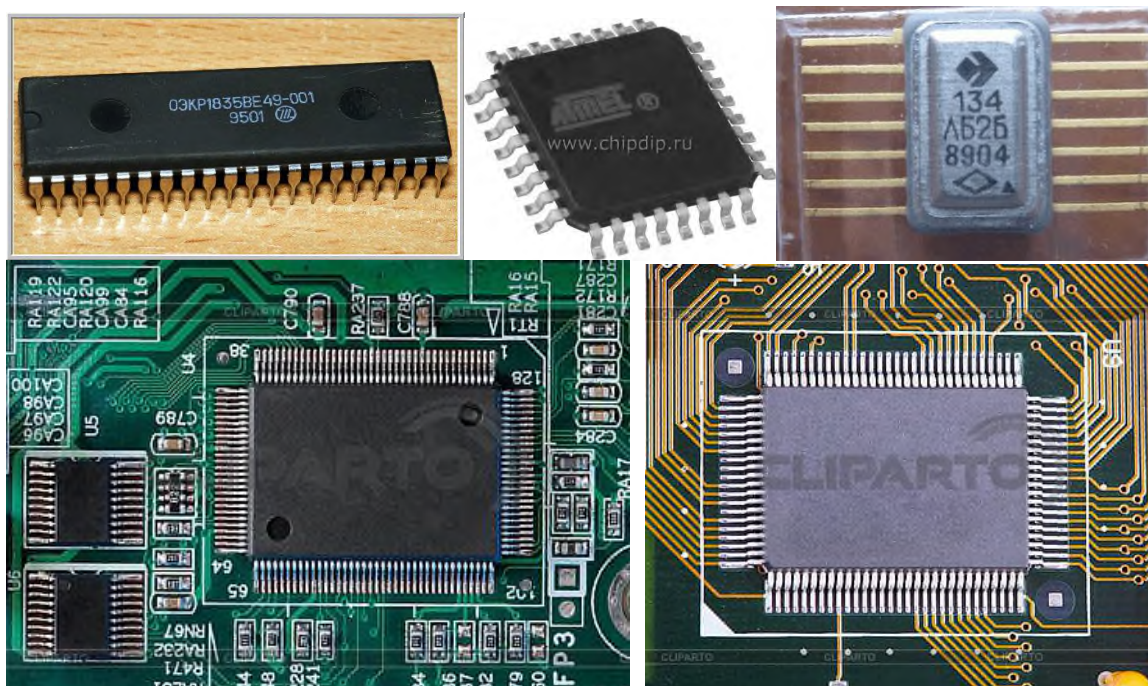
В 1961 году Fairchild Semiconductor Corporation пустила интегральные схемы в свободную продажу.

Первым устройством стал карманный калькулятор выпущенный в 1967 году. Его микросхема состояла из одного транзистора, трех резисторов и одного конденсатора.

Первая советская полупроводниковая микросхема была создана в 1961 г. в Таганрогском радиотехническом институте, в лаборатории Л. Н. Колесова.

Первым микропроцессором, объявленным как «компьютер-на-чипе», был 4-битный Intel 4004 (ноябрь 1971).

В мае 2011 фирмой Altera была выпущена самая большая в мире микросхема, состоящая из 3,9 млрд транзисторов.



Перспективы развития.

К проблеме предельной микроминиатюризации с другой стороны подошли биологи. Еще в 1974 году они установили, что многие органические материалы способны проводить электрический ток. Более того, когда проходит электрический сигнал определенной полярности, органическое вещество способно переходить в другое состояние. То есть, говоря проще, внутри каждого живого организма работают миллиарды триггеров — электронных приборов, каждому из которых свойственны два устойчивых состояния — 0 или 1.

Причем, электроника живой клетки имеет молекулярный уровень. То есть, своеобразным триггером может быть всего лишь одна молекула... Но ведь и Дж. Баркер предлагает создавать электронные приборы на атомно-молекулярном уровне. Ученые пытаются объединить одно с другим и создать «живой компьютер».

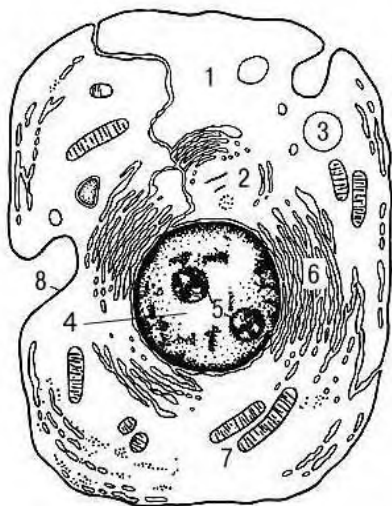
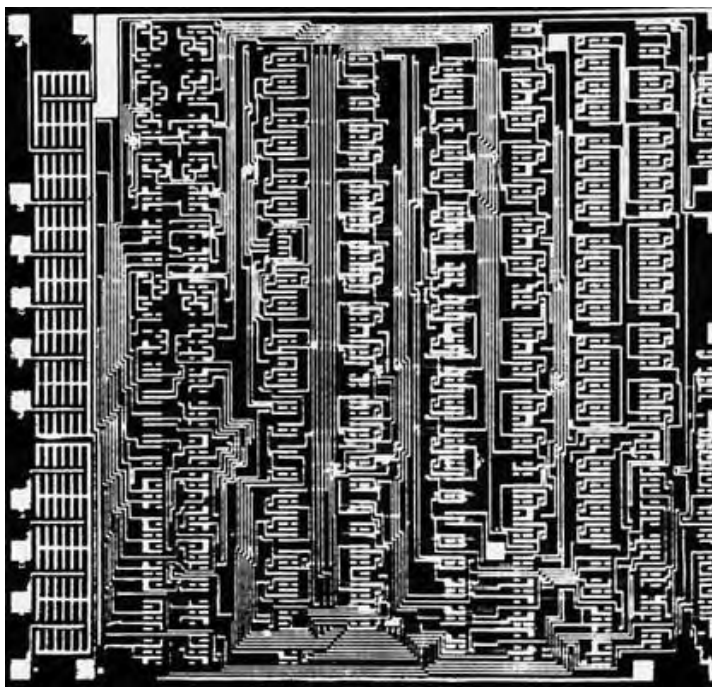


Схема строения животной клетки: 1 — цитоплазма; 2 — аппарат Гольджи; 3 — вакуоль; 4 — ядро; 5 — ядрышки; 6 — эндоплазматическая сеть; 7 — митохондрии; 8 — клеточная мембрана.

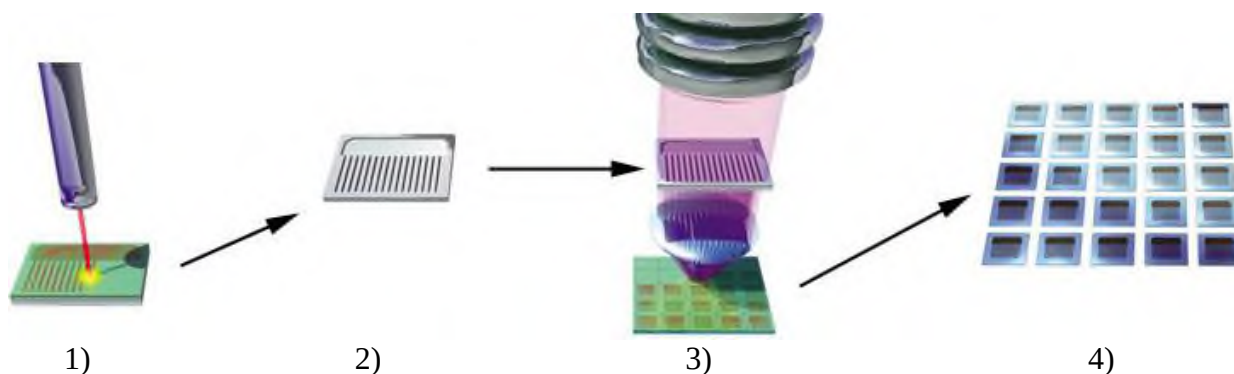
Технология изготовления микросхем.

При изготовлении микросхем используется метод фотолитографии (проекционной, контактной и др.), при этом схему формируют на подложке (обычно из кремния), полученной путём резки алмазными дисками монокристаллов кремния на тонкие пластины.

Оптическая фотолитография. На окисленную поверхность кремния наносится слой фоторезиста (полимерный светочувствительный материал). Затем на него накладывается фотошаблон - стеклянная пластинка, на одной стороне которой размещен рисунок элементов ИС.



Фотошаблон для интегральной схемы электронных часов.



- 1) Изготавливают фотошаблон, для чего освещают лучом лазера стеклянную пластинку, покрытую слоем хрома и фоторезиста.
- 2) Удаляют освещённые части фоторезиста вместе хромом.
- 3) Шаблон помещают в параллельном пучке ультрафиолетового света, который фокусируется линзой и падает на поверхность кремниевой пластинки, покрытой тонким слоем окиси кремния и фоторезиста.
- 4) Последующие термическая и химическая обработка позволяют создать сложную двумерную картину бороздок, необходимую для сборки электронной схемы.

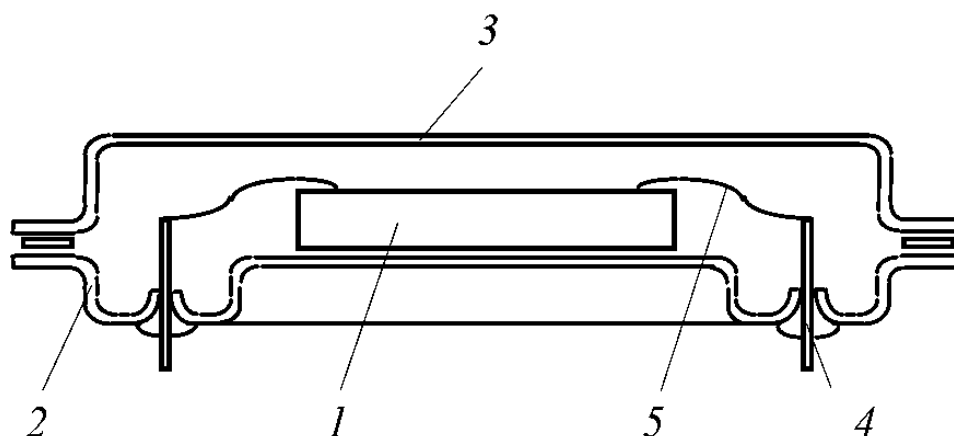
. Классификация по типу реализации логических элементов.

1. МОП-логика (металл-оксид-полупроводник логика) — микросхемы формируются из полевых транзисторов n-МОП или p-МОП типа;
2. КМОП-логика (комплементарная МОП-логика) — каждый логический элемент микросхемы состоит из пары взаимодополняющих (комплементарных) полевых транзисторов (n-МОП и p-МОП).
3. РТЛ — резисторно-транзисторная логика (устаревшая, заменена на ТТЛ);
4. ДТЛ — диодно-транзисторная логика (устаревшая, заменена на ТТЛ);
5. ТТЛ — транзисторно-транзисторная логика — микросхемы сделаны из биполярных транзисторов с многоэмиттерными транзисторами на входе;
6. ТТЛШ — транзисторно-транзисторная логика с диодами Шоттки — усовершенствованная ТТЛ, в которой используются биполярные транзисторы с эффектом Шоттки;
7. ЭСЛ — эмиттерно-связанная логика — на биполярных транзисторах, режим работы которых подобран так, чтобы они не входили в режим насыщения, — что существенно повышает быстродействие;
8. ИИЛ — интегрально-инжекционная логика.

КМОП и ТТЛ (ТТЛШ) технологии являются наиболее распространёнными логиками микросхем. Где необходимо экономить потребление тока, применяют КМОП-технологии, где важнее скорость и не требуется экономия потребляемой мощности применяют ТТЛ-технологии. Слабым местом КМОП-микросхем является уязвимость к статическому электричеству — достаточно коснуться рукой вывода микросхемы и её целостность уже не гарантируется. С развитием технологий ТТЛ и КМОП микросхемы по параметрам сближаются и, как следствие, например, серия микросхем 1564 — сделана по технологии КМОП, а функциональность и размещение в корпусе как у ТТЛ технологии. Микросхемы, изготовленные по ЭСЛ-технологии, являются самыми быстрыми, но и наиболее энергопотребляющими. Сейчас эта технология используется редко.

Классификация по технологии изготовления.

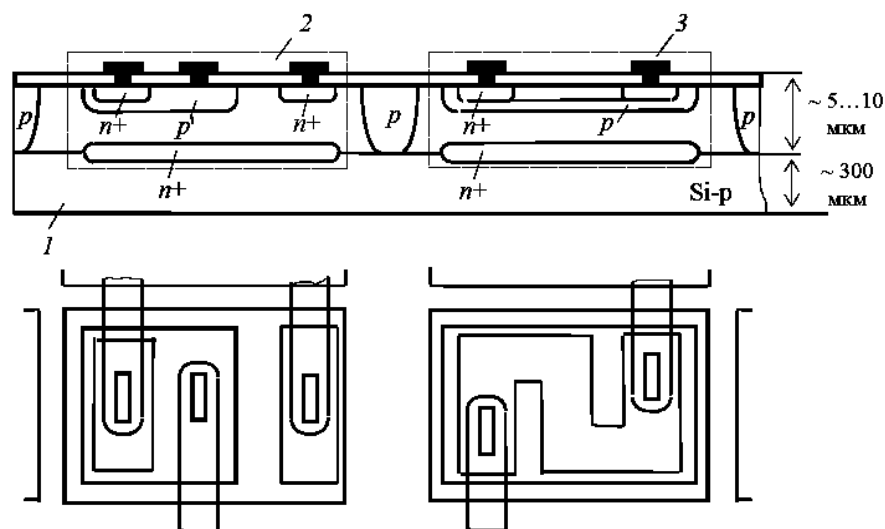
1. Полупроводниковая микросхема — все элементы и межэлементные соединения выполнены на одном полупроводниковом кристалле (например, кремния, германия, арсенида галлия, оксид гафния).
2. Плёночная интегральная микросхема — все элементы и межэлементные соединения выполнены в виде плёнок на поверхности пассивной подложки (стекло, керамика, ситалл и др.):
 - А) толстоплёночная интегральная схема;
 - Б) тонкоплёночная интегральная схема.
3. Гибридная микросхема (или микросборка) — кроме полупроводникового кристалла содержит несколько бескорпусных диодов, транзисторов и(или) других электронных компонентов, помещённых в один корпус.
4. Смешанная микросхема — кроме полупроводникового кристалла содержит тонкоплёночные (толстоплёночные) пассивные элементы, размещённые на поверхности кристалла.



Конструкция интегральной микросхемы:

1 – подложка или кристалл; 2 – корпус; 3 – крышка; 4 – внешние выводы;
5 – гибкие выводы.

В полупроводниковых ИМС выполняются с хорошей воспроизводимостью выходных параметров активные элементы (транзисторы, диоды и др.), в то же время нерационально из-за большой площади изготавливать пассивные элементы (резисторы, конденсаторы и др.). На полупроводниковых ИМС удастся организовать наиболее компактные устройства.

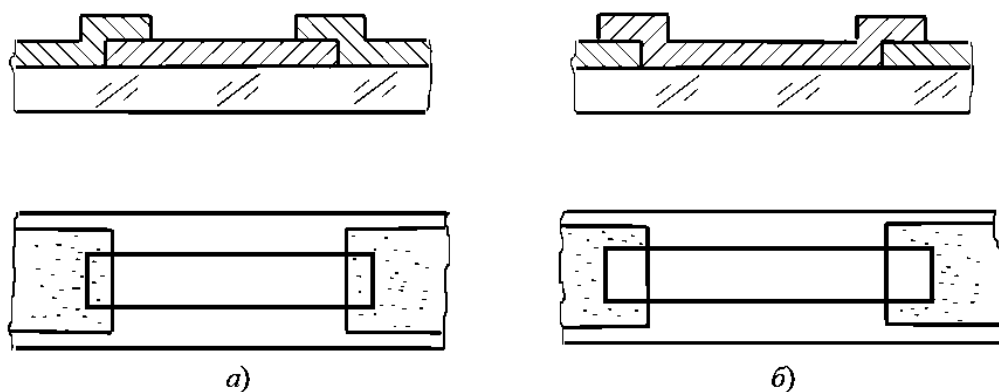


Полупроводниковые ИМС и их элементы:

1 – подложка кремния; 2 – планарный транзистор; 3 – интегральный резистор

Элемент – активная (транзисторы, диоды и др.) или пассивная (резисторы, конденсаторы и др.) единица реализованной электрической схемы, неразрывно связанная с подложкой и выполненная в едином технологическом цикле.

В пленочных ИМС затруднительно получение активных элементов, но хорошо формируется весь набор пассивных (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности и др.) элементов широкого диапазона номиналов.



Элементы пленочных ИМС:

а, б – тонко- и толстопленочные резисторы соответственно.

Указанные типы микросхем не взаимозаменяемые или конкурирующие, а дополняющие друг друга. Например, на поверхности полупроводниковых ИМС могут выполняться в виде пленок пассивные элементы. Такие ИМС называют совмещенными, однако они не распространены из-за малого диапазона номиналов пассивных элементов.

Комбинация пленочных пассивных электрорадиоэлементов (ЭРЭ) на диэлектрической подложке с активными полупроводниковыми бескорпусными компонентами

(транзисторами, диодами, полупроводниковыми ИМС) позволила создать гибридные ИМС (ГИС). Это дает возможность выполнять сложнейшие микроустройства, используя полупроводниковые планарные ЭРЭ и ИМС, выпускаемые серийно по сложной технологии.

Компонент - часть ИМС, реализующая функцию какого-либо электрорадиоэлемента, которая может быть выделена как самостоятельное изделие. Так в полупроводниковой ИМС транзистор является элементом, а в гибридной ИМС – компонентом.

1.9. Классификация интегральных микросхем.

Элементы и компоненты ГИС.

ГИС состоит из изолирующего основания (подложки), на поверхности которого размещены пленочные элементы (резисторы, конденсаторы, спирали индуктивности, проводники и контактные площадки), а также навесные бескорпусные миниатюрные активные (транзисторы, диоды, полупроводниковые ИМС и БИС) и пассивные (конденсаторы, катушки индуктивности и т.д.) компоненты. Для защиты ГИС помещают в корпус.

1. Подложки ГИС

Подложки ГИС являются диэлектрическим и механическим основанием для пленочных и навесных элементов и служат теплоотводом.

2. Пассивные элементы ГИС

Пленочные резисторы. Пленочный резистор располагают на поверхности диэлектрической подложки, конструктивно он состоит из резистивной пленки определенной конфигурации и контактных площадок.

Пленочные конденсаторы. Такие конденсаторы относятся к числу наиболее распространенных элементов ГИС. Конструктивно эти конденсаторы представляют собой трехслойную структуру металл – диэлектрик – металл (МДМ) и состоят из нижней и верхней обкладок, разделенных слоем диэлектрического материала.

Пленочные индуктивные элементы. Такие элементы широко распространены в аналоговых ИМС. Толщина пленочной спирали зависит от рабочей частоты и определяется глубиной проникновения электромагнитной волны в материал пленочного проводника.

Элементы коммутации (проводники и контактные площадки) служат для электрического соединения компонентов и элементов ГИС между собой, а также для присоединения к выводам корпуса.

Пленочные переходные контакты. Контактный узел двух пленочных элементов ГИС обладает определенным сопротивлением, зависящим от геометрии и размеров контакта, электропроводности контактирующих материалов, удельного переходного сопротивления контакта.

3. Активные элементы и компоненты ГИС

Транзисторы, применяемые в интегральных микросхемах, изготавливают по технологии монолитных ИС (элементы). В ГИС используют отдельные дискретные миниатюрные бескорпусные транзисторы (компоненты), поскольку тонкопленочная технология пока не всегда позволяет получать биполярные транзисторы удовлетворительного качества.

Диоды, используемые в ИС, выполняют либо по технологии монолитных интегральных микросхем (элементы), а в ГИС применяют дискретные навесные (компоненты). Для упрощения технологического процесса в монолитных ИС в качестве диодов используют транзисторы, выводы которых на стадии формирования контактов соединяют между собой

Степень интеграции микросхем.

В настоящее время существуют ИМС 1, 2, 3, 4, 5 и 6 степеней интеграции. ИМС первой степени содержат до 10 элементов и компонентов, второй — до ста и т. д.

Малая интегральная схема (МИС) — до 100 элементов в кристалле,
Средняя интегральная схема (СИС) — до 1000 элементов в кристалле,
Большая интегральная схема (БИС) — до 10000 элементов в кристалле,
Сверхбольшая интегральная схема (СБИС) — более 10 тысяч элементов в кристалле.

Классификация микросхем по виду обрабатываемого сигнала.

1. Аналоговые.
2. Цифровые.
3. Аналого-цифровые.

Аналоговые микросхемы — входные и выходные сигналы изменяются по закону непрерывной функции в диапазоне от положительного до отрицательного напряжения питания:

- Операционные усилители.
- Компараторы.
- Генераторы сигналов.
- Фильтры (в том числе на пьезоэффекте).
- Аналоговые умножители.
- Аналоговые аттенюаторы и регулируемые усилители.
- Стабилизаторы источников питания: стабилизаторы напряжения и тока.
- Микросхемы управления импульсных блоков питания.
- Преобразователи сигналов.
- Схемы синхронизации.
- Различные датчики (например, температуры).

Цифровые микросхемы — входные и выходные сигналы могут иметь два значения: логический ноль или логическая единица, каждому из которых соответствует определённый диапазон напряжения:

- Логические элементы
- Триггеры
- Счётчики

- Регистры
- Буферные преобразователи
- Шифраторы
- Дешифраторы
- Цифровой компаратор
- Мультиплексоры
- Демультимплексоры
- Сумматоры
- Полусумматоры
- Ключи
- АЛУ
- Микроконтроллеры
- Микропроцессоры (в том числе ЦП для компьютеров)
- Однокристальные микрокомпьютеры
- Микросхемы и модули памяти
- ПЛИС (программируемые логические интегральные схемы)

Аналого-цифровые микросхемы совмещают в себе формы цифровой и аналоговой обработки сигналов:

- цифро-аналоговые (ЦАП) и аналогово-цифровые преобразователи (АЦП).
- Цифровые вычислительные синтезаторы (ЦВС).
- Трансиверы (например, преобразователь интерфейса Ethernet).
- Модуляторы и демодуляторы.
- Радиомодемы
- Декодеры телетекста, УКВ-радио-текста
- Трансиверы Fast Ethernet и оптических линий
- Dial-Up модемы
- Приёмники цифрового ТВ
- Сенсор оптической мыши
- Преобразователи напряжения питания и другие устройства на переключаемых - конденсаторах
- Цифровые аттенюаторы.
- Схемы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) с последовательным интерфейсом.
- Коммутаторы.
- Генераторы и восстановители частоты тактовой синхронизации

Серии микросхем.

Серия интегральных микросхем - совокупность типов интегральных микросхем, которые могут выполнять различные функции, имеют единое конструктивно-технологическое исполнение и предназначены для совместного применения.

Условное обозначение ИМС.

Состоит из пяти элементов.

Первый элемент - цифра, обозначающая группу микросхем по конструктивно-технологическому исполнению. По этому признаку ИМС подразделяются на три группы,

которые обозначаются: полупроводниковые - 1, 5, 7; гибридные - 2, 4, 6, 8; прочие (пленочные, керамические, вакуумные и др.) - 3.

Второй элемент - две цифры, обозначающие порядковый номер разработки (регистрации) данной серии.

Примечание. Первый и второй элемент (три или четыре цифры) обозначают серию ИМС. Для микропроцессорных ИМС могут быть 4 цифры.

Третий элемент - две буквы, обозначающие подгруппу и вид по функциональному назначению. По характеру выполнения электрических функций микросхемы подразделяются на подгруппы и виды.

Четвертый элемент - цифра, обозначающая порядковый номер разработки микросхемы по функциональному признаку в данной серии.

Пятый элемент - буква, обозначающая отличие по какому-либо параметру одинаковых микросхем (например, по номиналу источника питания).

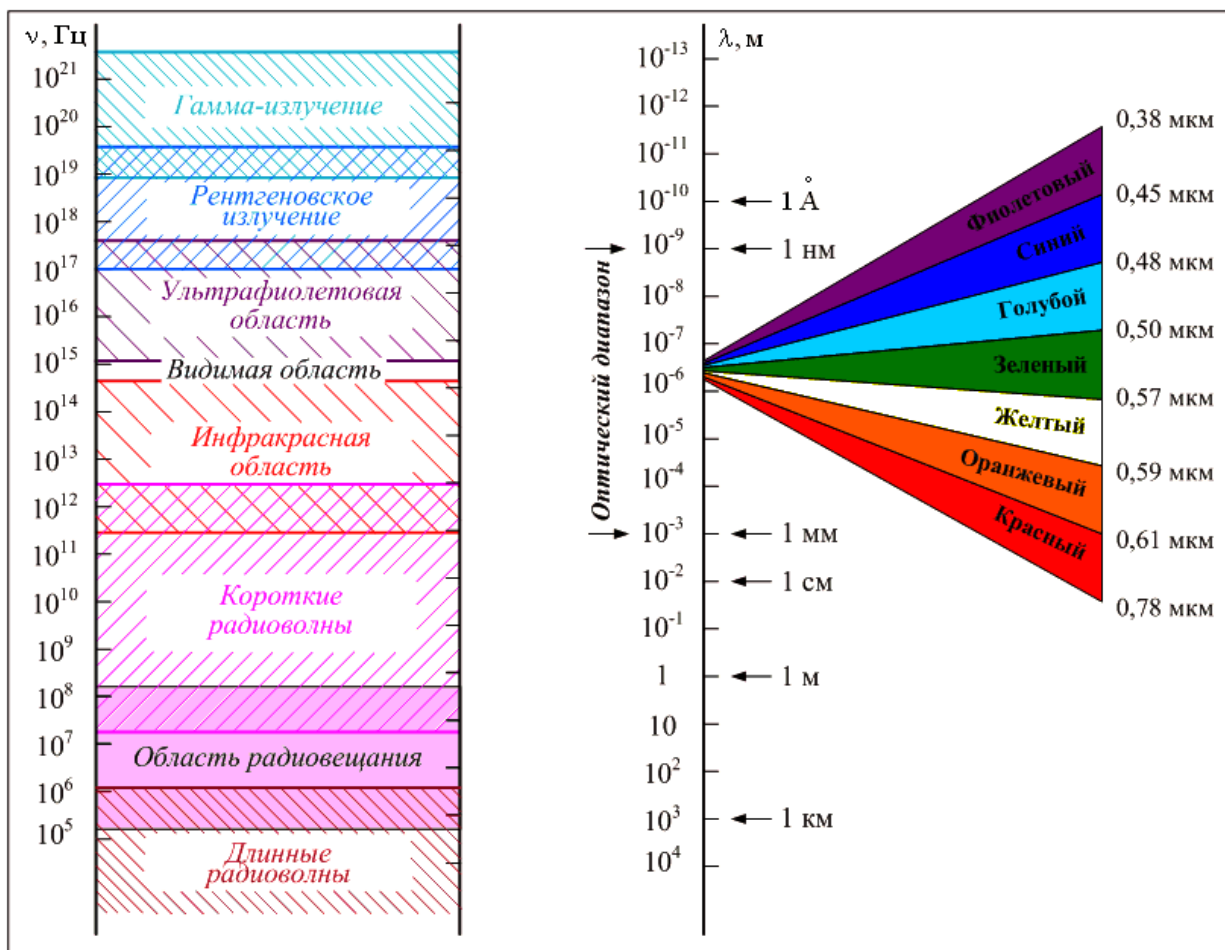
Если микросхемы выпускают для широкого применения, в их условное обозначение добавляется индекс "К", который ставится в самом начале условного обозначения. Например, гибридная ИМС общего назначения 224 серии, выполняющая функции усилителя низкой частоты, обозначается К224УН1; полупроводниковая ИМС общего назначения 506 серии, выполняющая логические функции И-ИЛИ-НЕ, обозначается К506ЛР2А (при источнике питания 6 В) и К506ЛР2Б (при источнике питания 12В).

По обозначению, принятому до введения ГОСТ 17021-75, второй и третий элементы взаимно переставлены. При этом серию образуют первый и третий элементы. Значения и места остальных элементов сохраняются прежними. Например, гибридная микросхема 204 серии обозначается 2ТК041.

1.10. Полупроводниковые фотоприборы.

Оптоэлектроника — раздел физики и техники, связанный с преобразованием электромагнитного излучения оптического диапазона в электрический ток и обратно.

В оптоэлектронике в качестве носителя информации используются электромагнитные волны оптического диапазона. Длины волн оптического излучения лежат в диапазоне от 1 нм до 1 мм.



Световой луч в оптоэлектронике выполняет те же функции управления, преобразования и связи, что и электрический сигнал в электрических цепях. В оптических цепях в качестве носителей сигналов выступают электрически нейтральные фотоны, которые в световом потоке не взаимодействуют между собой, не смешиваются и не рассеиваются.

Примеры применения оптоэлектронных приборов:

1. Лазерные звукопроигрыватели, в которых информация записана в цифровом представлении на жёстких или гибких дисках (компакт-диски), и считывается острофокусируемым лучом инжекционного лазера.
2. Волоконно-оптические линии связи, которые должны заменить современные кабельные линии связи, решить проблемы кабельного телевидения и видеотелефонов.
3. В будущем могут позволить конструирование оптических (или оптоэлектронных) вычислительных машин (ОВМ и ОЭВМ), превосходящих по производительности ЭВМ и способных выполнять 10 в двенадцатой операций в секунду и более.

История оптоэлектронных приборов.

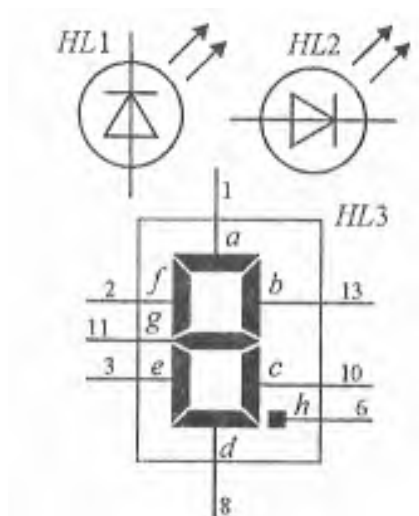
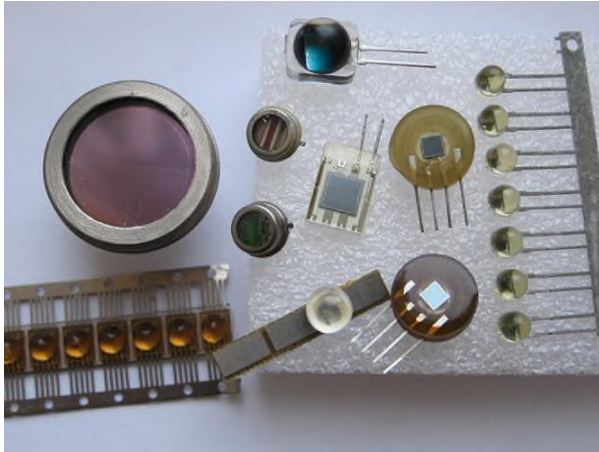
Хотя эффекты преобразования световой энергии в электрическую (детектирование света с помощью фотоприёмников) и обратное преобразование (электролюминесцентные источники) были известны давно, термин «Оптоэлектроника» возник лишь после того, как эти преобразования стали использоваться в вычислительной технике, и прежде всего для взаимных превращений световых и электрических сигналов при отображении, хранении, передаче и обработке информации. Термин «Оптоэлектроника» вошёл в употребление в 1960-х гг., когда появились приборы — оптроны, в которых для обеспечения надёжных гальванических развязок между электронными цепями используется пара «источник света (светодиод) — приёмник этого излучения».

Достоинства оптоэлектронных приборов.

1. Высокая информационная емкость оптического канала (частота световых колебаний (около 10^{15} Гц) в 10^3 - 10^4 раз выше, чем в освоенном радиотехническом диапазоне)
2. Острая направленность светового излучения (угловая расходимость луча пропорциональна длине волны и может быть меньше одной минуты)
3. Возможность двойной – временной и пространственной модуляции светового луча.
4. Высокая помехозащищенность (источник и приёмник не связаны электрически, а только посредством светового луча, следовательно, не влияют друг на друга).
5. Возможность непосредственного оперирования со зрительно воспринимаемыми образами: фотосчитывание, визуализация

Типы оптоэлектронных приборов.

1. Приборы для преобразования света в электрический ток: фото-сопротивления (фоторезисторы), фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры и другие.
2. Приборы для преобразования тока в световое излучение: различного рода лампы накаливания, электролюминесцентные индикаторы, полупроводниковые светодиоды и лазеры (газовые, твердотельные, полупроводниковые).



Обозначение световых приборов на принципиальных схемах.

3. Приборы для применения в различных электронных устройствах: оптоэлектронные интегральные схемы - интегральные микросхемы, в которых осуществляется оптическая связь между отдельными узлами или компонентами с целью изоляции их друг от друга (гальванической развязки).

Фотоприёмники.

Фотоприемники – полупроводниковые приборы, регистрирующие оптическое излучение и преобразующие оптический сигнал на входе в электрический сигнал на выходе фотодетектора.

Фоторезисторы.

Фоторезисторами называют полупроводниковые приборы, проводимость которых меняется под действием света.



Если фоторезистор включен последовательно с источником напряжения и не освещен, то в его цепи будет протекать темновой ток

$$I_T = E / (R_T + R_H),$$

где E – э. д. с. источника питания; R_T – величина электрического сопротивления фоторезистора в темноте, называемая темновым сопротивлением; R_H – сопротивление нагрузки.

При освещении фоторезистора энергия фотонов расходуется на перевод электронов в зону проводимости. Количество свободных электронно-дырочных пар возрастает, сопротивление фоторезистора падает и через него течет световой ток

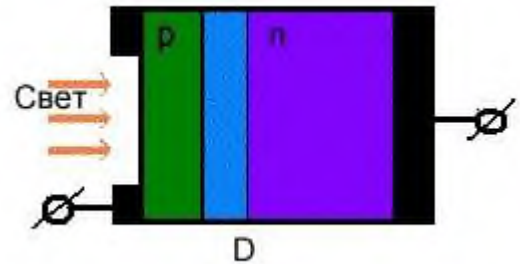
$$I_C = E / (R_C + R_H).$$

Разность между световым и темновым током дает значение тока I_Φ , получившего название первичного фототока проводимости.

$$I_\Phi = I_C - I_T.$$

Фотодиоды.

Фотодиод — это полупроводниковый диод, обратный ток которого зависит от освещенности.



При поглощении квантов света в р-п переходе или в прилегающих к нему областях образуются новые носители заряда. Неосновные носители заряда, возникшие в областях, прилегающих к р-п переходу на расстоянии, не превышающей диффузионной длины, диффундируют в р-п переход и проходят через него под действием электрического поля. То есть обратный ток при освещении возрастает. Величина, на которую возрастает обратный ток, называется фототоком.

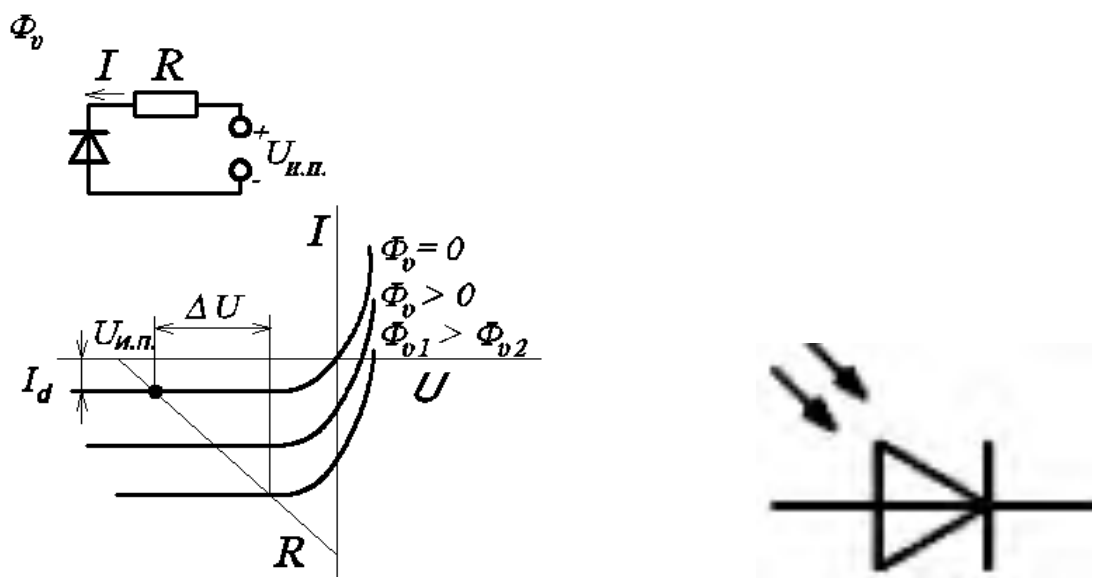


Схема и вольт-амперные характеристики фотодиода.

Фототранзистор.

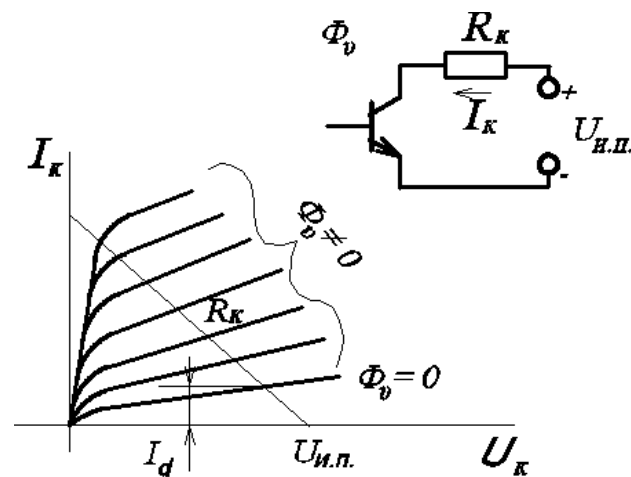
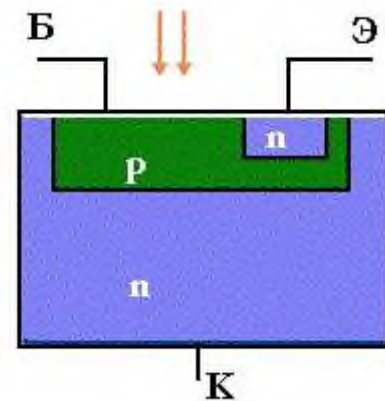


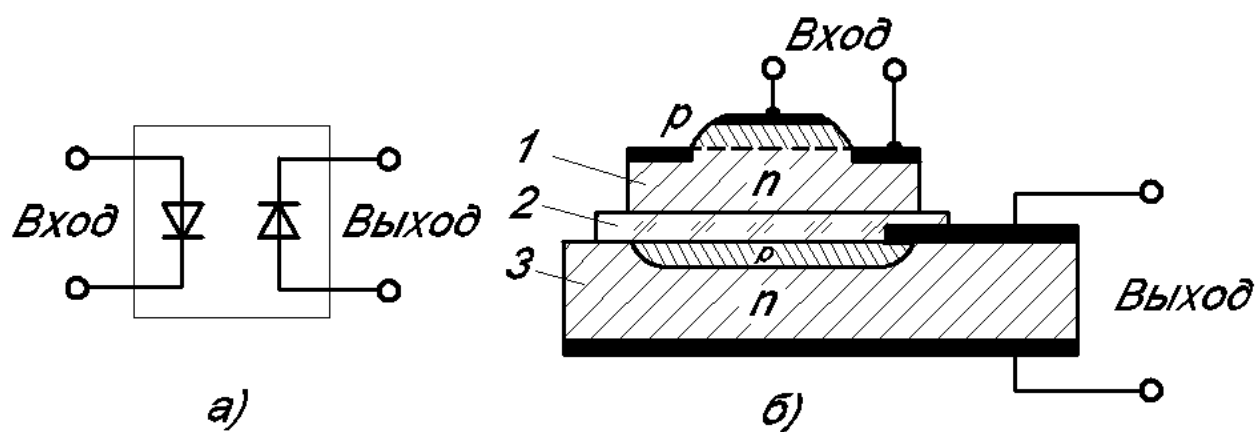
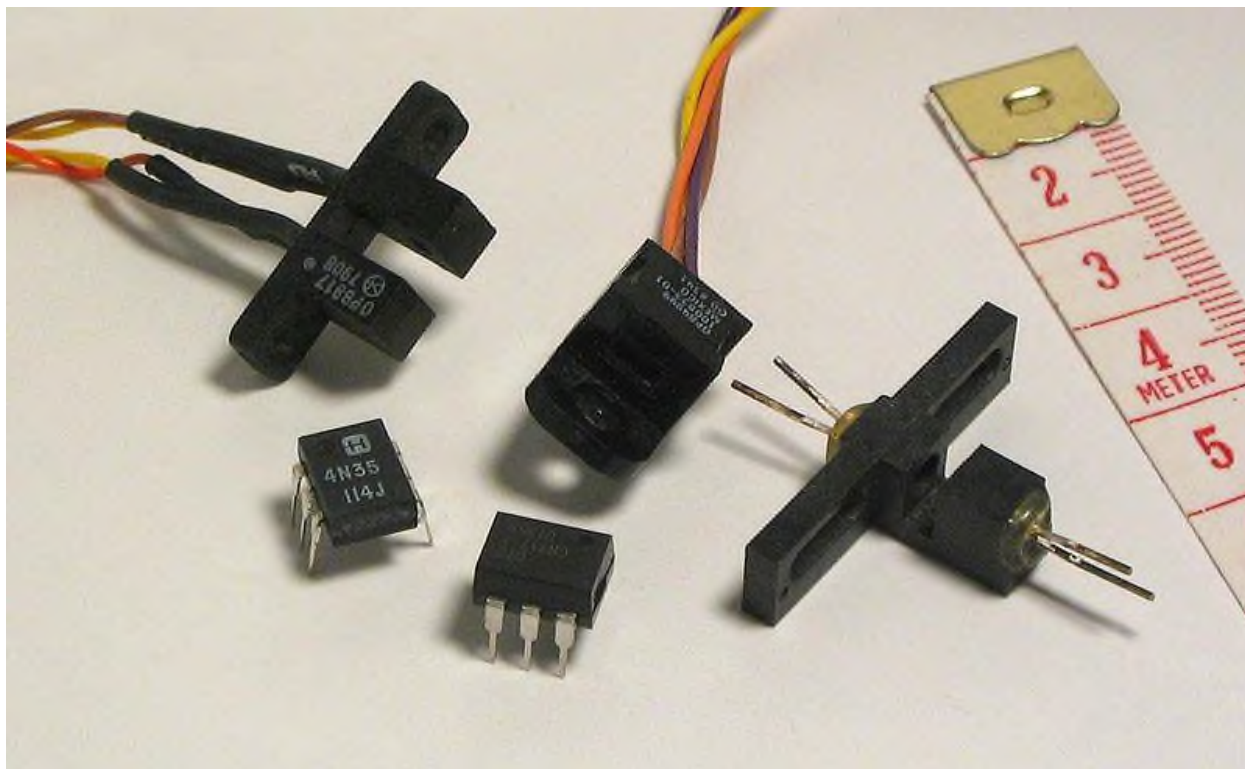
Схема и вольт-амперные характеристики фототранзистора.

Фототранзистор действует также как и остальные фотодетекторы, однако транзисторный эффект обеспечивает усиление фототока. По сравнению с фотодиодом фототранзистор более сложен в изготовлении и уступает ему в быстродействии (из-за большей площади).



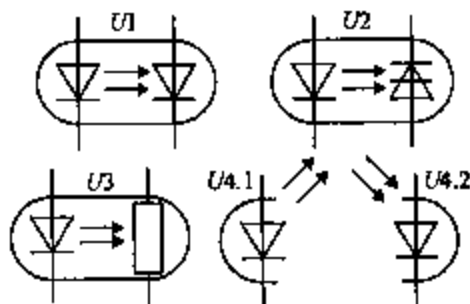
1.11. Оптроны, термисторы.

Оптрон.



1 – источник света; 2 – имперсионная среда; 3 – фотоприемник

Схема (а) и технологическое выполнение оптронной пары (б).



Обозначения оптронов на принципиальных схемах.

Оптопара (оптрон) — электронный прибор, состоящий из излучателя света (обычно — светодиод, в ранних изделиях — миниатюрная лампа накаливания) и фотоприёмника (биполярных и полевых фототранзисторов, фотодиодов, фототириستоров, фоторезисторов), связанных оптическим каналом и как правило объединённых в общем корпусе. Принцип работы оптрона заключается в преобразовании электрического сигнала в свет, его передаче по оптическому каналу и последующем преобразовании обратно в электрический сигнал.

Классификация.

По степени интеграции.

- оптопары (или элементарные оптроны) - состоящие из двух и более элементов (в т. ч. собранные в одном корпусе) .
- оптоэлектронные интегральные схемы, содержащие одну или несколько оптопар (с дополнительными компонентами, например, усилителями, или без них).

По типу оптического канала.

- с открытым оптическим каналом
- с закрытым оптическим каналом

По типу фотоприёмника.

- с фоторезистором (резисторные оптопары)
- с фотодиодом
- с биполярным (обычным или составным) фототранзистором
- с фотогальваническим генератором (солнечной батареей); такие оптроны обычно снабжаются обычным полевым транзистором, затвором которого управляет фотогальванический генератор.
- с фототиристором или фотосимистором.

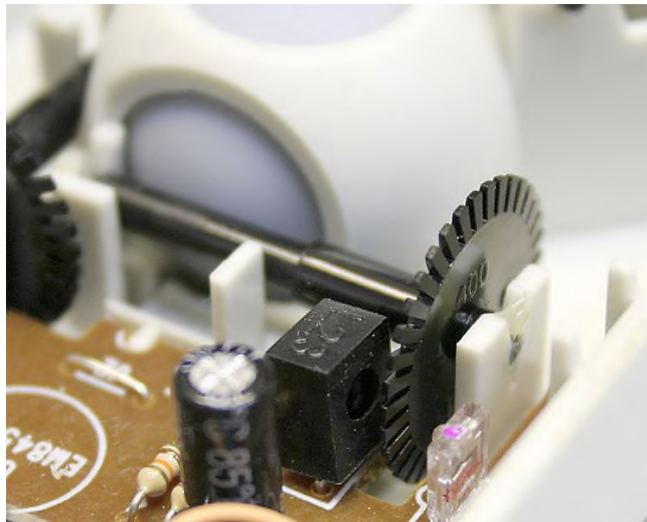
Оптроны с полевым транзистором или фотосимистором иногда именуют оптореле или твердотельным реле.

Тип фотоприёмника определяет линейность передаточной функции оптрона. Наиболее линейны и тем самым пригодны для работы в аналоговых устройствах резисторные оптроны, затем — оптроны с приёмным фотодиодом или одиночным биполярным транзистором. Оптоны с составными биполярными транзисторами или полевыми транзисторами используются в импульсных (ключевых, цифровых) устройствах, в которых линейность передачи не требуется. Оптоны с фототиристорами применяются для гальванической развязки схем управления от цепей управления.

Использование.

Механическое воздействие.

Оптроны с открытым оптическим каналом, доступным для механического воздействия (перекрытия) используются как датчики во всевозможных детекторах наличия (например, детектор бумаги в принтере), датчиках конца (или начала), счётчиках и дискретных спидометрах на их базе (например, координатные счётчики в механической мыши, анемометры).



Оптронный координатный счётчик в механической мыши

Гальваническая развязка.

Оптроны используются для гальванической развязки цепей — передачи сигнала без передачи напряжения, для бесконтактного управления и защиты. Некоторые стандартные электрические интерфейсы, например, MIDI, предписывают обязательную оптронную развязку.

Различают два основных типа оптронов, предназначенных для использования в цепях гальванической развязки: оптопары и оптореле. Основное отличие между ними в том, что оптопары, как правило, используются для передачи информации, а оптореле используется для коммутации сигнальных или силовых цепей.

Оптопары.

Транзисторные или интегральные оптопары применяются для гальванической развязки сигнальных цепей или цепей с малым током коммутации. В качестве коммутирующего элемента используются биполярные транзисторы.

Примеры применения оптопар.

- В телекоммуникационном оборудовании
- В цепях сопряжения с исполнительными устройствами
- В импульсных источниках питания.
- В высоковольтных цепях
- В системах управления двигателями
- В системах вентиляции и кондиционирования
- В системах освещения
- В электросчетчиках

Оптореле.

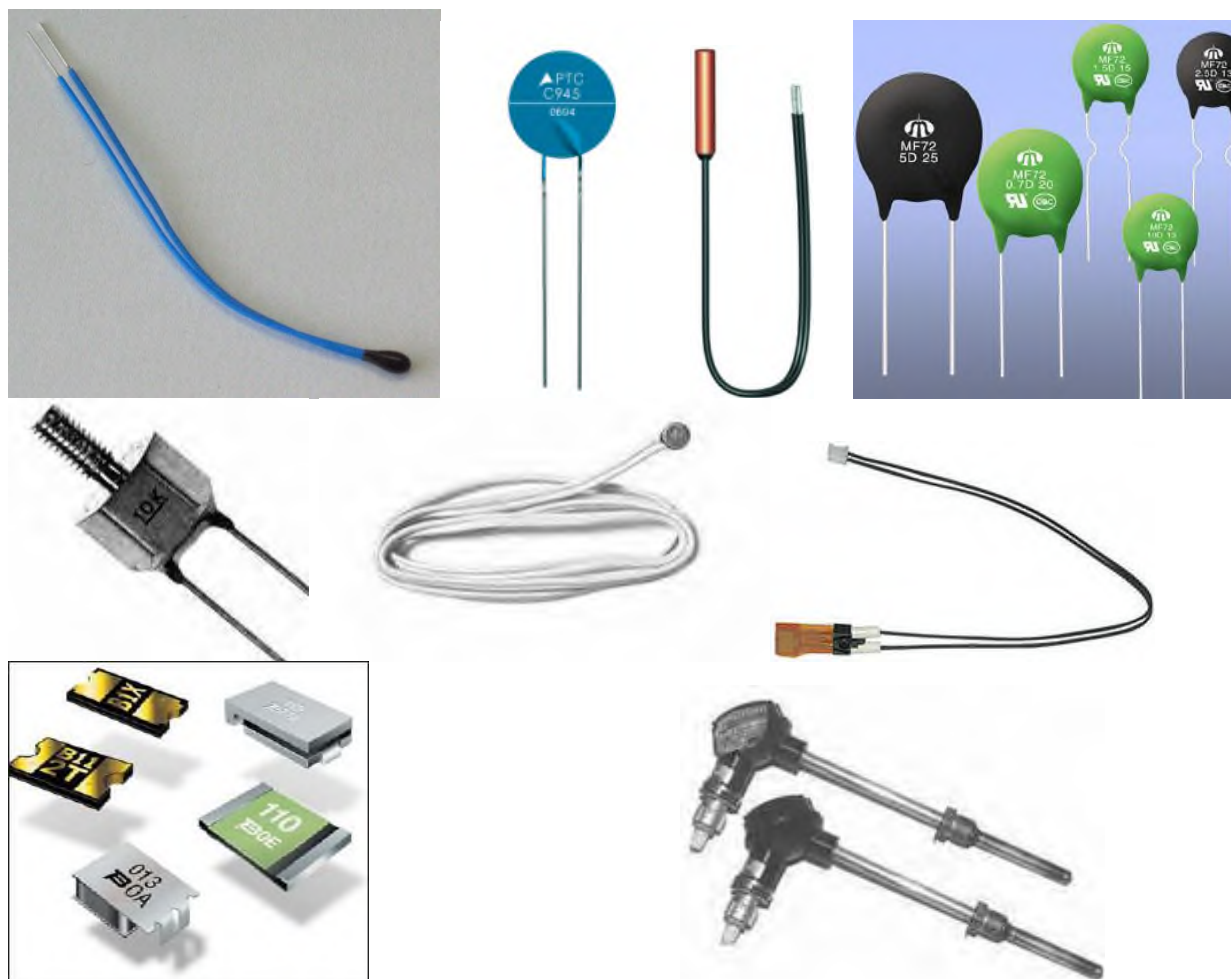
Оптореле (Твердотельные Реле) как правило применяются для коммутации цепей с большим током коммутации. В качестве коммутирующего элемента используется как правило пара встречно включенных MOSFET транзисторов, благодаря чему оптореле способно работать в цепях переменного тока.

Примеры применения оптореле.

- В модемах
- В измерительных устройствах.
- Для сопряжения с исполнительными устройствами
- В автоматических телефонных станциях
- Счетчики электричества, тепла, газа
- Коммутаторы сигналов
- Неэлектрическая передача

На принципе оптрона построены такие приспособления как: беспроводные пульты и оптические устройства ввода беспроводные (атмосферно-оптические) и волоконно-оптические устройства передачи аналоговых и цифровых сигналов Также используются в неразрушающем контроле как датчики аварийных ситуаций. GaP-диоды начинают излучать свет при воздействии на них радиации, а фотоприёмник фиксирует возникшее свечение и сообщает о тревоге.

Терморезистор.



Символ терморезистора, используемый в схемах

Терморезистор — полупроводниковый резистор, в котором используется зависимость электрического сопротивления полупроводникового материала от температуры.

Основными параметрами терморезистора являются: номинальное сопротивление, температурный коэффициент сопротивления, интервал рабочих температур, максимально допустимая мощность рассеяния.

Терморезистор был изобретён Самюэлем Рубеном (Samuel Ruben) в 1930 году.

Различают терморезисторы с отрицательным (термисторы) и положительным (позисторы) ТКС (температурный коэффициент сопротивления).. У позисторов с ростом температуры растёт и сопротивление, а у термисторов — наоборот: при увеличении температуры сопротивление падает.

Режим работы терморезисторов зависит от того, на каком участке статической вольт-амперной характеристики (ВАХ) выбрана рабочая точка. В свою очередь ВАХ зависит как от конструкции, размеров и основных параметров терморезистора, так и от температуры, теплопроводности окружающей среды, тепловой связи между терморезистором и средой. Терморезисторы с рабочей точкой на начальном (линейном) участке ВАХ используются для измерения и контроля температуры и компенсации температурных изменений параметров электрической цепей и электронных приборов. Терморезисторы с рабочей точкой на нисходящем участке ВАХ (с отрицательным сопротивлением) применяются в качестве пусковых реле, реле времени, измерителей мощности электромагнитного излучения на СВЧ, стабилизаторов температуры и напряжения. Режим работы терморезистора, при котором рабочая точка находится также на ниспадающем участке ВАХ (при этом используется зависимость сопротивления терморезистора от температуры и теплопроводности окружающей среды), характерен для терморезисторов, применяемых в системах теплового контроля и пожарной сигнализации, регулирования уровня жидких и сыпучих сред; действие таких терморезисторов основано на возникновении релейного эффекта в цепи с терморезистором при изменении температуры окружающей среды или условий теплообмена терморезистора со средой.

Изготавливаются также терморезисторы специальной конструкции — с косвенным подогревом. В таких терморезисторах имеется подогревная обмотка, изолированная от полупроводникового резистивного элемента (если при этом мощность, выделяющаяся в резистивном элементе, мала, то тепловой режим терморезистора определяется температурой подогревателя, то есть током в нём). Таким образом, появляется возможность изменять состояние терморезистора, не меняя ток через него. Такой терморезистор используется в качестве переменного резистора, управляемого электрически на расстоянии.

Из терморезисторов с положительным температурным коэффициентом наибольший интерес представляют терморезисторы, изготовленные из твёрдых растворов на основе BaTiO_3 . Такие терморезисторы обычно называют позисторами. Известны терморезисторы с небольшим положительным температурным коэффициентом ($0,5\text{--}0,7\text{ \%/K}$), выполненные на основе кремния с электронной проводимостью; их сопротивление изменяется с температурой примерно по линейному закону. Такие терморезисторы используются, например, для температурной стабилизации электронных устройств на транзистора

1.12. Тесты для самоконтроля по разделу 1.

1. Основными называют носители заряда
 - А) электроны
 - Б) дырки
 - В) концентрация которых больше
 - Г) концентрация которых меньше

2. Р-п переход обладает свойством
 - А) сверхпроводимости
 - Б) двухсторонней проводимости
 - В) односторонней проводимости
 - Г) не проводит электрический ток ни при каких условиях

3. Сколько электродов имеется у полупроводникового диода
 - А) один
 - Б) два
 - В) три
 - Г) четыре

4. Сколько электродов имеется у биполярного транзистора
 - А) один
 - Б) два
 - В) три
 - Г) четыре

5. Какого режима работы не существует у биполярного транзистора
 - А) активного
 - Б) пассивного
 - В) отсечки
 - Г) насыщения

6. Пробой р-п перехода это явление
 - А) резкого увеличения прямого тока
 - Б) резкого увеличения обратного тока
 - В) резкого увеличения прямого напряжения
 - Г) резкого увеличения обратного напряжения

7. Электрод, электрическим полем которого изменяют проводимость в канале полевого транзистора, называется

- А) стоком
- Б) затвором
- В) истоком
- Г) подложкой

8. Тиристор без управляющего электрода называется

- А) симистор
- Б) динистор
- В) тринистор
- Г) фототиристор

9. Тиристор с управляющим электродом называется

- А) симистор
- Б) динистор
- В) тринистор
- Г) фототиристор

10. Какой из видов пробоя приводит к необратимому разрушению р-п перехода

- А) туннельный
- Б) тепловой
- В) лавинный
- Г) световой

11. Сколько р-п переходов имеется у биполярного транзистора

- А) один
- Б) два
- В) три
- Г) четыре

12. Сколько р-п переходов имеется у полупроводникового диода
- А) один
 - Б) два
 - В) три
 - Г) четыре
13. Варикап – это полупроводниковый диод, действие которого основано на явлении
- А) туннельного пробоя в прямом направлении
 - Б) зависимости ёмкости р-п перехода от обратного напряжения
 - В) односторонней проводимости
 - Г) электрического пробоя р-п перехода
14. Сколько р-п переходов имеет тиристор
- А) один
 - Б) два
 - В) три
 - Г) четыре
15. Как называются электроды у биполярного транзистора (отметить лишнее)
- А) анод
 - Б) коллектор
 - В) база
 - Г) эмиттер
16. В полупроводниковой микросхеме
- А) все элементы и межэлементные соединения выполнены на одном полупроводниковом кристалле
 - Б) все элементы и межэлементные соединения выполнены в виде плёнок на поверхности пассивной подложки
 - В) кроме полупроводникового кристалла содержит несколько бескорпусных диодов, транзисторов и(или) других электронных компонентов, помещённых в один корпус.
 - Г) кроме полупроводникового кристалла содержит тонкоплёночные (толстоплёночные) пассивные элементы, размещённые на поверхности кристалла.

17. Классификация микросхем по виду обрабатываемого сигнала (отметить лишнее).
- А) аналоговые
 - Б) цифровые
 - В) аналого-цифровые
 - Г) трёхфазные
18. Фоторезисторами называют полупроводниковые приборы, проводимость которых меняется под действием
- А) температуры
 - Б) света
 - В) механических воздействий
 - Г) электромагнитного поля
19. По типу оптического канала оптопары бывают (отметить лишнее)
- А) с открытым оптическим каналом
 - Б) с закрытым оптическим каналом
 - В) со смешанным оптическим каналом
20. Терморезистор это
- А) полупроводниковый резистор, в котором используется зависимость электрического сопротивления полупроводникового материала от температуры
 - Б) полупроводниковый резистор, в котором используется зависимость электрического сопротивления полупроводникового материала от света
 - В) полупроводниковый резистор, в котором используется зависимость электрического сопротивления полупроводникового материала от электромагнитного поля
 - Г) полупроводниковый резистор, в котором используется зависимость электрического сопротивления полупроводникового материала от радиационного излучения

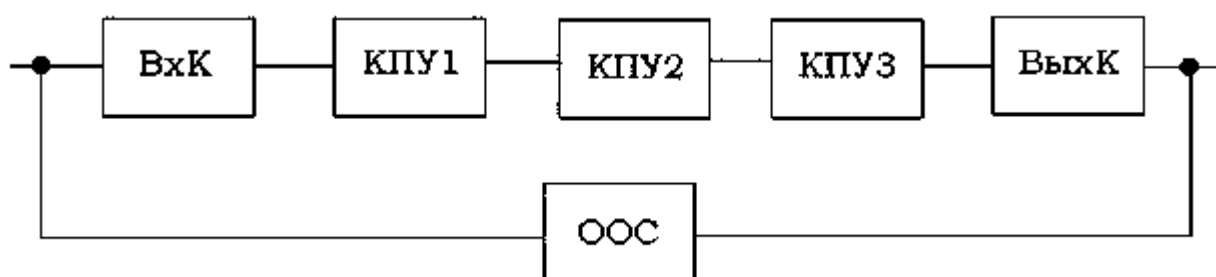
2. Электронные усилители и генераторы.

2.1. Электронные усилители.

Электронный усилитель - схема, которая увеличивает энергию входного сигнала за счёт энергии источника питания.

Усилитель представляет собой в общем случае последовательность каскадов усиления (бывают и однокаскадные усилители), соединённых между собой прямыми связями

В большинстве усилителей присутствуют обратные связи (межкаскадные и внутрикаскадные). Отрицательные обратные связи позволяют улучшить стабильность работы усилителя и уменьшить частотные и нелинейные искажения сигнала.



Пример структурной схемы усилителя.

- ВхК - входной каскад для увеличения входного сопротивления усилителя
- КПУ1 - первый каскад предварительного усиления
- КПУ2 - второй каскад предварительного усиления
- КПУ3 - третий каскад предварительного усиления
- ВыхК - выходной каскад обеспечивает усиление мощности сигнала в нагрузку
- ООС - отрицательная обратная связь для уменьшения нелинейных искажений

История создания усилителей.

1904 год — Ли де Форест на основе созданной им электронной лампы — триода разработал устройство усиления электрических сигналов (усилитель).

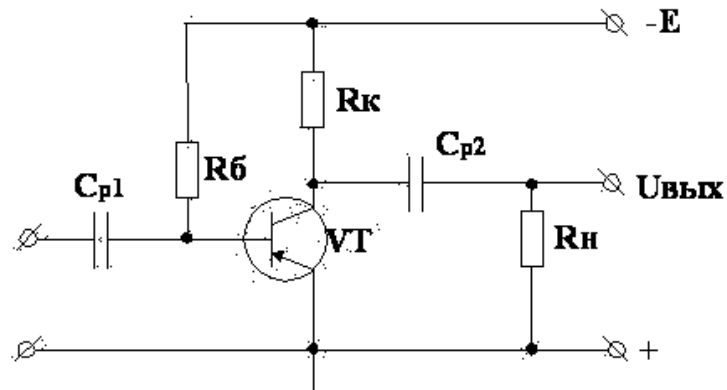
1932 год — Гарри Найквист определил условия устойчивости (способности работать без самовозбуждения) усилителей, охваченных отрицательной обратной связью.

1942 год — в США построен первый операционный усилитель — усилитель постоянного тока с симметричным (дифференциальным) входом и значительным собственным коэффициентом усиления (более 1000) как самостоятельное изделие. Его назначение - использование в аналоговых вычислительных устройствах для выполнения математических операций над электрическими сигналами.

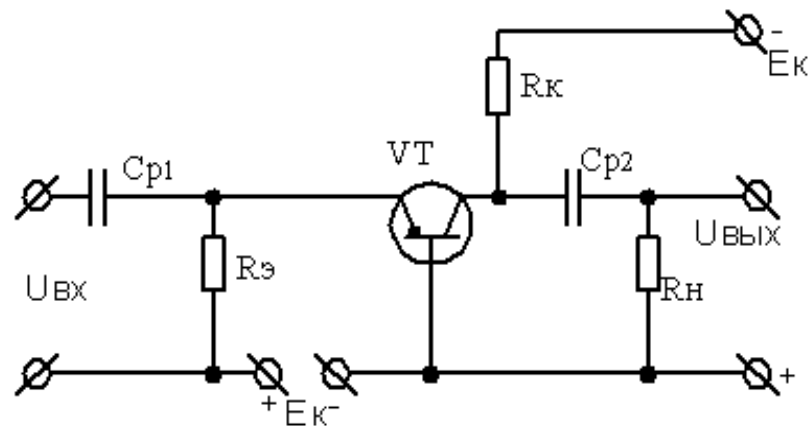
Каскады усиления.

Каскад усиления — ступень усилителя, содержащая один или несколько усилительных элементов, цепи нагрузки и связи с предыдущими или последующими ступенями.

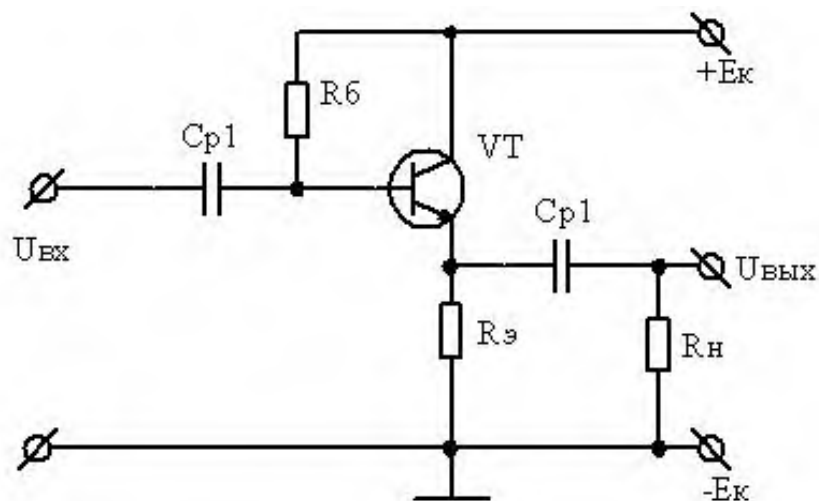
Каскад с общим эмиттером (исток, катод) позволяет усиливать сигнал по току и напряжению одновременно, сдвигает фазу на 180° , то есть является инвертирующим.



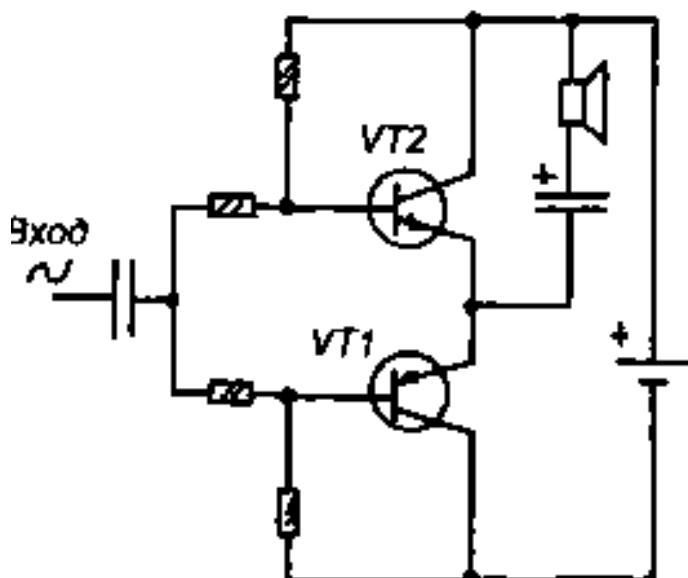
Каскад с общей базой (затвором, сеткой) — усиливает только по напряжению, применяется редко, является наиболее высокочастотным, фазу не сдвигает.



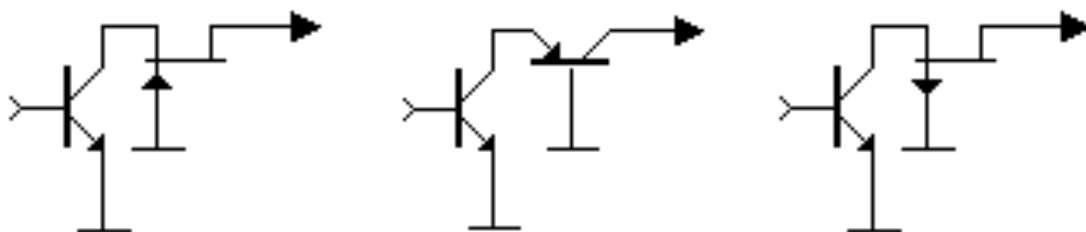
Каскад с общим коллектором (стоком, анодом), или повторитель (эмиттерный, истоковый, катодный), усиливает ток, оставляя напряжение сигнала равным исходному. Применяется в качестве буферного усилителя. Важными свойствами повторителя являются его высокое входное и низкое выходное сопротивления, фазу не сдвигает.



Каскад с распределенной нагрузкой — каскад, занимающий промежуточное положение между схемой включения с общим эмиттером и общим коллектором. Как вариант каскада с распределенной нагрузкой, выходной каскад усилителя мощности «двухподвес».



Каскодный усилитель — усилитель, содержащий два активных элемента, первый из которых включен по схеме с общим эмиттером (исток, катодом), а второй — по схеме с общей базой (затвором, сеткой). Каскодный усилитель обладает повышенной стабильностью работы и малой входной ёмкостью. Название усилителя произошло от словосочетания «КАСКаД через катОД».



Каскады усиления могут быть одноктактными и двухтактными.

Одноктактный усилитель — усилитель, в котором входной сигнал поступает во входную цепь одного усилительного элемента.

Двухтактный усилитель — усилитель, в котором входной сигнал поступает одновременно во входные цепи двух усилительных элементов, соединённых параллельно, со сдвигом по фазе на 180° .

Классификация

1. Аналоговые усилители и цифровые усилители

1.1. В аналоговых усилителях аналоговый входной сигнал без цифрового преобразования усиливается аналоговыми усилительными каскадами.

1.2. В цифровых усилителях, после аналогового усиления входного аналогового сигнала аналоговыми усилительными каскадами до величины достаточной для аналого-цифрового преобразования аналого-цифровым преобразователем (АЦП) происходит аналого-цифровое преобразование аналоговой величины (напряжения) в цифровую величину — число (код).

2. Виды усилителей по элементной базе

2.1 Ламповый усилитель — усилитель, усилительными элементами которого служат электронные лампы



2.2 Полупроводниковый усилитель — усилитель, усилительными элементами которого служат полупроводниковые приборы (транзисторы, микросхемы и др.)



2.3 Гибридный усилитель — усилитель, часть каскадов которого собрана на лампах, часть — на полупроводниках

2.4 Квантовый усилитель — устройство для усиления электромагнитных волн за счёт вынужденного излучения возбуждённых атомов, молекул или ионов.

3. Виды усилителей по диапазону частот

3.1 Усилитель постоянного тока (УПТ) — усилитель медленно меняющихся входных напряжений или токов, нижняя граничная частота которых равна нулю.

3.2 Усилитель низкой частоты (УНЧ, усилитель звуковой частоты, УЗЧ) — усилитель, предназначенный для работы в области звукового диапазона частот (иногда также и нижней части ультразвукового, до 200 кГц).

3.3 Усилитель высокой частоты (УВЧ, усилитель радиочастоты, УРЧ) — усилитель сигналов на частотах радиодиапазона.

3.4 Импульсный усилитель — усилитель, предназначенный для усиления импульсов тока или напряжения с минимальными искажениями их формы.

4. Виды усилителей по полосе частот

4.1 Широкополосный (апериодический) усилитель — усилитель, дающий одинаковое усиление в широком диапазоне частот

4.2 Полосовой усилитель — усилитель, работающий при фиксированной средней частоте спектра сигнала и приблизительно одинаково усиливающий сигнал в заданной полосе частот

4.3 Селективный усилитель — усилитель, у которого коэффициент усиления максимален в узком диапазоне частот и минимален за его пределами

5. Некоторые специальные виды усилителей

5.1 Дифференциальный усилитель — усилитель, выходной сигнал которого пропорционален разности двух входных сигналов, имеет два входа и, как правило, симметричный выход.

5.2 Операционный усилитель — многокаскадный усилитель постоянного тока с большими коэффициентом усиления и входным сопротивлением, дифференциальным входом и несимметричным выходом с малым выходным сопротивлением, предназначенный для работы в устройствах с глубокой отрицательной обратной связью.

5.3 Логарифмический усилитель — усилитель, выходной сигнал которого приблизительно пропорционален логарифму входного сигнала

5.4 Интегрирующий усилитель — усилитель, сигнал на выходе которого пропорционален интегралу от входного сигнала

5.5 Инвертирующий усилитель — усилитель, изменяющий фазу гармонического сигнала на 180° или полярность импульсного сигнала на противоположную (инвертор)

5.6 Парафазный (фазиинверсный) усилитель — усилитель, применяемый для формирования двух противофазных напряжений

6. Некоторые функциональные виды усилителей

6.1 Предварительный усилитель (предусилитель) — усилитель, предназначенный для усиления сигнала до величины, необходимой для нормальной работы окончного усилителя.

6.2 Оконечный усилитель (усилитель мощности) — усилитель, обеспечивающий при определённой внешней нагрузке усиление мощности электромагнитных колебаний до заданного значения.

6.3 Усилитель промежуточной частоты (УПЧ) — узкополосный усилитель сигнала определённой частоты (456 кГц, 465 кГц, 4 МГц, 5,5 МГц, 6,5 МГц, 10,7 МГц и др.), поступающего с преобразователя частоты радиоприёмника.

6.4 Резонансный усилитель — усилитель сигналов с узким спектром частот, лежащих в полосе пропускания резонансной цепи, являющейся его нагрузкой.

6.5 Видеоусилитель — импульсный усилитель, предназначенный для усиления видеопульсов сложной формы, широкого спектрального состава.

6.6 Усилитель магнитной записи — усилитель, нагруженный на записывающую магнитную головку.

6.7 Микрофонный усилитель — усилитель электрических сигналов звуковых частот, поступающих с микрофона, до значения, при котором их можно обрабатывать и регулировать.

6.8 Антенные усилители — предназначены для измерений слабых сигналов с антенны перед подачей их на вход радиоприёмника.

.

Каскад предназначен для усиления только переменных сигналов. К входной цепи усилительного каскада относятся все элементы, подсоединяемые между базой и эмиттером транзистора, а также источник входного сигнала U_{BX} . Выходная цепь каскада включает источник питания U_n , управляемый элемент-транзистор VT и резистор R_n . Эти элементы образуют главную цепь усилительного каскада, в которой за счет протекающего коллекторного тока I_k , управляемого током базы I_B , создается усиленное переменное напряжение на выходе схемы $U_{вых}$.

Конденсаторы $C1$ и $C2$ являются разделительными. $C1$ исключает шунтирование входной цепи каскада цепью источника входного сигнала по постоянному току, т.е. позволяет исключить протекание постоянного тока через источник входного сигнала по цепи $+ U_n, R1, U_{вн}$ (внутреннее сопротивление источника на рисунке не показано) и обеспечить независимость напряжения на базе в режиме покоя (неизменяемое $U_{вх}$). Назначение конденсатора $C2$ - пропускать в цепь нагрузки только переменную составляющую напряжения.

Резисторы $R1$ и $R2$ используются для задания режима покоя каскада.

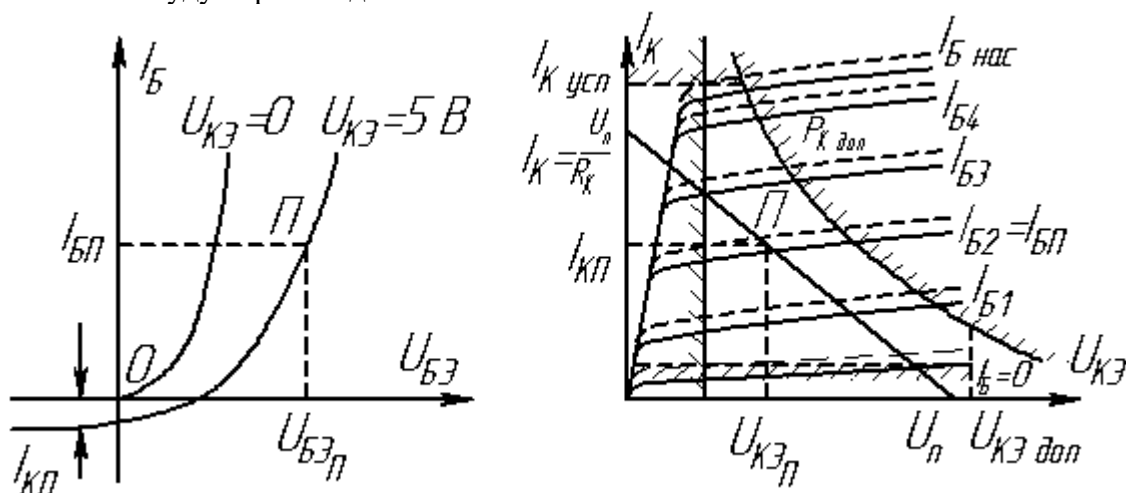
Резистор $RЭ$ является элементом отрицательной обратной связи, предназначенным для стабилизации режима покоя каскада при изменениях температуры.

Конденсатор $CЭ$ шунтирует резистор $RЭ$ по переменному току, исключая тем самым проявление отрицательной обратной связи в каскаде по переменным составляющим.

Рассмотрим работу каскада в режиме усиления, когда на вход каскада подается изменяющееся входное напряжение, например, по синусоидальному закону:

$$u_{вх} = U_{вх} \cdot \sin \omega t \quad (1)$$

При этом начинают изменяться напряжение $U_{БЭ}$ и ток I_B в некоторых пределах, определяемых амплитудой $U_{вх}$ и видом входной характеристики транзистора. Причем эти изменения будут происходить относительно точки покоя Π .



В соответствии с выходными характеристиками транзистора будет изменяться и ток коллектора I_k , мгновенные значения которого определяются напряжениями.

Составляем уравнение по 2-му закону Кирхгофа для режима покоя, т.е. для постоянных составляющих токов и напряжений:

$$I_{кп} \cdot R_k + U_{кэп} + U_{Rэп} + U_{п} = 0 \quad (2)$$

Величина $U_{Rэп}$ незначительна, поэтому

$$I_{кп} \cdot R_k + U_{кэп} = U_{п} \quad (3)$$

Выражение (3) является уравнением прямой линии в координатах I_k и $U_{кэ}$. Линия, построенная по этому уравнению в координатах I_k и $U_{кэ}$, называется линией нагрузки каскада по постоянному току. Точка пересечения этой линии с характеристикой, соответствующей $I_{бп}$, т.е. точка П, определяет режим работы каскада по постоянному току.

В режиме усиления, когда $u_{вх} = U_{вх} \sin \omega t$, рабочая точка перемещается вдоль линии нагрузки относительно точки П, определяя тем самым переменные составляющие тока коллектора I_k и напряжения $U_{кэ}$. Вследствие наличия разделительного конденсатора С2 на выходных зажимах каскада выделяется только переменная составляющая напряжения $U_{кэ}$, которая и является выходным напряжением каскада.

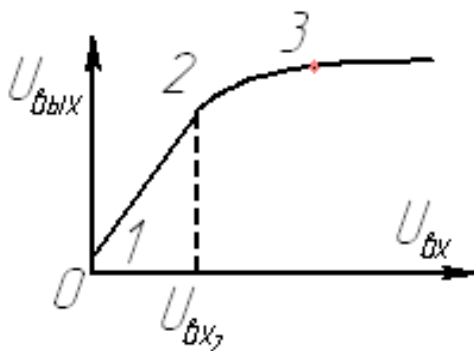
Графический анализ показывает, что выходное напряжение $U_{вых}$ и входное $U_{вх}$ находятся в противофазе, т.е. одиночный усилительный каскад на транзисторе, включенный по схеме с ОЭ, сдвигает фазу выходного напряжения по отношению к входному на 180° .

Основным параметром любого усилителя является его коэффициент усиления - это величина, равная отношению выходного сигнала к входному. В зависимости от назначения усилителя различают коэффициенты усиления по напряжению, току и мощности.

$$K_U = U_{вых} / U_{вх}; K_I = I_{вых} / I_{вх}; K_P = P_{вых} / P_{вх}. \quad (4)$$

Основными характеристиками усилительного каскада являются амплитудная и амплитудно-частотная (АЧХ).

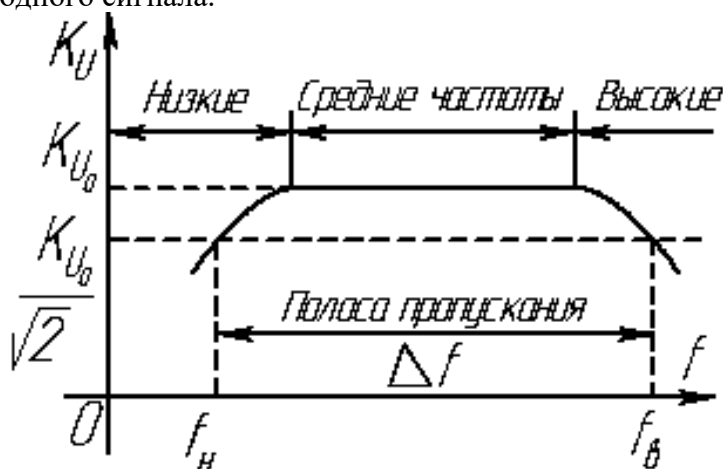
Амплитудная характеристика определяет зависимость амплитуды или действующего значения при синусоидальном входном сигнале выходного напряжения от амплитуды или действующего значения входного напряжения при постоянной частоте входного сигнала.



Линейная зависимость между $U_{вых}$ и $U_{вх}$ (участок 1-2) сохраняется до тех пор, пока смещение рабочей точки на входной характеристике транзистора относительно точки покоя Π осуществляется по ее линейному участку (в окрестности точки Π на рис. 2). При $U_{вх} > U_{вх2}$ линейность амплитудной характеристики нарушается из-за нелинейности вольтамперных характеристик транзистора.

Это приводит к появлению искажений формы выходного сигнала относительно формы входного, т.е. так называемых, нелинейных искажений. Нелинейные искажения могут возникнуть при любой форме входного сигнала. Они зависят от амплитуды входного сигнала, положения точки покоя на входных и выходных характеристиках транзистора, а также от вида этих характеристик.

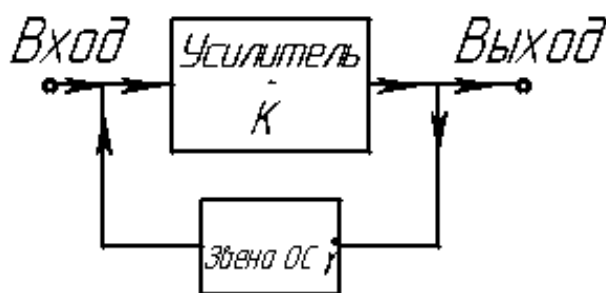
Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) усилителя представляет собой зависимость коэффициента усиления K от частоты усиливаемого сигнала при постоянстве значения входного сигнала.



АЧХ позволяет судить о частотных искажениях, называемых линейными. Такие искажения возникают, если входной сигнал имеет сложную форму и его можно представить как сумму гармонических составляющих с различными частотами и амплитудами, которые усиливаются неодинаково, т.е. с различными коэффициентами усиления.

Диапазон частот усилителя, в пределах которого усилитель обеспечивает заданное значение коэффициента усиления, называют полосой пропускания, которая определяет нижнюю f_H и верхнюю f_B граничные частоты усиления при заданном уровне частотных (линейных) искажений.

Обратной связью называют передачу мощности электрического сигнала из выходной цепи во входную.



Существуют обратные связи по напряжению и по току. Воздействие ОС может привести либо к увеличению, либо к уменьшению результирующего сигнала непосредственно на входе усилителя. В первом случае ОС называют положительной, во втором - отрицательной (сигналы на входе усилителя либо складываются, либо вычитаются). В усилителях в основном используется отрицательная обратная связь (ООС), введение которой позволяет улучшить почти все характеристики усилителей.

Коэффициент усиления усилителя с ОС: $K_{ос} = K / (1 + \gamma \cdot K)$, где K коэффициент усиления усилителя без ОС, γ коэффициент передачи звена ОС.

Введение ООС приводит к уменьшению результирующего коэффициента усиления, но ООС расширяет полосу пропускания и линейный участок амплитудной характеристики, что приводит к уменьшению искажений как линейных, так и нелинейных.

В исследуемом усилительном каскаде применена ООС по току эмиттера, а резистор $R_э$ является элементом цепи обратной связи, которая необходима для стабилизации положения точки покоя при возможных изменениях температуры транзистора.

2.3. Усилители напряжения, мощности и тока. Операционные усилители.

Операционные усилители.

Операционный усилитель – электронная схема усилителя на полупроводниках, в интегральном исполнении имеющего два балансных входа – прямой и инверсный, обладающий высоким коэффициентом усиления. Интегральное исполнение подразумевает законченную конструкцию усилителя, размещённую в одном корпусе интегральной микросхемы (ИМС).



История создания ОУ.

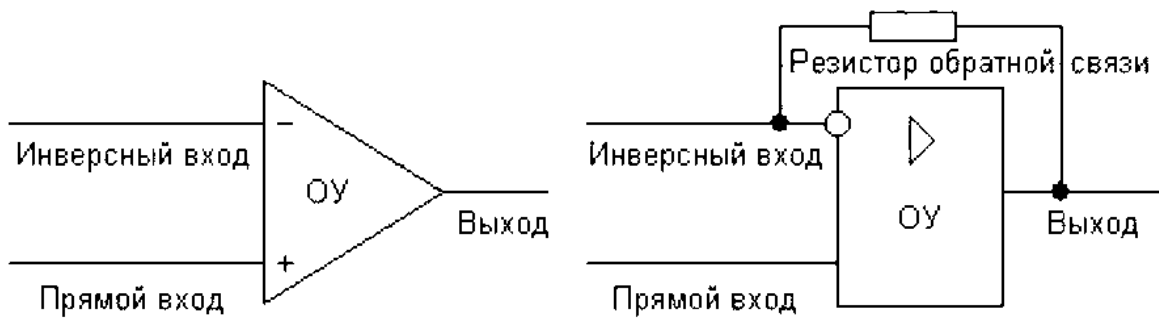
Первые промышленные ламповые ОУ (1940-е гг.) выполнялись на паре двойных триодов.

В 1963 Роберт Видлар, инженер Fairchild Semiconductor, спроектировал первый интегральный ОУ — $\mu A702$. При цене в 300 долларов прибор, содержащий 9 транзисторов использовался только в военных применениях.

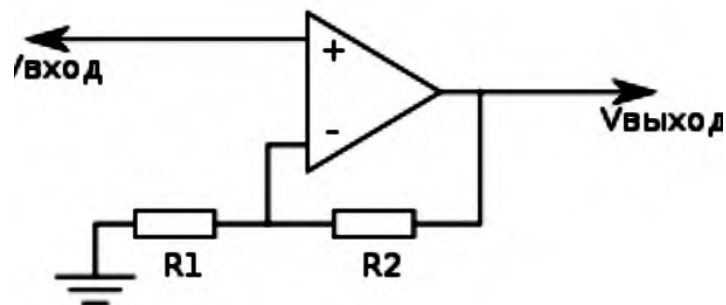
Первый доступный интегральный ОУ, $\mu A709$, также спроектированный Видларом, был выпущен в 1965; вскоре после выпуска его цена упала ниже 10 долларов.

В 1967 National Semiconductor, куда перешёл работать Видлар, выпустила LM101, а в 1968 Fairchild выпустило практически идентичный $\mu A741$ — первый ОУ со встроенной частотной коррекцией. ОУ LM101/ $\mu A741$ был более стабилен и прост в использовании, чем предшественники.

Обозначение на принципиальных схемах



Простейший неинвертирующий усилитель на ОУ.



Классификация ОУ

Индустриальный стандарт. Дешевые ОУ общего применения со средними характеристиками.

Прецизионные ОУ имеют очень малые напряжения смещения, применяются в точных измерительных схемах.

С малым входным током (электрометрические) ОУ. Все ОУ, имеющие полевые транзисторы на входе, обладают малым входным током.

Микромощные и программируемые ОУ потребляют малый ток на собственное питание. Программируемыми называются ОУ, для которых все внутренние токи покоя можно задать с помощью внешнего тока, подаваемого на специальный вывод ОУ.

Мощные (сильноточные) ОУ могут отдавать большой ток в нагрузку, то есть допустимое сопротивление нагрузки меньше стандартных 2 кОм, и может составлять до 50 Ом.

Низковольтные ОУ работоспособны при напряжении питания 3 В и даже ниже.

Высоковольтные ОУ. Все напряжения для них значительно больше, чем для ОУ широкого применения.

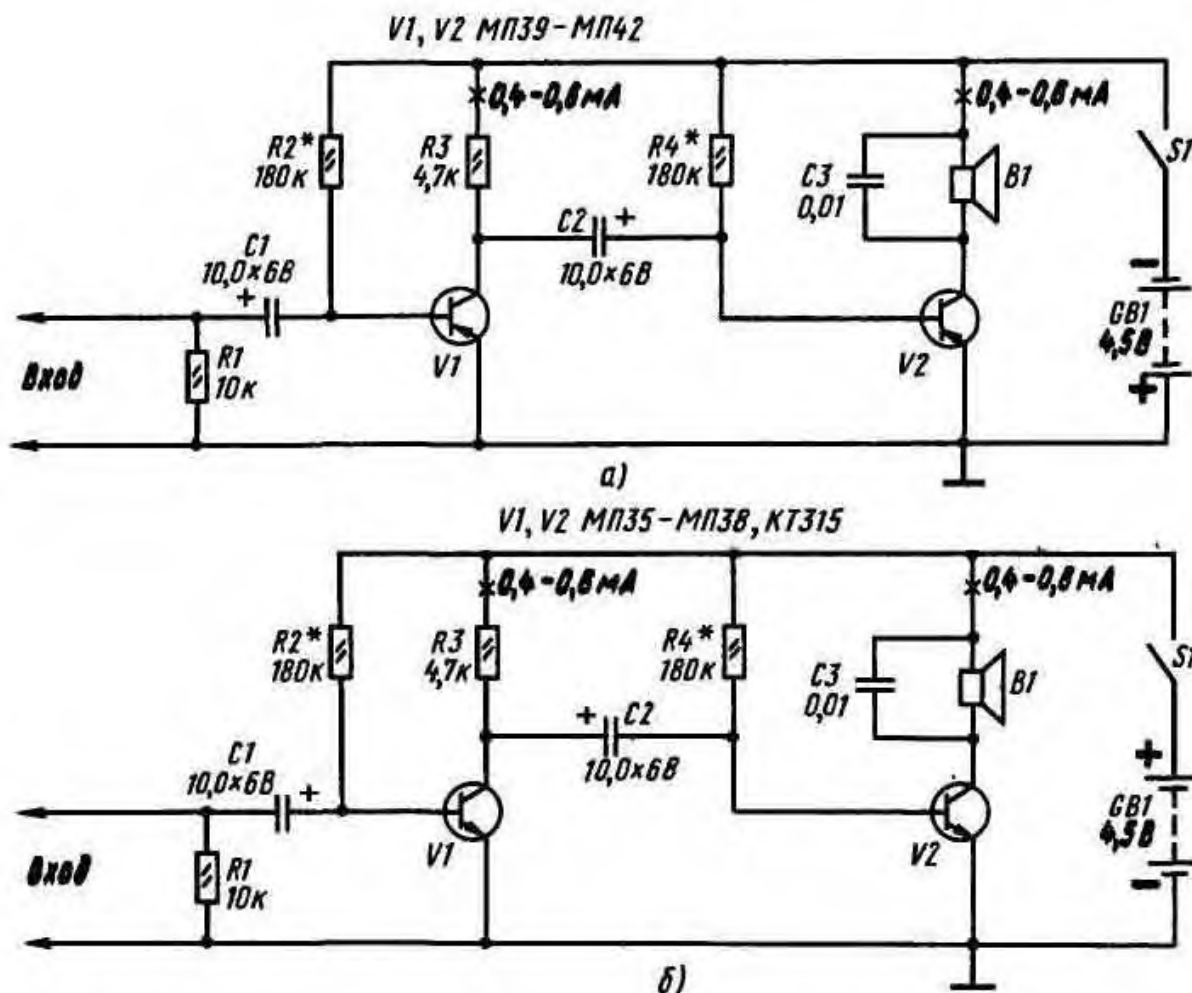
Быстродействующие ОУ имеют высокую скорость нарастания и частоту единичного усиления.

Малошумящие ОУ.

Звуковые ОУ. Имеют минимально возможный коэффициент гармоник (THD).

Специализированные ОУ. Обычно разработаны для конкретных задач (подключение фотодатчика, магнитной головки, и др.). Могут содержать в себе готовые цепи ООС или отдельные необходимые для этого прецизионные резисторы.

Простые, двухкаскадные усилители (предварительные усилители).



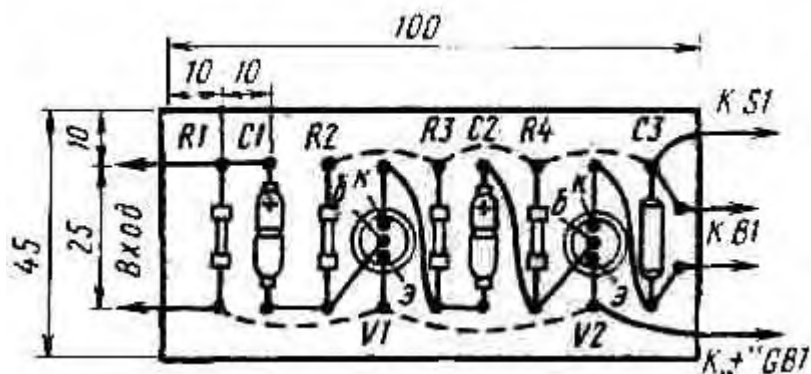
Резистор R1 - нагрузка источника звуковой частоты; C3 - конденсатор, блокирующий головку B1 громкоговорителя по высшим звуковым частотам; S1 - выключатель питания. В усилителе на (рис. а) работают транзисторы структуры р - п - р, в усилителе на (рис. б) - структуры п - р - п. Поэтому полярность включения питающих их батарей разная: на коллекторы транзисторов первого варианта усилителя подается отрицательное, а на коллекторы транзисторов второго варианта - положительное напряжение.

Роль нагрузки B1 выходного каскада могут выполнять головные телефоны. Для питания усилителя используйте батарею 3336Л (квадратная батарейка).

Сначала на макетной плате смонтируйте детали только первого каскада и конденсатор C2. Между правым (по схеме) выводом этого конденсатора и заземленным проводником источника питания включите головные телефоны. Если теперь вход усилителя соединить с источником слабого сигнала, в телефонах появится звук. Подбирая сопротивление резистора R2, добейтесь наибольшей громкости. При этом миллиамперметр, включенный в коллекторную цепь транзистора, должен показывать ток, равный 0,4 - 0,6 мА.

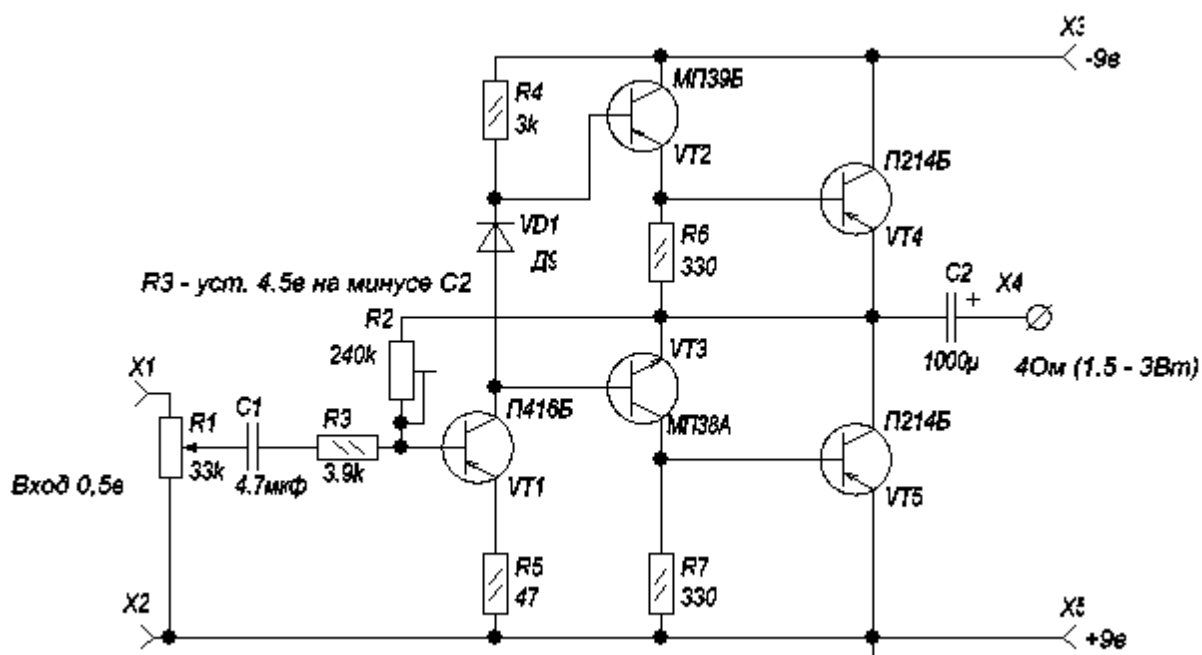
Затем смонтируйте детали выходного каскада усилителя, телефоны включите в коллекторную цепь его транзистора. Телефоны должны звучать громче. Еще громче, возможно, они будут звучать после того, как подбором резистора R4 будет установлен коллекторный ток транзистора 0,4 - 0,6 мА.

Можно, поступить иначе: смонтировать все детали усилителя, подбором резисторов R2 и R4 установить рекомендуемые режимы транзисторов (по токам коллекторных цепей или напряжениям на коллекторах транзисторов) и только после этого проверять его работу на звуковоспроизведение. Такой путь более техничный. А для более сложного усилителя он единственно правильный.



Монтажная плата двухкаскадного усилителя НЧ.

Простой двухтактный усилитель мощностью 1.5 Вт.



Высокочастотный транзистор П416 применен здесь из соображения как можно больше снизить шумы входного каскада, потому как помимо того что он высокочастотный, он еще и малошумящий. Практически его можно заменить на МП39 - 42, с ухудшением шумовых характеристик соответственно или на кремниевые транзисторы КТ361 или КТ3107 с любой буквой.. Для предотвращения искажений типа "ступенька", между базами VT2, VT3, фазоинверсного каскада включен диод VD1 - Д9 благодаря чему на базах транзисторов образуется напряжение смещения. Напряжение в средней точке (минусовой

вывод конденсатора C2) будет равно 4,5в. Его устанавливают подбором резисторов R2, R4.

Оптимальные полупроводниковые приборы для схемы:

VT1 П416Б

VT2 МП39Б

VT3 МП38А

VT4; VT5 П214Б

VD1 Д9

2.4. Электронные генераторы.

Генератор – это самовозбуждающаяся система, в которой энергия источника питания постоянного тока преобразуется в энергию переменного сигнала нужной формы и частоты.

Классификация электронных генераторов.

1. По частоте.

- низкочастотные (НЧ) – до 100 кГц
- высокочастотные (ВЧ) – от 0,1 до 100 МГц
- сверхвысокочастотные (СВЧ) – выше 100 МГц

2. По форме колебаний.

- гармонические (синусоидальные)
- негармонические (импульсные).

3. По способу возбуждения.

- с внешним возбуждением (являются усилителями мощности высокой частоты, работающими на резонансную нагрузку)
- с самовозбуждением (автогенераторы).

Автоколебания.

Если к цепи из параллельно соединенных конденсатора и катушки индуктивности, кратковременно подключить источник постоянного тока (рис. 1), то конденсатор зарядится и затем начнет разряжаться через катушку. Катушка в этот момент будет накапливать энергию.

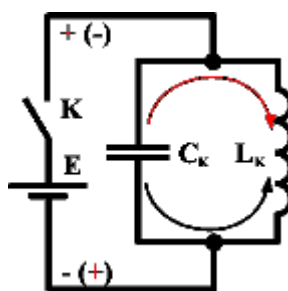


Рис. 1 Создание колебаний в контуре.

Затем процесс пойдет в обратном порядке, т.е. накопленная в катушке энергия будет заряжать конденсатор и т.д. В этой цепи, называемой **параллельный колебательный контур**, будут происходить колебания. В идеальном контуре колебания незатухающие, т.е. будут продолжаться бесконечно. Но катушка имеет сопротивление, а конденсатор не

идеален. В контуре будут потери энергии, и колебания будут постепенно затухать. На рис. 2 показаны колебания в реальном контуре.

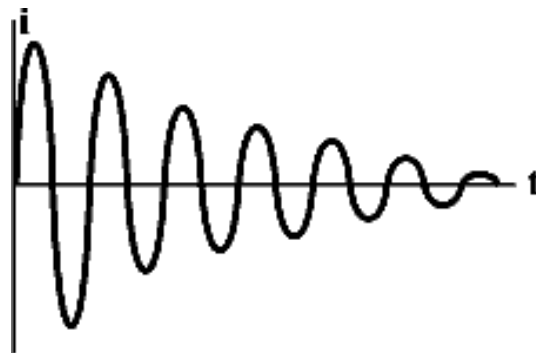


Рис. 2 Затухающие колебания в контуре.

Чтобы колебания были незатухающими, в контур надо добавлять потерянную энергию. Необходимо электронное устройство, которое будет пополнять потери энергии в контуре.

Упрощенная структура автогенератора.

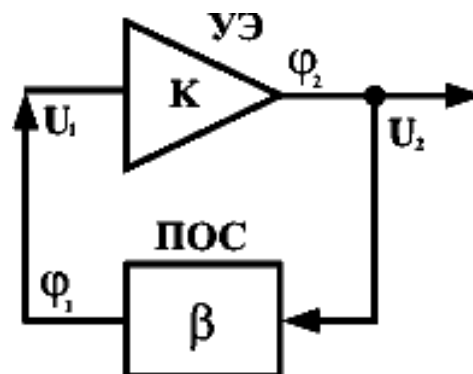


Рис. 3 Структура автогенератора

УЭ – усилительный элемент с коэффициентом передачи K ,

ПОС – положительная обратная связь с LC или RC цепью с коэффициентом передачи β .

Колебания в этой системе возникнут только при соблюдении двух условий.

Условие баланса амплитуд: $\beta \cdot K \geq 1$

Условие баланса фаз: $\varphi_1 + \varphi_2 = 2\pi n$,
где $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

RC-генераторы.

RC-генератором называют генератор гармонических колебаний, в котором применяется резистивно-емкостная цепь (RC-цепь), обладающая частотной избирательностью.

RC-генератор включает в себя широкополосный усилитель и RC-цепь обратной связи, определяющую частоту колебаний. Усилитель компенсирует потери энергии в пассивных элементах и обеспечивает выполнение амплитудного условия самовозбуждения. Цепь обратной связи обеспечивает выполнение фазового условия самовозбуждения только на одной частоте.

По виду цепи обратной связи RC-генераторы делятся на две группы:

- 1) с нулевым фазовым сдвигом в цепи обратной связи;
- 2) со сдвигом фазы в цепи обратной связи на 180° .

Автогенератор со сдвигом фазы на 180° в цепи обратной связи (автогенератор с трехзвенной цепью RC).

Здесь используются усилители, инвертирующие фазу входного напряжения. Например, операционный усилитель с инвертирующим входом, однокаскадный усилитель или многокаскадный усилитель с нечетным числом инвертирующих каскадов.

Фазочастотные характеристики простейших RC-звеньев (рис.4).

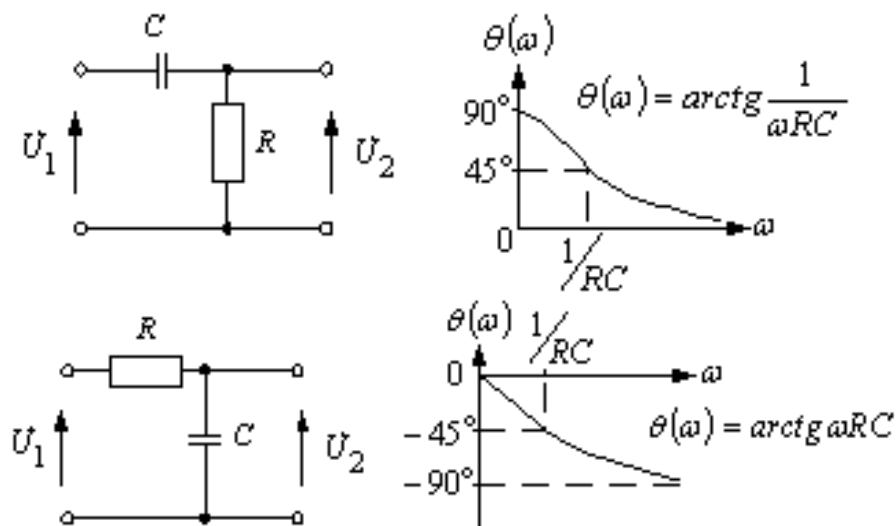


Рис. 4 Вариант RC-звена и его ФЧХ

Одно простое RC-звено вносит сдвиг фаз, не превышающий 90° . Поэтому сдвиг 180° можно осуществить путем каскадного соединения трех элементарных RC-звеньев (рис.5).

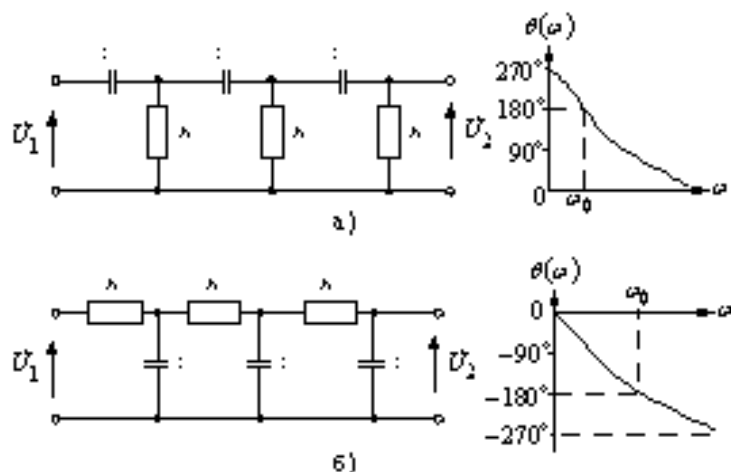


Рис. 5 Схемы и ФЧХ трехзвенных RC-цепей

Один из вариантов генератора с трехзвенной цепью RC показан на рисунке 6.

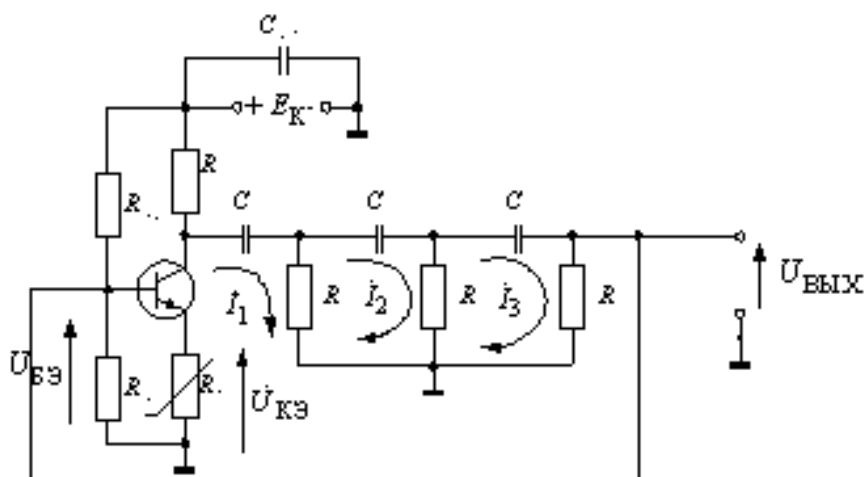


Рис. 6 Генератор с трехзвенной цепью RC

Генератор состоит из резистивного усилителя на транзисторе и цепи обратной связи. Усилитель с общим эмиттером осуществляет сдвиг фазы между напряжением на коллекторе и базе $jK = 180^\circ$. Для выполнения баланса фаз цепь обратной связи должна обеспечивать на частоте генерируемых колебаний $jOC = 180^\circ$.

Генерация возможна на частоте

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{6}RC}.$$

На этой частоте модуль коэффициента обратной связи

$$\beta = \frac{1}{29}.$$

Поэтому, для возбуждения автоколебаний коэффициент усилителя должен быть больше 29. Выходное напряжение генератора снимают с коллектора транзистора. Для получения гармонических колебаний в цепь эмиттера включен терморезистор R_T с положительным температурным коэффициентом сопротивления. При увеличении амплитуды колебаний сопротивление R_T возрастает и увеличивается глубина отрицательной обратной связи в усилителе по переменному току, соответственно, падает коэффициент усиления.

Автогенератор с нулевым фазовым сдвигом в цепи обратной связи.

Здесь применяют усилители, не инвертирующих фазу входного сигнала. Например, операционный усилитель с неинвертирующим входом или многокаскадный усилитель с четным числом инвертирующих каскадов.

Варианты цепей обратной связи, обеспечивающих нулевой фазовый сдвиг (рис. 7).

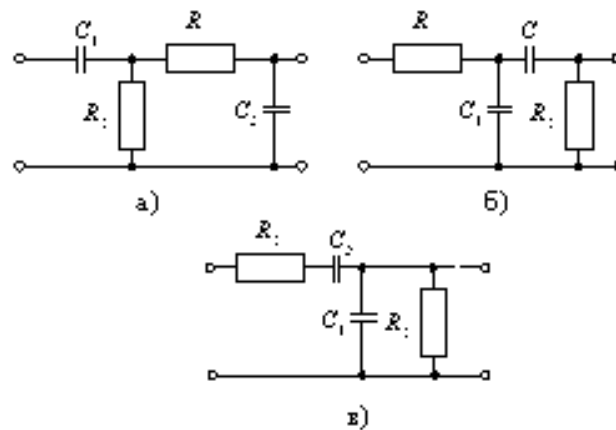


Рис. 7 Варианты цепей ОС, обеспечивающие нулевой фазовый сдвиг

На практике часто в качестве избирательной цепи с нулевым фазовым сдвигом применяют фазобалансный мост, или по-другому мост Вина (рис. 9).

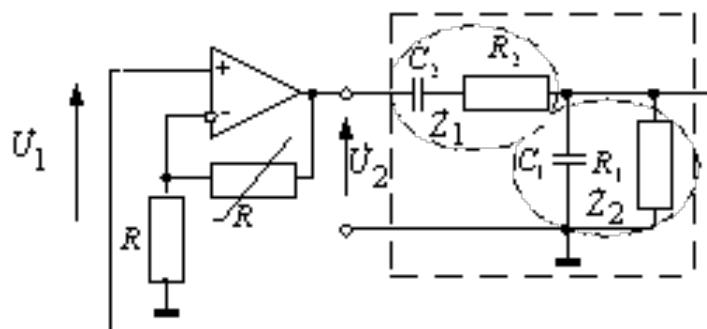


Рис. 8 RC-генератор с нулевым фазовым сдвигом в цепи ОС

Напряжение с выхода усилителя подается на неинвертирующий вход через цепь обратной связи, образованную элементами моста Вина R_1C_1 и R_2C_2 . Резистивная цепочка RR_t образует еще одну обратную связь – отрицательную, которая предназначена для ограничения нарастания амплитуды колебаний и сохранения их гармонической формы. Напряжение отрицательной обратной связи поступает на инвертирующий вход. Терморезистор R_t имеет отрицательный температурный коэффициент сопротивления.

Частота генерируемых колебаний, если $R_1 = R_2 = R$, $C_1 = C_2 = C$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}.$$

Амплитудное условие самовозбуждения на частоте ω_0 требует выполнения неравенства

$$K > \frac{1}{\beta} = 1 + \frac{C_1}{C_2} + \frac{R_2}{R_1}.$$

При равенстве $R_1 = R_2 = R$ и $C_1 = C_2 = C$ коэффициент усиления $K > 3$.

Частоту колебаний можно изменять изменением сопротивлений R или емкостей C , входящих в состав моста Вина, а амплитуда колебаний регулируется сопротивлением R .

2.5. Стабилизация частоты генераторов. Электрические импульсы.

Стабилизация частоты.

Очень важным требованием, предъявляемым к генераторам, является стабильность частоты генерируемых колебаний. Нестабильность частоты зависит от многих факторов, а именно:

- Изменение окружающей температуры
- Изменение напряжения источника питания
- Механическая вибрация и деформация деталей
- Шумы активных элементов

Нестабильность частоты оценивается коэффициентом относительной нестабильности:

$$k = \frac{\Delta f}{f_{\text{раб}}}$$

Существует два способа стабилизации частоты:

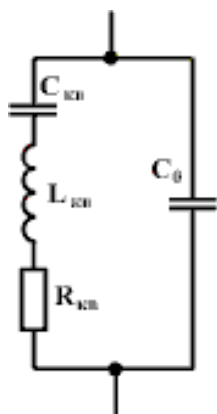
- Параметрический способ стабилизации
- Кварцевый способ стабилизации

При первом способе используется изготовление деталей из материалов, мало изменяющих свои свойства при изменении температуры и других факторов. Используется экранирование и герметизация контуров, высокая стабильность источника питания, рациональность монтажа и прочее. Однако этим методом нельзя обеспечить высокую стабильность частоты. Относительный коэффициент нестабильности частоты колеблется в пределах $10^{-4} - 10^{-5}$.

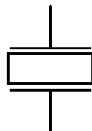
Большей стабильности можно достичь, если применить способ кварцевой стабилизации, основанный на применении кварцевого резонатора. Кварцевые пластины резонатора обладают пьезоэлектрическим эффектом, который бывает двух видов:

Прямой пьезоэффект – при растяжении или сжатии кварцевой пластины на её противоположных гранях возникают равные по величине, но противоположные по знаку электрические заряды, величина которых пропорциональна давлению, а знаки зависят от направления силы давления

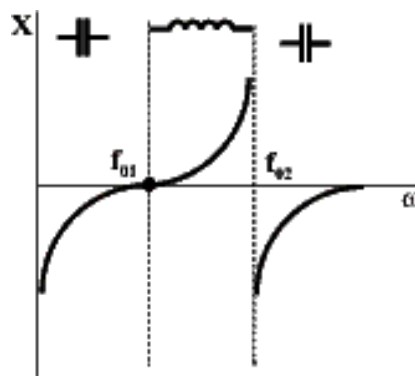
Обратный пьезоэффект – если к граням кварцевой пластины приложить электрическое напряжение, то пластина будет сжиматься или разжиматься в зависимости от полярности приложенного напряжения.



Эквивалентная схема кварцевого генератора



Обозначение кварцевого генератора



Зависимость характера сопротивления от частоты

Кварц может быть эквивалентом, как последовательного колебательного контура, так и параллельного. На частоте f_{01} происходит резонанс напряжений. Эта частота определяется по формуле:

$$f_{01} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{кв}C_{кв}}}$$

При использовании кварцевого способа стабилизации коэффициент относительной неустойчивости достигает $10^{-7} - 10^{-10}$.

Электрические сигналы.

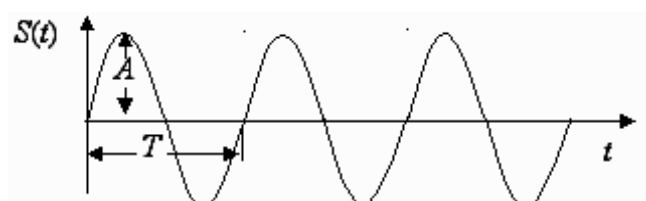
Электрические сигналы представляют собой электрические процессы, используемые для передачи, приема и преобразования информации.

Сигналы делятся на детерминированные и случайные.

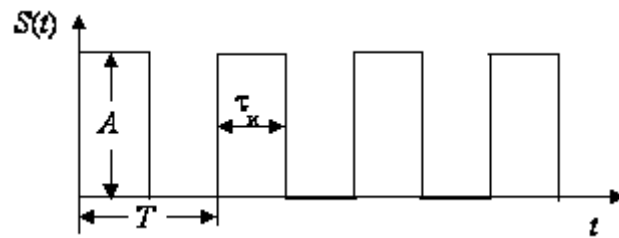
Детерминированными называются сигналы, мгновенные значения которых в любой момент времени можно предсказать с вероятностью, равной единице, и которые могут быть заданы в виде некоторой определенной функции времени.

Примеры детерминированных сигналов.

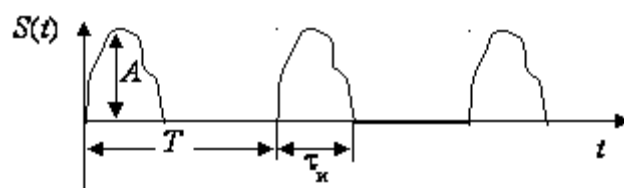
А) Гармонический сигнал с известной амплитудой A и периодом T .



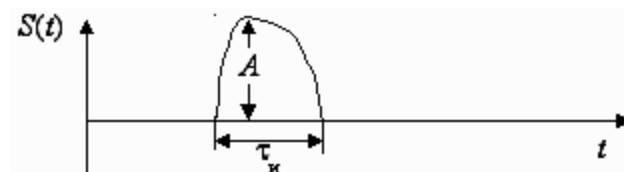
Б) Последовательность прямоугольных импульсов с известным периодом следования T , длительностью импульса $\tau_{\text{и}}$ и его амплитудой A .



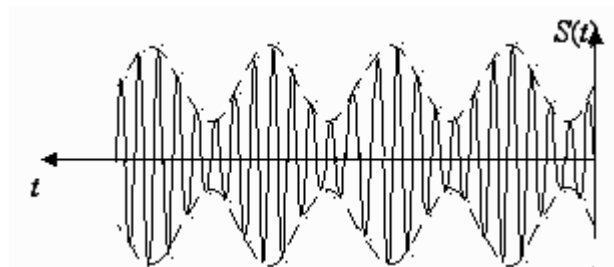
В) Последовательность импульсов произвольной, но не изменяющейся формы с известной длительностью $\tau_{\text{и}}$, амплитудой A и периодом T .



Г) Непериодический.



Д) Радиосигнал.



Детерминированные сигналы подразделяются на периодические и непериодические.

Для периодических сигналов выполняется условие

$$S(t) = S(t + kT),$$

где T – период, k – любое целое число, $S(t)$ - изменяющиеся со временем ток, напряжение или заряд (а, б, в).

К непериодическим сигналам относится любой детерминированный сигнал, для которого

$$S(t) \neq S(t + kT).$$

Простейшим периодическим сигналом является, в частности, гармонический сигнал (а), вида

$$S(t) = A \cdot \cos(\omega t + \varphi) = A \cdot \cos(2\pi \cdot t / T + \varphi),$$

где ω – круговая или циклическая частота, φ – начальная фаза сигнала.

Гармонический сигнал высокой частоты, в котором путем модуляции, например, амплитудной, заложена информация, называется радиосигналом (д).

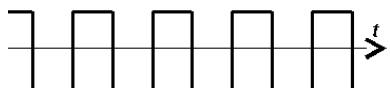
Случайные сигналы представляют собой хаотические функции времени, значения которых в конкретный момент времени заранее неизвестны и не могут быть предсказаны с вероятностью, равной единице, например, одиночный импульс с длительностью T и амплитудой A (г), речь или музыка, преобразованные в электрические процессы и т. д. К случайным сигналам относятся также шумы.

Форма импульсов.

Форма импульсов имеет следующие составляющие: фронт — начальный подъём, относительно плоская вершина (не для всех форм) и срез (спад) — конечный спад напряжения.

Импульсы стандартных форм.

- Прямоугольные импульсы.



- Пилообразные импульсы.



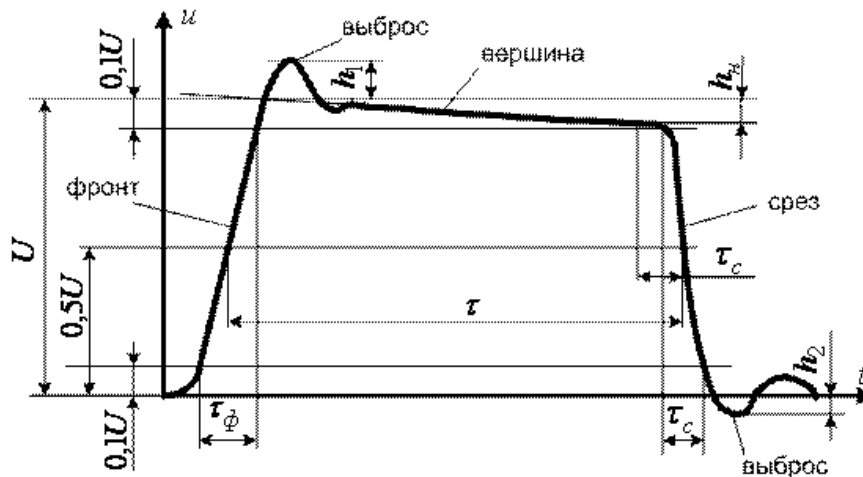
- Треугольные импульсы.



- Трапецеидальные импульсы.
- Экспоненциальные импульсы.
- Колокольные (колоколообразные) импульсы.
- Импульсы, представляющие собой полуволны и другие.

Прямоугольный импульс.

Прямоугольный импульс идеальной формы характеризуется длительностью τ и амплитудой U . Реальный импульс отличается от идеального.



Реальная форма прямоугольного импульса.

- амплитуда импульса U находится путем продления плоской части его вершины до пересечения с фронтом;
- длительность импульса τ определяется на уровне $0,5 \cdot U$;
- длительность фронта τ_ϕ соответствует времени нарастания импульса от $0,1U$ до $0,9U$;
- длительность среза τ_c – время убывания импульса от $0,9U$ до $0,1U$;
- выбросы на вершине h_1 и в паузе h_2 импульса – кратковременные изменения мгновенного значения импульсного напряжения на участке установления вершины и на участке спада импульса от линий, определяющих вершину импульса и его основание соответственно. Они выражаются в процентах от значения амплитуды импульса;
- неравномерность вершины импульса h_n характеризует степень отклонения его вершины от горизонтальной линии и выражается в процентах к амплитуде импульса.

Импульс принимают прямоугольным, если $\tau_\phi + \tau_c < \tau$.

2.6. ГЛИН. Симметричный мультивибратор.

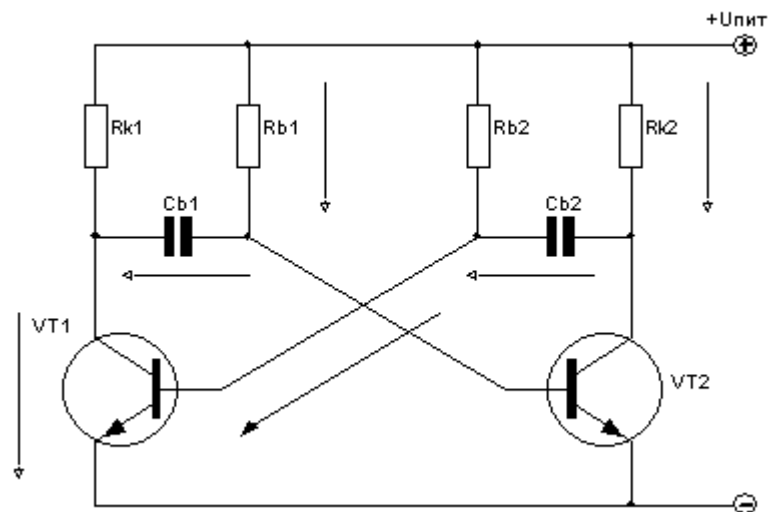
Мультивибратор — генератор сигналов электрических прямоугольных колебаний с короткими фронтами.

Термин предложен голландским физиком ван дер Полем, так как в спектре колебаний мультивибратора присутствует множество гармоник — в отличие от генератора синусоидальных колебаний («моновибратора»). Мультивибратор был описан Икклзом и Джорданом в 1918 году. Мультивибратор является одним из самых распространённых генераторов импульсов прямоугольной формы, представляющий собой двухкаскадный резистивный усилитель с глубокой положительной обратной связью.

В электронной технике используются различные варианты схем мультивибраторов, которые различаются между собой

- по типу используемых элементов (ламповые, транзисторные, тиристорные, микроэлектронные),
- режиму работы (автоколебательные, ждущие синхронизации),
- видам связи между усилительными элементами,
- способам регулировки длительности и частоты генерируемых импульсов.

Симметричный мультивибратор на транзисторах.



Симметричный мультивибратор генерирует прямоугольные импульсы, параметры которых зависят от резисторов $Rb1$ и $Rb2$ и конденсаторов $Cb1$ и $Cb2$. Rb и Rk ($Rk < Rb$). Нагрузку подключают к коллектору $VT1$, или $VT2$.

Симметричный мультивибратор является автогенератором, то есть для начала генерации необходимо только включение питания. После включения питания, транзистор $VT2$ закрыт, $VT1$ открыт, конденсатор $Cb2$ разряжен, а $Cb1$ заряжен, но не полностью, а полярность этого заряда такова, что к базе $VT1$ приложено отрицательное напряжение (какой транзистор открыт, а какой закрыт зависит от параметров самих транзисторов).

Дальше конденсатор $Cb1$ продолжает заряжаться от источника питания через резистор $Rb1$ и транзистор $VT1$, однако, напряжения на нем еще не достаточно, для открывания транзистора $VT2$. И в это же время, конденсатор $Cb2$ заряжается через резистор $Rk2$ и

открытый VT1. Емкость конденсаторов одинакова, однако, так как $R_k < R_b$, то C_{b2} заряжается быстрее, чем C_{b1} .

По мере заряда C_{b1} напряжение на базе VT2 растет. И в момент T_1 , напряжение достигает некоторого порога и VT2 открывается. C_{b2} к этому моменту заряжен почти до напряжения питания.

Дальше VT2 переходит в активный режим, увеличивается его коллекторный ток и уменьшается напряжение коллектор-эмиттер, что вызывает падение базового тока VT1, а это приводит к уменьшению коллекторного тока VT1, т. к. сопротивление коллектор-эмиттер увеличивается. Поэтому ток начинает течь через R_{k1} в базу T2, что увеличивает его базовый ток. Транзистор VT1 закрывается. Процесс проходит практически мгновенно. Однако, мы имеем процесс, противоположный начальному моменту - VT1 закрыт, VT2 открыт, C_{b1} практически разряжен, а C_{b2} заряжен почти до напряжения питания.

Затем C_{b1} начинает заряжаться через цепь R_{k1} , VT2, а C_{b2} поддерживает отрицательным напряжением транзистор VT1 в закрытом состоянии. И когда C_{b1} зарядится все повторится с точностью до наоборот и закроется VT2. И так до тех пор, пока не отключат питание.

Длительность импульса:

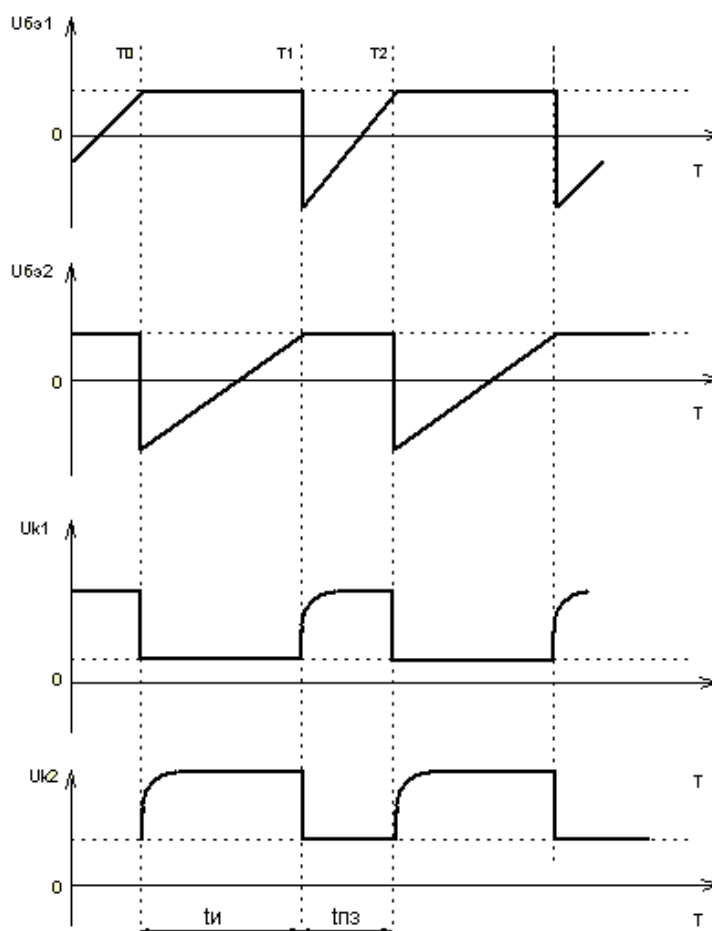
$$\xi = (3...5)R_{k2}C_2 \text{ или } \xi = (3...5)R_{k1}C_1$$

в зависимости, с какого транзистора снимать сигнал.

Частоту импульсов:

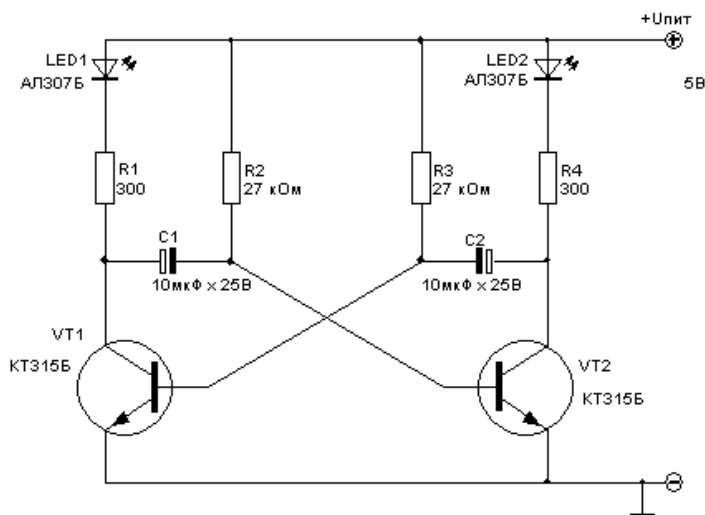
$$f = 700 / (R_b C_b)$$

где R_b и C_b - величина базовых резисторов и конденсаторов в килоомах и микрофарадах.



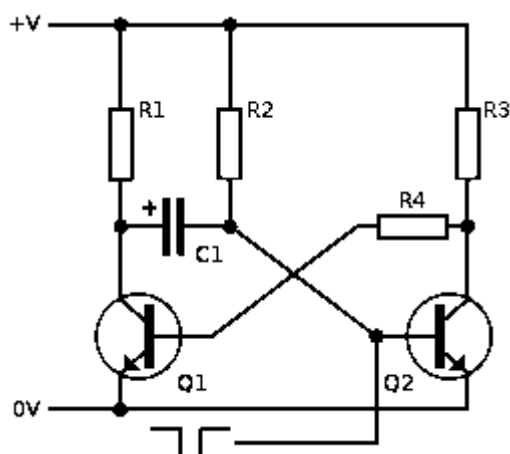
$t_{и}$ - длительность импульса, определяемая временем заряда конденсатора C_1 ,
 $t_{пз}$ - длительность паузы, определяемая временем зарядки C_2 .

Простая схема «мигалки» для двух светодиодов.



Вместо постоянных базовых резисторов можно поставить переменные и смотреть как меняется частота мигания одного или другого диода.

Ждущий мультивибратор.



Одностабильный мультивибратор.

Разновидность ждущего мультивибратора, имеющего одно стабильное состояние и одно неустойчивое. При поступлении переключающего импульса одностабильный мультивибратор переключается в неустойчивое состояние, а затем возвращается в устойчивое состояние. Иногда называется одновибратором.

Генераторы линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН).

ГЛИН это электронные устройства, выходное напряжение которых в течение некоторого времени изменяется по линейному закону. Если напряжение меняется периодически, ГЛИН называется генератором пилообразного напряжения (ГПН) или генератором напряжения треугольной формы. Если напряжение меняется от

минимального значения к максимальному (по абсолютной величине), то его называют линейно-нарастающим напряжением. Если меняется от максимального значения к минимальному - линейно-падающим.

ГЛИН применяются в отклоняющих системах осциллографов, телевизоров, в радиолокации, широтно-импульсных модуляторах и т.д.

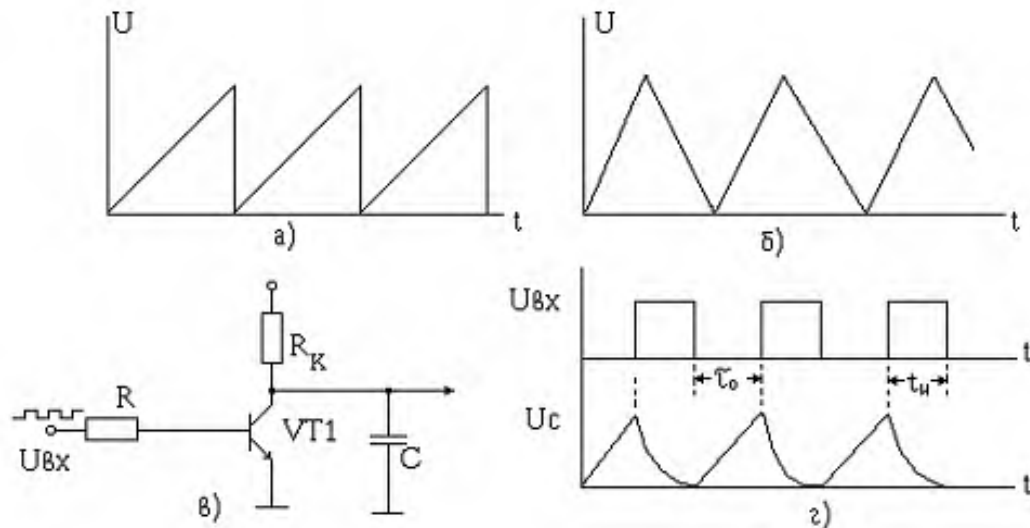
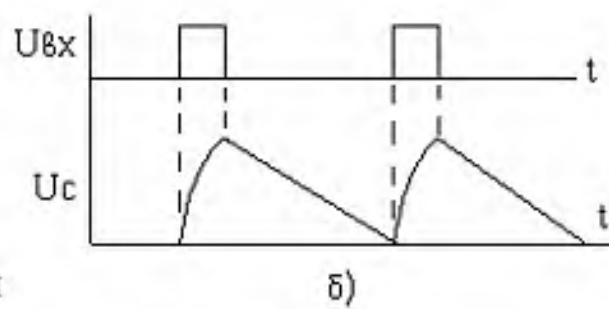
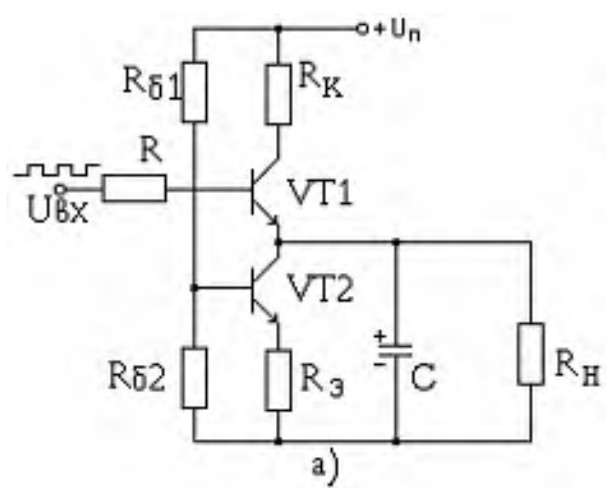


Схема простейшего ГПН состоит из времязадающего конденсатора C , резистора R_K и транзисторного ключа $VT1$. На вход транзисторного ключа подается последовательность прямоугольных импульсов с заданным интервалом между импульсами и длительностью. Когда на базе транзистора нулевое напряжение (промежуток времени между импульсами), транзистор закрыт и происходит заряд конденсатора через резистор R_K . Если постоянная времени цепи $R_K C$ достаточно большая, т.е. существенно больше периода следования прямоугольных импульсов, напряжение на конденсаторе нарастает линейно. Заряд конденсатора продолжается до поступления импульса, открывающего транзистор VT . Когда транзистор открывается, начинается процесс разряда конденсатора. Интервал времени между отпирающими импульсами должен быть достаточным для полного разряда конденсатора C .

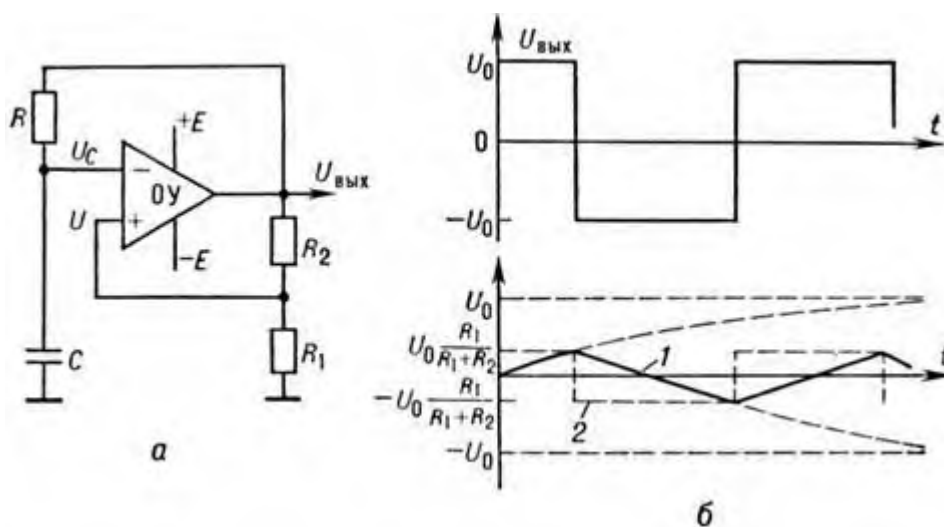
Схема простого генератора пилообразного напряжения.

. Заряд конденсатора осуществляется через транзистор $VT1$ и сопротивление R_K . За время заряда напряжение на конденсаторе достигает практически напряжения источника питания. Когда на базу транзисторов приходит нулевой уровень, первый транзистор закрывается, а транзистор $VT2$ переходит в режим генератора стабильного тока (ГСТ) и через него протекает стабильный постоянный ток разряда конденсатора



2.7. Мультивибратор на операционном усилителе.

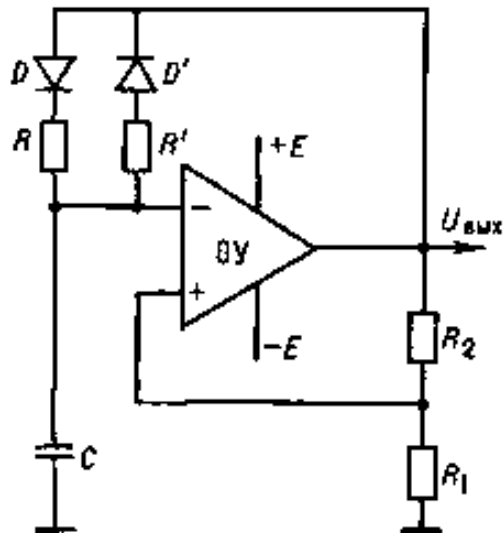
Мультивибратор (от лат. multum - много и vib-го - колеблю) - электронное устройство с двумя стабильными состояниями, которым соответствуют два различных значения напряжения (или тока) и которые периодически скачкообразно сменяют друг друга за счёт положительной обратной связи. Мультивибратор генерирует периодический сигнал прямоугольной формы, в спектре которого содержится много гармоник. Если интервалы времени, соответствующие различным состояниям, одинаковы, мультивибратор называется симметричным, иначе - несимметричным. Названные интервалы времени определяются временем зарядки и (или) разрядки конденсаторов (одного или двух), входящих в схему.



Симметричный мультивибратор на операционном усилителе: а - схема; б - временные диаграммы напряжений; 1 - напряжение U_C ; 2 - напряжение U .

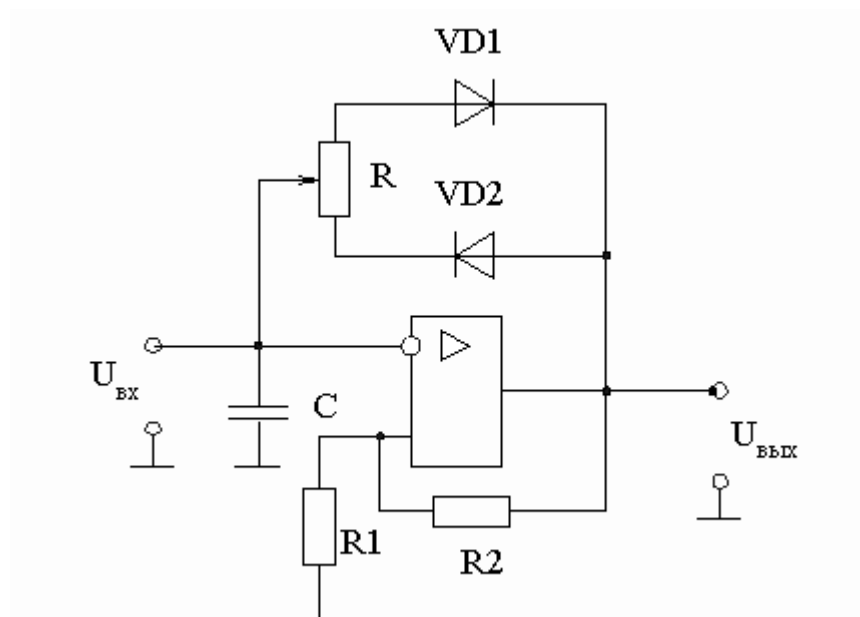
В схеме симметричного мультивибратора операционный усилитель (ОУ) осуществляет сравнение напряжения U_C на конденсаторе C и напряжения U с делителя, образованного резисторами R_1 и R_2 . Напряжение U вых на выходе ОУ пропорционально разности напряжений между его входами $DU = U - U_C$. Из-за того, что часть выходного напряжения через делитель поступает на вход ОУ, в схеме образуется положительная обратная связь. Если в некоторый момент времени разность DU станет положительной, то положительная обратная связь приведёт к лавинообразному нарастанию напряжения. Его увеличение прекратится, когда U вых достигнет своего максимально возможного значения U_0 , близкого к положит. напряжению питания $+E$. При этом напряжение U будет равно $U_0 R_1 / (R_1 + R_2)$. Такое состояние системы сохранится до тех пор, пока напряжение U_C на конденсаторе, заряжающемся через резистор R , не превысит значения $U = U_0 R_1 / (R_1 + R_2)$. Как только разность DU станет отрицательной, напряжение U вых скачком уменьшится до своего мин. значения $-U_0$, близкого к отрицательному напряжению питания $-E$. Напряжение U станет равным $-U_0 R_1 / (R_1 + R_2)$ и конденсатор начнёт разряжаться. Когда напряжение U_C сравняется с $U = -U_0 R_1 / (R_1 + R_2)$, выходное напряжение снова скачком увеличится до значения U_0 и т. д. Время зарядки и разрядки конденсатора одинаково и пропорционально RC .

Несимметричный мультивибратор работает аналогичным образом, но благодаря диодам D и D' конденсатор заряжается и разряжается через разные резисторы (R и R'), поэтому время зарядки и разрядки различно.



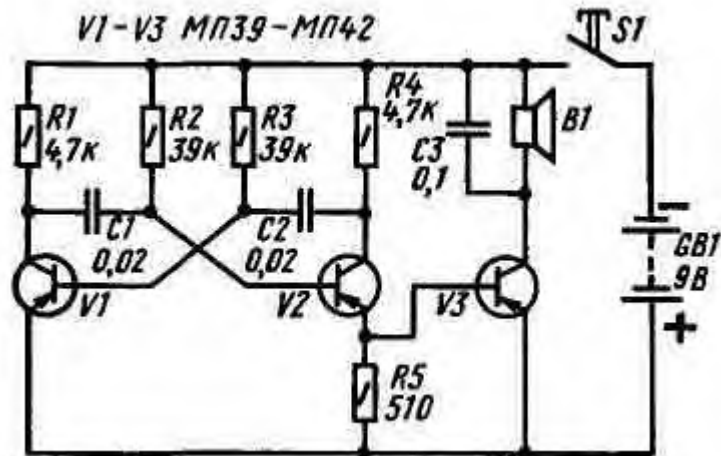
Для отдельной регулировки длительности положительного и отрицательного импульсов применяют соединенные параллельно цепи, содержащие переменные резисторы.

Для регулировки соотношения длительности положительных и отрицательных импульсов применяется следующая схема.



Электронный звонок.

Мультивибратор можно применить для квартирного звонка, заменив им обычный электрический. Транзисторы V1 и V2 работают в симметричном мультивибраторе, генерирующем колебания частотой около 1000 Гц, а транзистор V3 - в усилителе мощности этих колебаний. Усиленные колебания преобразуются динамической головкой B1 в звуковые колебания.

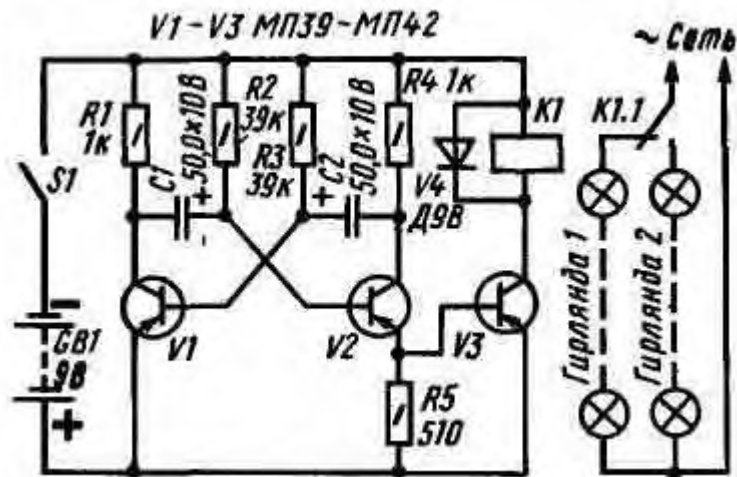


Электронный звонок на основе мультивибратора.

Электронный звонок можно установить в коридоре и соединив его двумя проводами с кнопкой S1. При нажатии кнопки - в динамической головке появится звук. Так как питание на прибор подается только во время вызывных сигналов, двух батарей 3336Л соединенных последовательно или "Крона", хватит на несколько месяцев работы звонка. Желательный тон звука устанавливайте заменой конденсаторов C1 и C2 конденсаторами других емкостей.

Электронный переключатель гирлянд.

Электронный переключатель можно питать от двух батарей 3336Л, соединенных последовательно, или от выпрямителя, который бы давал на выходе постоянное напряжение 9 - 12 В.



Электронный переключатель на основе мультивибратора.

Схема переключателя очень схожа со схемой электронного звонка. Но емкости конденсаторов C1 и C2 переключателя во много раз больше емкостей аналогичных конденсаторов звонка. Мультивибратор переключателя, в котором работают транзисторы V1 и V2, генерирует колебания частотой около 0,4 Гц, а нагрузкой его усилителя мощности (транзистор V3) является обмотка электромагнитного реле K1. Реле имеет одну пару контактных пластин, работающих на переключение. Подойдет, например, реле РЭС - 10 (паспорт РС4.524.302) или другое электромагнитное реле, надежно срабатывающее от напряжения 6 - 8 В при токе 20 - 50 мА. При включении питания транзисторы V1 и V2 мультивибратора попеременно открываются и закрываются, генерируя сигналы прямоугольной формы. Когда транзистор V2 открыт, отрицательное питающее напряжение через резистор R4 и этот транзистор подается на базу транзистора V3, вводя его в насыщение. При этом сопротивление участка эмиттер - коллектор транзистора V3 уменьшается до нескольких ом и почти все напряжение источника питания прикладывается к обмотке реле K1 - реле срабатывает и своими контактами подключает к сети одну из гирлянд. Когда транзистор V2 закрыт, цепь питания базы транзистора V3 разорвана, и он также закрыт, через обмотку реле ток не течет. В это время реле отпускает якорь и его контакты, переключаясь, подключают к сети вторую елочную гирлянду. Если вы захотите изменить время переключения гирлянд, то заменяйте конденсаторы C1 и C2 конденсаторами других емкостей. Данные резисторов R2 и R3 оставьте прежними, иначе нарушится режим работы транзисторов по постоянному току. Усилитель мощности, аналогичный усилителю на транзисторе V3, можно включить и в эмиттерную цепь транзистора V1 мультивибратора. В этом случае электромагнитные реле (в том числе - самодельные) могут иметь не переключающие группы контактов, а нормально разомкнутые или нормально замкнутые. Контакты реле одного из плеч мультивибратора будут периодически замыкать и размыкать цепь питания одной гирлянды, а контакты реле другого плеча мультивибратора - цепь питания второй гирлянды.

2.8. Тесты для самоконтроля по разделу 2.

1. Электронный усилитель

- А) увеличивает энергию входного сигнала за счёт энергии источника питания
- Б) уменьшает энергию входного сигнала за счёт энергии источника питания.
- В) увеличивает энергию входного сигнала за счёт тепловой энергии
- Г) уменьшает энергию входного сигнала за счёт тепловой энергии

2. В усилителях используются

- А) положительные обратные связи
- Б) отрицательные обратные связи
- В) тепловые обратные связи
- Г) гибридные обратные связи

3. Существуют следующие каскады усилителя (отметить лишнее)

- А) каскад с общим эмиттером
- Б) каскад с общей базой
- В) каскад с общим проводом
- Г) каскад с общим коллектором

4. Режимы усилительных каскадов различают

- А) в зависимости от характеристик транзистора
- Б) в зависимости от частоты усиливаемого сигнала
- В) в зависимости от мощности входного сигнала
- Г) в зависимости от способа размещения начальной рабочей точки транзистора

5. Основной параметр усилителя

- А) коэффициент усиления
- Б) коэффициент пульсаций
- В) коэффициент сглаживания
- Г) коэффициент ослабления

6. АЧХ усилителя это
- А) алгебраическая частотная характеристика
 - Б) амплитудно - частотная характеристика
 - В) анализ частотных характеристик
 - Г) амплитудно – частичная характеристика
7. Амплитудная характеристика усилителя определяет зависимость
- А) выходного напряжения от входного напряжения
 - Б) частоты выходного сигнала от частоты входного сигнала
 - В) выходного напряжения от частоты входного сигнала
 - Г) частоты выходного сигнала от входного напряжения
8. Введение отрицательной обратной связи в усилителе приводит
- А) к увеличению коэффициента усиления
 - Б) к сужению полосы пропускаемых частот
 - В) к уменьшению энергопотребления
 - Г) к уменьшению коэффициента усиления
9. Операционный усилитель – электронная схема усилителя на полупроводниках, имеющая
- А) два балансных входа
 - Б) три балансных входа
 - В) четыре балансных входа
 - Г) два балансных выхода
10. Электронный генератор – это самовозбуждающаяся система, в которой
- А) энергия источника питания постоянного тока преобразуется в энергию постоянного сигнала
 - Б) энергия источника питания постоянного тока преобразуется в световую энергию
 - В) энергия источника питания постоянного тока преобразуется в энергию переменного сигнала
 - Г) энергия источника питания постоянного тока преобразуется в тепловую энергию

11. Колебательный контур это

- А) схема, в которой происходят автоколебания
- Б) схема, в которой происходит усиление напряжения
- В) схема, в которой происходит изменение частоты сигнала
- Г) схема, в которой происходит запоминание сигнала

12. Условия возникновения автоколебаний в генераторе (отметить лишнее)

- А) баланс амплитуд
- Б) баланс фаз
- В) баланс зарядов

13. Какая схема генератора существует

- А) RS генератор
- Б) RC генератор
- В) KC генератор
- Г) KS генератор

14. От чего не зависит нестабильность частоты генератора

- А) изменение окружающей температуры
- Б) изменение напряжения источника питания
- В) механическая вибрация и деформация деталей
- Г) время суток

15. Электрические сигналы представляют собой электрические процессы, используемые для

- А) преобразования электрической энергии в световую
- Б) выработки электрической энергии
- В) передачи, приема и преобразования информации
- Г) преобразования электрической энергии в тепловую

16. Гармонический электрический сигнал имеет

- А) известную амплитуду и период
- Б) известную амплитуду
- В) неизвестную амплитуду и период
- Г) неизвестный период

17. Реальный прямоугольный импульс имеет (отметить лишнее)

- А) амплитуду
- Б) длительность фронта
- В) длительность среза
- Г) обратную связь

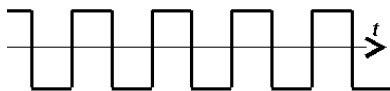
18. Электронный мультивибратор это

- А) усилитель синусоидального сигнала
- Б) усилитель пилообразного сигнала
- В) генератор синусоидальных электрических колебаний
- Г) генератор прямоугольных импульсов

19. ГЛИН это

- А) генератор лавинных импульсов напряжения
- Б) генератор линейно изменяющегося напряжения
- В) генератор лучевого изменения напряжения

20. На рисунке показаны



- А) синусоидальные импульсы
- Б) пилообразные импульсы
- В) треугольные импульсы
- Г) прямоугольные импульсы

3. Источники вторичного питания.

3.1. Классификация выпрямителей.

Выпрямитель (электрического тока) — преобразователь электрической энергии; механическое, электровакуумное, полупроводниковое или другое устройство, предназначенное для преобразования переменного входного электрического тока в постоянный выходной электрический ток.



Сварочный
выпрямитель



Силовой диодный выпрямитель
электровоза ВЛ80С

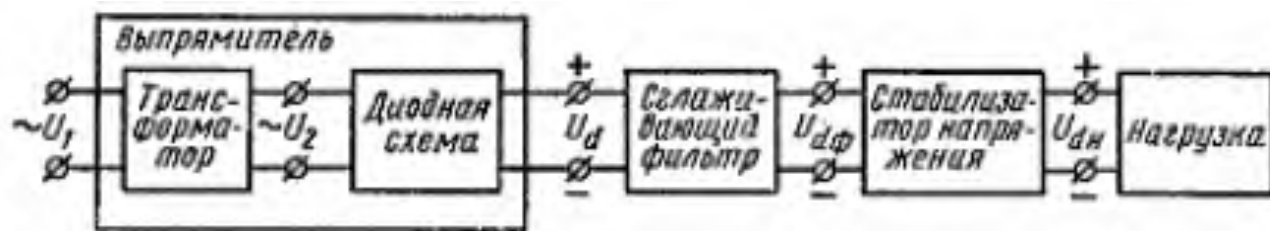


Ртутный
выпрямитель



Диодные мосты.

Структурная схема выпрямителя.



Классификация выпрямителей.

- по мощности
 - силовые выпрямители;
 - выпрямители сигналов;
- по степени использования полупериодов переменного напряжения
 - однополупериодные — пропускают в нагрузку только одну полуволну;
 - двухполупериодные — пропускают в нагрузку обе полуволны;
 - неполноволновые — не полностью используют синусоидальные полуволны;
 - полноволновые — полностью используют синусоидальные полуволны;
- по схеме выпрямления
 - мостовые,
 - с умножением напряжения,
 - трансформаторные,
 - с гальванической развязкой,
 - бестрансформаторные;
- по количеству используемых фаз
 - однофазные,
 - двухфазные,
 - трёхфазные
 - многофазные;
- по типу электронного вентиля
 - полупроводниковые диодные,
 - полупроводниковые тиристорные,
 - ламповые диодные (кенотронные);
- по управляемости
 - неуправляемые (диодные),
 - управляемые (тиристорные);
- по количеству каналов
 - одноканальные,
 - многоканальные;
- по величине выпрямленного напряжения
 - низковольтные (до 100В),
 - средневольтные (от 100 до 1000В),
 - высоковольтные (свыше 1000В);
- по степени полноты мостов
 - полномостовые,
 - полумостовые,
 - четвертьмостовые;
- по наличию устройств стабилизации
 - стабилизированные,
 - нестабилизированные;
- по управлению выходными параметрами
 - регулируемые,
 - нерегулируемые;
- по частоте выпрямляемого тока
 - низкочастотные,
 - среднечастотные,
 - высокочастотные.

Применение выпрямителей.

1. Выпрямление электрического тока

Это установки для железнодорожной тяги, городского электротранспорта, электролиза (производство алюминия, хлора, едкого натра и др.), питания приводов прокатных станов, возбуждения генераторов электростанций. В качестве вентилей до последнего времени использовались ртутные выпрямители (неуправляемые и управляемые). В настоящее время применяются полупроводниковые выпрямители.

2. Блоки питания аппаратуры

Применение выпрямителей в блоках питания радио- и электроаппаратуры обусловлено тем, что обычно в системах электроснабжения зданий или транспортных средств применяется переменный ток, и выходной ток любого электромагнитного трансформатора, применённого для гальванической развязки цепей или для понижения напряжения, переменный, а электронные схемы и электродвигатели целевой аппаратуры чаще рассчитаны на питание постоянным током.

3. Выпрямители электросиловых установок

Преобразователи бортового электроснабжения постоянного тока автономных транспортных средств: автотракторной, железнодорожной, водной, авиационной и другой техники. Генерация электроэнергии на транспортном средстве обычно производится генератором переменного тока, но для питания бортовой аппаратуры необходим постоянный ток.

4. Сварочные аппараты

В сварочных аппаратах постоянного тока применяются мостовые схемы на мощных кремниевых выпрямительных диодах — вентилях, с целью получения постоянного сварочного напряжения и тока.

5. Вентильные блоки преобразовательных подстанций систем энергоснабжения.

Для питания главных двигателей постоянного тока прокатных станов, кранов и другой техники.

6. Выпрямители высокочастотных колебаний.

Используются в перспективных системах сбора энергии окружающих шумовых электромагнитных сигналов, в перспективных системах беспроводной передачи электроэнергии.

7. Детектирование высокочастотного сигнала.

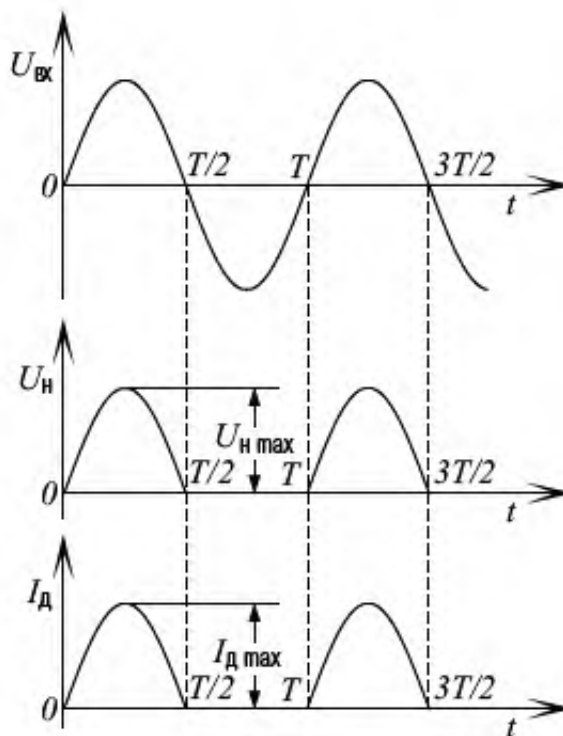
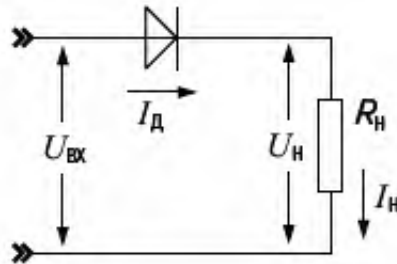
8. Баллистический выпрямитель

9. Баллистический выпрямитель.

Может найти применение для детектирования очень высокочастотных сигналов (до 50 ГГц).

Однофазный однополупериодный выпрямитель.

Это простейший выпрямитель Входное напряжение $U_{вх} = U_{вх \max} \sin(\omega t)$.



На интервале времени $[0; T/2]$ полупроводниковый диод выпрямителя включен в прямом направлении и напряжение (ток) на нагрузке повторяют форму входного сигнала. На интервале $[T/2; T]$ диод включен в обратном направлении и напряжение (ток) на нагрузке равно нулю. Поэтому, среднее значение напряжения на нагрузке:

$$U_{н \text{ ср}} = U_{вх \max} / \pi = \sqrt{2} U_{вх \text{ д}} / \pi = 0,45 U_{вх \text{ д}},$$

где $U_{вх \text{ д}}$ — действующее значение переменного напряжения на входе выпрямителя.

Для среднего тока нагрузки:

$$I_{н \text{ ср}} = I_{\max} / \pi = 0,318 \cdot I_{\max},$$

где $I_{\max}$ — максимальная амплитуда выпрямленного тока.

Действующее значение тока нагрузки $I_{н \text{ д}}$ (через диод протекает такой же ток):

$$I_{нд} = I_{мах} / 2 = 0,5 \cdot I_{мах}.$$

Отношение среднего значения выпрямленного напряжения $U_{н ср}$ к действующему значению входного переменного напряжения $U_{вх д}$ называется коэффициентом выпрямления ($K_{вып}$). Для рассматриваемой схемы $K_{вып} = 0,45$.

Максимальное обратное напряжение на диоде $U_{обр тах} = U_{вх тах} = \pi U_{н ср}$, т.е. более чем в три раза превышает среднее выпрямленное напряжение (это следует учитывать при выборе диода для выпрямителя).

Коэффициент пульсаций для описываемой схемы однополупериодного выпрямителя равен:

$$K_{п} = \pi / 2 = 1,57.$$

Однополупериодное выпрямление имеет низкую эффективность из-за высокой пульсации выпрямленного напряжения.

Недостатки:

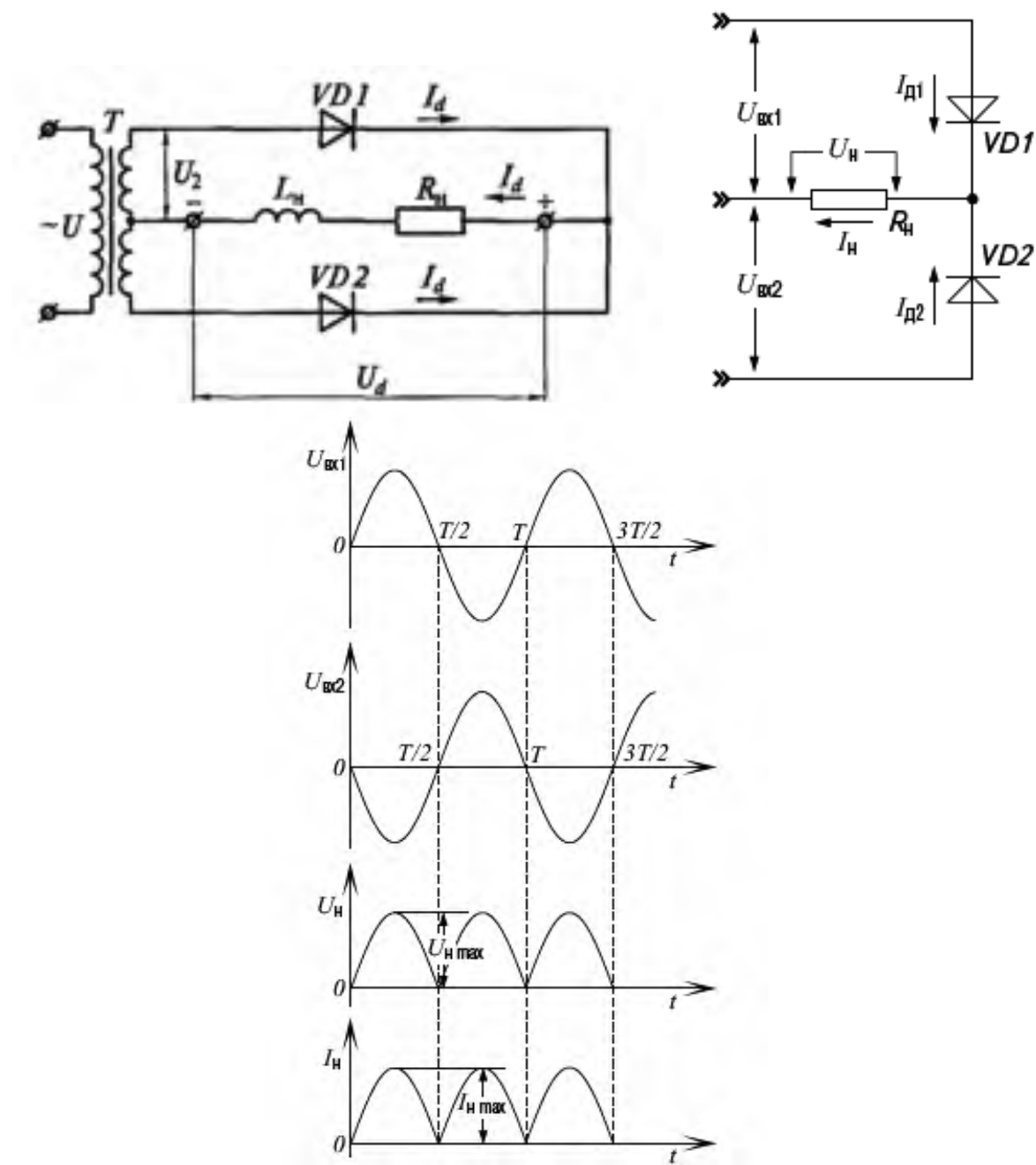
- Большая величина пульсаций
- Сильная нагрузка на вентиль (требуется диод с большим средним выпрямленным током)
- Низкий коэффициент использования габаритной мощности трансформатора (около 0,45) (не путать с КПД, который зависит от потерь в меди и потерь в стали и в однополупериодном выпрямителе почти такой же, как и в двухполупериодном).

Преимущество: экономия на количестве вентилях.

3.2. Однофазные и трехфазные неуправляемые выпрямители.

Однофазный двухполупериодный выпрямитель со средней точкой.

Широко известный как «двухполупериодный со средней точкой». Предложил в 1901 г. профессор Миткевич В. Ф.. В этом выпрямителе две противофазных обмотки создают двухфазный переменный ток со сдвигом между фазами 180 градусов. Двухфазный переменный ток выпрямляется двумя однополупериодными четвертьмостовыми выпрямителями, включенными параллельно и работающими на одну общую нагрузку.



На интервале времени $[0; T/2]$ под действием напряжения $U_{вх1}$ диод $VD1$ включен в прямом направлении (диод $VD2$ при этом в обратном) и поэтому ток в нагрузке определяется только напряжением $U_{вх1}$. На интервале $[T/2; T]$ диод $VD2$ включен в

обратном направлении, а ток нагрузки протекает через диод VD2 и определяется напряжением $U_{вх2}$. Т. о., средние значения тока и напряжения на нагрузке в этой схеме в два раза превышают показатели для однополупериодной схемы:

$$U_{н ср} = 2 \cdot U_{вх max} / \pi = 2\sqrt{2} \cdot U_{вх д} / \pi = 0,637 \cdot U_{вх max};$$

$$I_{н ср} = 2 \cdot I_{вх max} / \pi = 2\sqrt{2} \cdot I_{вх д} / \pi = 0,637 \cdot I_{вх max},$$

где: $U_{вх max}$ и $I_{вх max}$ — максимальные амплитудные значения входного напряжения и тока выпрямителя (по одному из напряжений питания),

$U_{вх д}$ и $I_{вх д}$ — действующие значения входного напряжения и тока выпрямителя.

Недостаток схемы в том, что во время прохождения тока через один из диодов обратное напряжение на другом (закрытом) диоде в пике достигает удвоенного максимального входного напряжения:

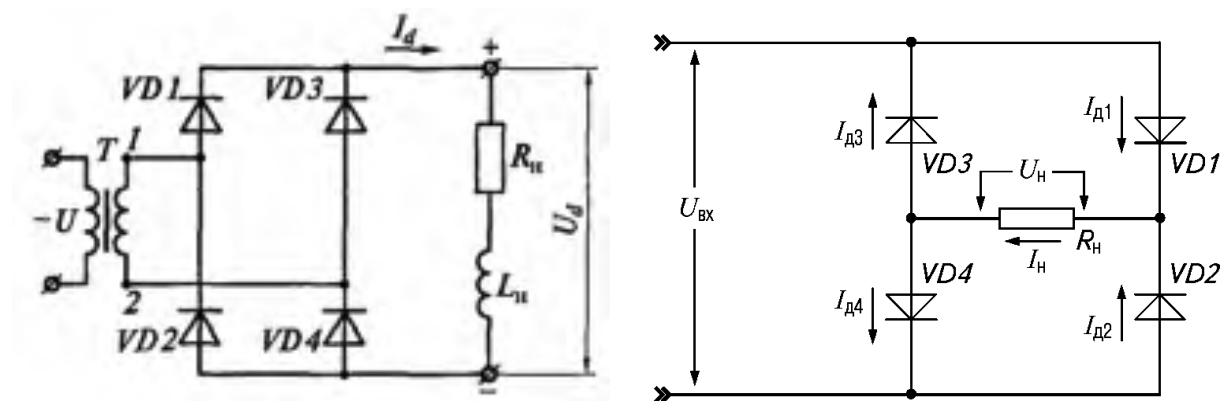
$$U_{обр max} = 2U_{max}.$$

Это надо учитывать при выборе диодов для выпрямителя.

Основная частота пульсаций выпрямленного напряжения будет равна удвоенной частоте входного напряжения. Коэффициент пульсаций будет равен:

$$K_{п} = 0,67.$$

Мостовая схема выпрямителя.



Необходимость в средней точке отпадает, если и второй вывод нагрузки при помощи второй аналогичной диодной схемы будет синхронно и противофазно подключаться к неиспользуемым на соответствующем интервале времени выводам источников питания. Эта схема называется однофазным мостовым выпрямителем и является самой распространенной.

В мостовой схеме напряжение прикладывается к нагрузке в течение всего периода изменения напряжения $U_{вх}$. При этом его значение при $U_{вх} = U_{вх1} + U_{вх2}$ в два раза превышает выходное напряжение схемы однофазного двухполупериодного выпрямителя со средней точкой.

При одинаковом напряжении нагрузки в мостовой схеме к обратновключенным диодам прикладывается напряжение в два раза меньшее, чем в схеме со средней точкой.

$$U_{обр\ max} = U_{вх\ max} = \pi \cdot U_{н\ ср} / 2$$

Средние значения тока и напряжения на нагрузке для однофазного мостового выпрямителя будут такими же, как и в двухполупериодной схеме со средней точкой:

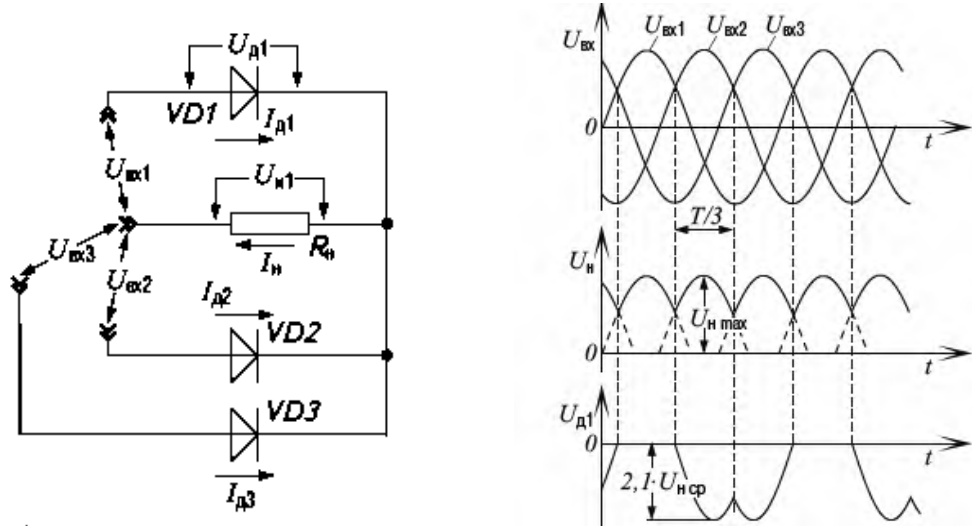
$$U_{н\ ср} = 2 \cdot U_{вх\ max} / \pi = 2\sqrt{2} \cdot U_{вх\ д} / \pi = 0,637 \cdot U_{вх\ max}$$

$$I_{н\ ср} = 2 \cdot I_{вх\ max} / \pi = 2\sqrt{2} \cdot I_{вх\ д} / \pi = 0,637 \cdot I_{вх\ max}$$

Частота пульсаций выпрямленного напряжения в мостовой схеме равна удвоенной частоте входного напряжения. Коэффициент пульсаций, как в схеме со средней точкой:

$$K_{п}=0,67.$$

Трёхфазный однополупериодный выпрямитель.



Для трехфазного однополупериодного выпрямителя (на рисунке):

$$U_{н\ ср} = 3 \cdot U_{вх\ ф\ max} \sin(\pi/3) / \pi \approx 0,827 \cdot U_{вх\ ф\ max}$$

$$K_{п} = 0,25$$

Здесь $U_{вх\ ф\ max}$ — амплитуда фазного напряжения на входе выпрямителя.

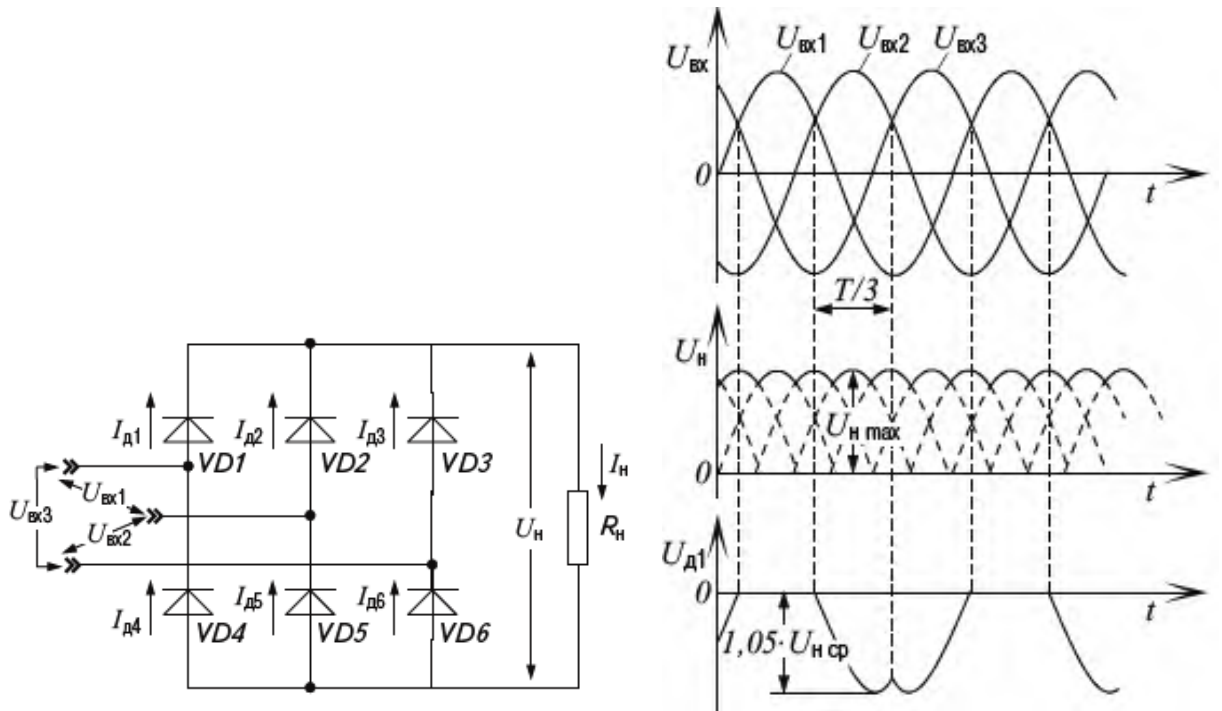
Максимальное обратное напряжение на каждом диоде равно амплитуде линейного напряжения на входе выпрямителя, т.е.:

$$U_{обр\ max} = U_{вх\ л\ max} = \sqrt{3} \cdot U_{вх\ ф\ max} \approx 2,1 \cdot U_{н\ ср}$$

Недостатком схемы является плохое использование трансформатора, который работает с подмагничиванием постоянным током, и повышенное обратное напряжение на диодах.

Трехфазный двухполупериодный выпрямитель.

Схема требует для построения шесть диодов. Она инвариантна к способу соединения первичных и вторичных обмоток силового трансформатора (“звезда” или “треугольник”).



В схеме используется обе полуwaveны питающего трехфазного напряжения, выпрямленное напряжение отличается более высоким качеством.

$$U_{н\text{ ср}} = 6 \cdot U_{вх\text{ ф max}} \sin(\pi/6) / \pi \approx 0,955 \cdot U_{вх\text{ ф max}}$$

$$K_{\pi} \approx 0,057,$$

где $U_{вх\text{ ф max}}$ — амплитуда фазного напряжения на входе выпрямителя.

Максимальное обратное напряжение на каждом диоде равно амплитуде линейного напряжения на входе выпрямителя, т.е.:

$$U_{обр\text{ max}} = U_{вх\text{ л max}} = \sqrt{3} \cdot U_{вх\text{ ф max}} \approx 1,05 \cdot U_{н\text{ ср}}$$

3.3. Принцип действия управляемых выпрямителей.

Простейшей схемой управляемого выпрямителя является однофазная однополупериодная схема (рис. а). Здесь используется тиристор VS – прибор с частичной управляемостью. На интервале $(0 \div \pi)$ полярность ЭДС $e_2 = \sqrt{2} \cdot E_2 \cdot \sin \theta$ на вторичной обмотке трансформатора такая, как показана на рис. б.

По отношению к тиристор VS это прямая полярность, но в отличие от обычного диода тиристор может включиться при подаче на его управляющий электрод сигнала управления от управляющего устройства – системы управления (СУ). До поступления сигнала тиристор будет находиться в закрытом состоянии, и тока пропускать не будет, несмотря на то, что к его аноду приложен положительный потенциал относительно катода. Пусть сигнал управления поступит от системы управления на тиристор в точке θ_1 , со сдвигом на угол α относительно начала координат, и начнет проводить ток нагрузки (рис. г).

$$i_d = \frac{e_2}{R_d} = \frac{\sqrt{2}E_2}{R_d} \sin \theta.$$

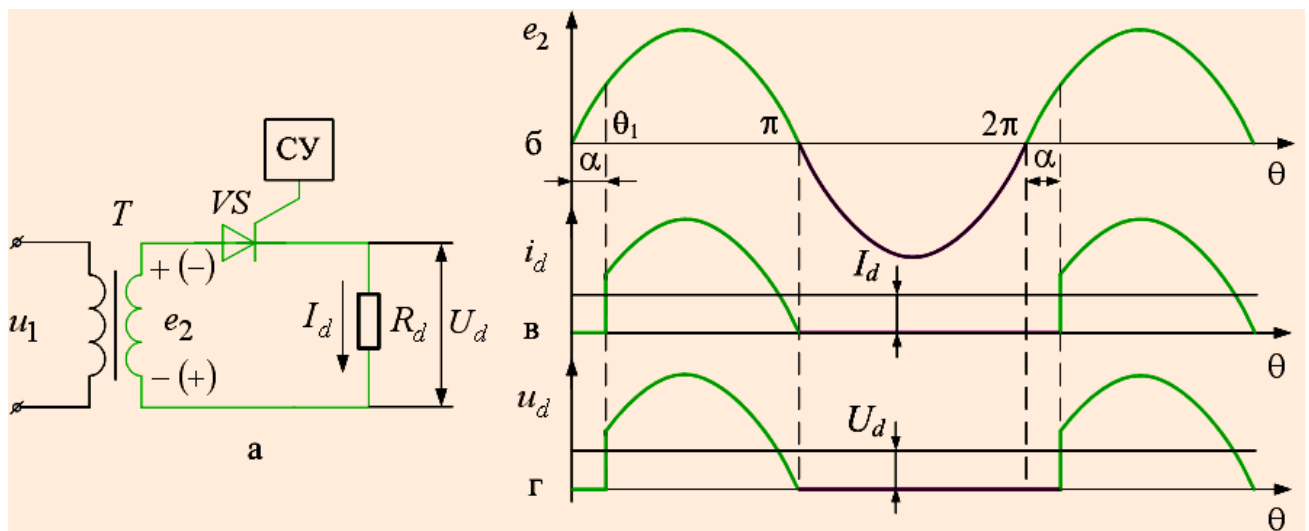


Схема (а) и временные диаграммы (б,в,г) управляемого выпрямителя

Падение напряжения на нагрузке при этом будет равно:

$$u_d = i_d R_d = \sqrt{2}E_2 \sin \theta.$$

В точке π полярность e_2 изменится на противоположную и тиристор закроется (естественная коммутация), так как по отношению к нему эта полярность будет обратной, запирающей. На интервале $(\pi \div 2\pi)$ тиристор открываться не может. В точке 2π полярность снова станет прямой, по отношению к тиристор, но он откроется только в точке $(2\pi + \alpha)$, когда снова поступит сигнал управления и т. д.

Постоянную составляющую напряжения на нагрузке (выпрямленного напряжения) найдем, как:

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2}E_2 \sin \theta d\theta = \frac{\sqrt{2}E_2}{2\pi} (1 + \cos \alpha).$$

Если менять угол в пределах от 0 до π , то получим:

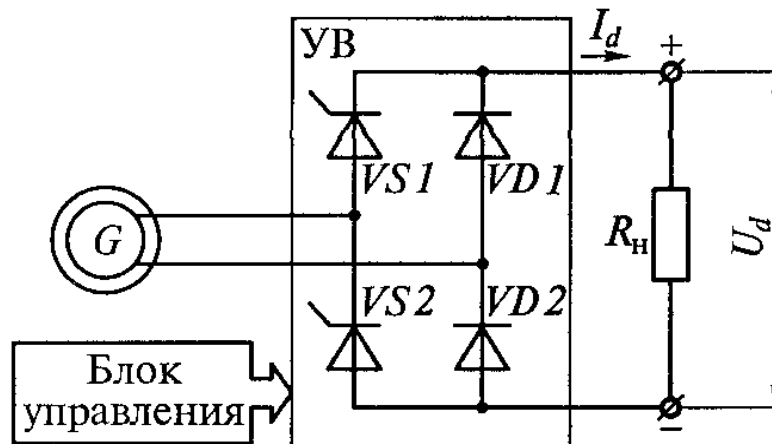
$$U_{d \max} = E_d \Big|_{\alpha=0} = \frac{2\sqrt{2}E_2}{2\pi} = 0,45E_2,$$

$$U_{d \min} = E_d \Big|_{\alpha=\pi} = 0.$$

То есть, меняя угол от 0 до π , изменяем постоянную составляющую выпрямленного напряжения в пределах от $U_{d \max} = 0,45 \cdot E_2$ до 0 .

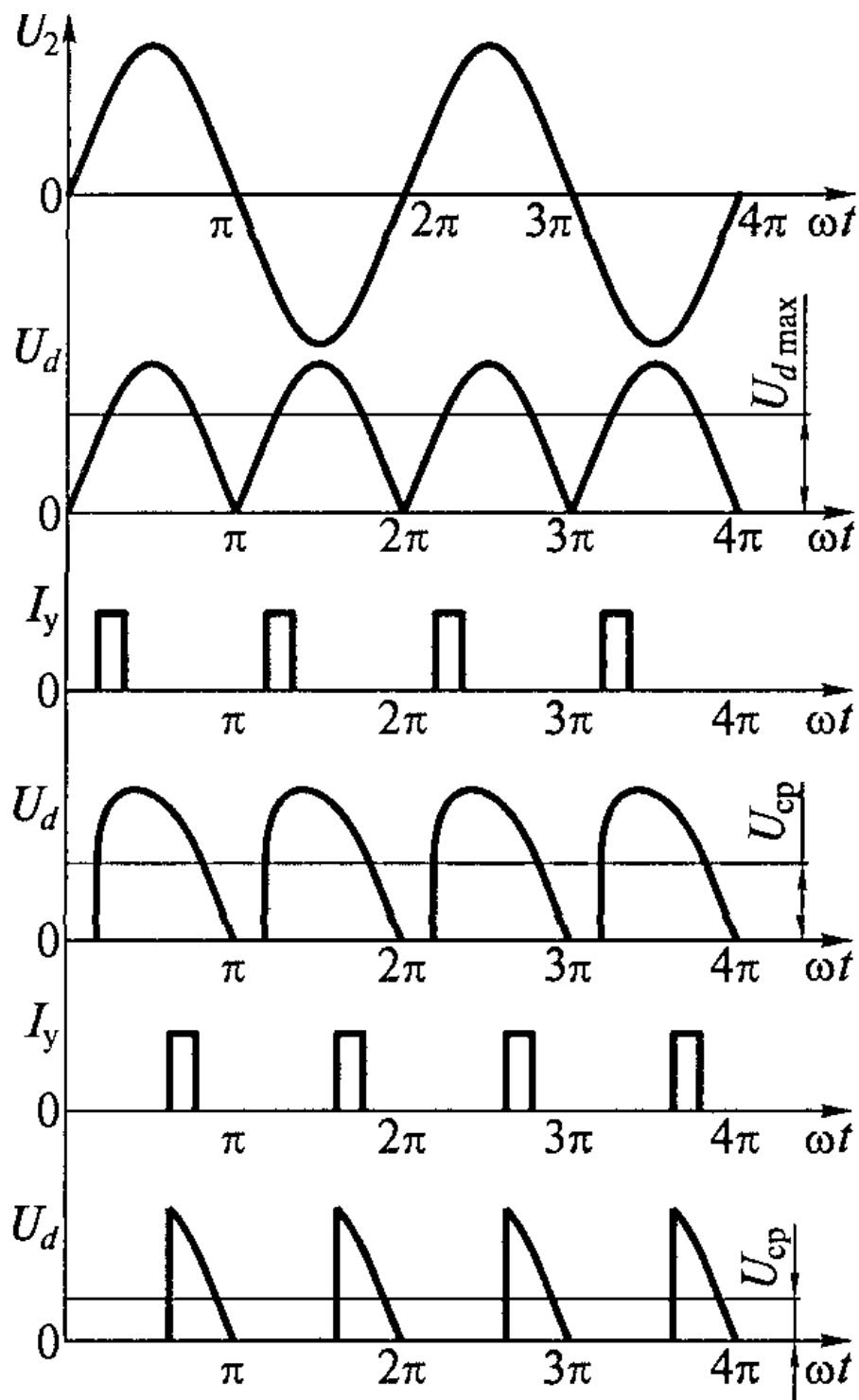
Угол α называется углом управления.

Рассмотрим мостовую схему однофазного управляемого выпрямителя. Однофазные схемы нашли применение в тепловозах 2ТЭ116, ТЭП70, ТЭМ7 в системах регулирования тока обмотки возбуждения тяговых генераторов.



Мостовая схема однофазного управляемого выпрямителя (УВ – управляемый выпрямитель).

На управляющие выводы тиристоров VS1 и VS2 подаются отпирающие импульсы, вырабатываемые системой автоматического регулирования.



Графики изменения напряжений и токов в мостовом однофазном управляемом выпрямителе.

Среднее значение выпрямленного напряжения без учета потерь в коммутационный период зависит не только от α , но и от характера нагрузки. При чисто активной нагрузке кривая выпрямленного тока повторяет кривую напряжения

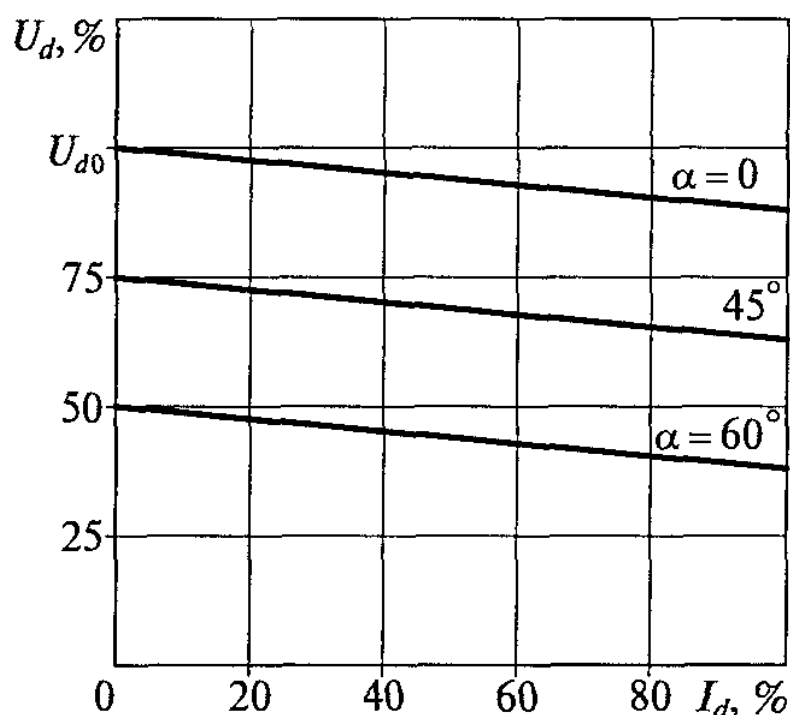
$$U_{d\alpha} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \frac{1 + \cos \alpha}{2} = 0,45 U_2 (1 + \cos \alpha),$$

где U_2 — действующее значение напряжения источника, В.

Среднее значение тока нагрузки при $\alpha \neq 0$:

$$I_{d\alpha} = I_{dH} \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}},$$

где I_{dH} — среднее значение тока нагрузки при $\alpha = 0$, А.



Семейство внешних характеристик управляемого выпрямителя $U_d = f(I_d)$

Анализ кривых тока даёт возможность определить средний ток тиристорov VS1, VS2 и диодов VD1, VD2:

$$I_T = \frac{\pi - \alpha}{2\pi} I_{dH}.$$

Одним из важных энергетических показателей выпрямительных установок является *коэффициент мощности* на входе выпрямителя, который определяет эффективность использования электрической энергии источника напряжения. Коэффициент мощности k_P для электрических цепей, напряжения и токи которых не-синусоидальны, может быть определен как отношение активной мощности P к полной мощности S . После соответствующих преобразований получим

$$k_P = \frac{1 + \cos \alpha}{\sqrt{\pi}}.$$

Анализируя полученную зависимость, можно видеть, что при регулировании выпрямленного напряжения путем изменения угла управления тиристорov α коэффициент мощности k_P снижается при увеличении α .

При работе выпрямителя на активную нагрузку R_H , среднее значение выпрямленного напряжения определяется выражением:

$$U_\alpha = \frac{1 + \cos \alpha}{2} U_0$$

где U_0 - среднее значение напряжения неуправляемого выпрямителя

Среднее значение напряжения на выходе неуправляемого выпрямителя, выполненного по однополупериодной схеме:

$$U_0 = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2.$$

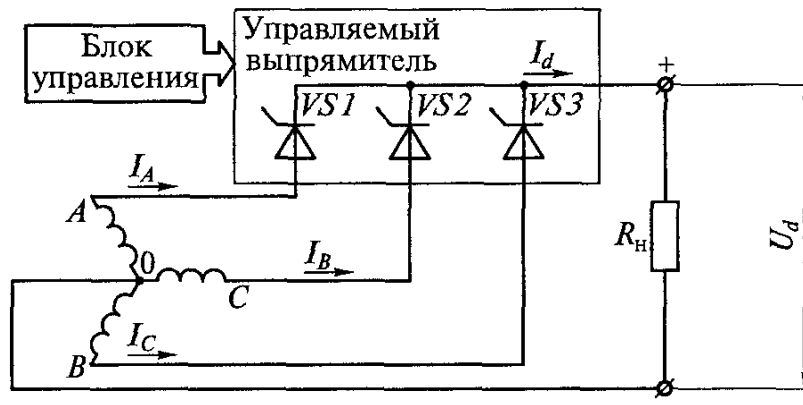
где U_2 - действующее значение напряжения на вторичной обмотке силового трансформатора Тр-2.

Среднее значение выпрямленного тока:

$$I_\alpha = \frac{U_\alpha}{R_H}.$$

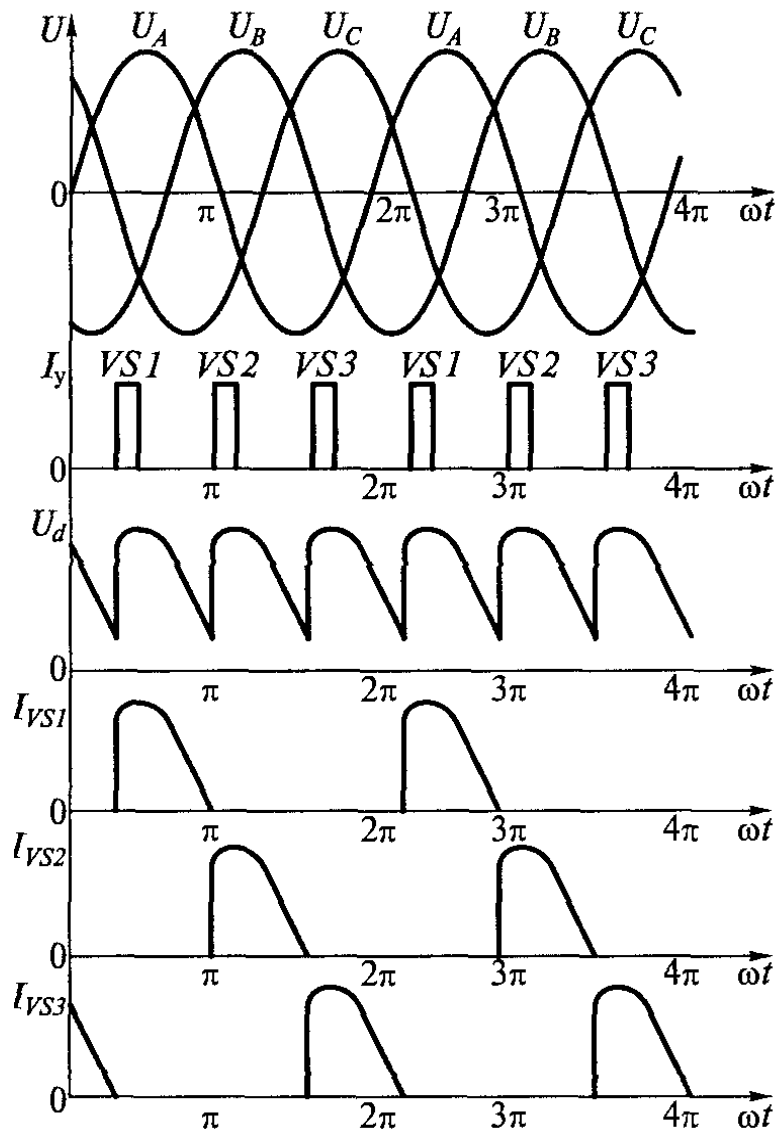
3.4. Трехфазные управляемые выпрямители.

Однополупериодный управляемый выпрямитель трёхфазного напряжения.



На тепловозах ТЭ109, 2ТЭ116УП, 2ТЭ121 устанавливаются *тяговый агрегат*, содержащий тяговый генератор и отопительный генератор. Последний предназначен для питания системы электроснабжения поезда и приводов вспомогательных агрегатов тепловоза. Независимое возбуждение этих генераторов выполнено по системе трехфазная обмотка — управляемый выпрямитель. Формирование тока возбуждения в таких системах осуществляется при помощи двух независимых однополупериодных управляемых (полууправляемых) выпрямителей трехфазного напряжения,

Для открытия одного из тиристоров $VS1$, $VS2$ или $VS3$ необходимо соблюсти два условия: во-первых, на аноде тиристора должен быть положительный потенциал, а во-вторых, на его управляющий электрод должен быть подан сигнал управления. Предположим, что эти условия выполнены для тиристора $VS1$. После его открытия ток от источника напряжения через тиристор $VS1$ и нагрузку R_n потечет к нулевой точке. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока не произойдет смена полярности напряжения данной фазы или не будет открыт тиристор другой фазы, анод которого имеет более высокий потенциал по сравнению с $VS1$.



Графики изменения напряжения и токов в однополупериодном управляемом выпрямителе трёхфазного напряжения.

Полный диапазон изменения угла регулирования α тиристоров в данном выпрямителе составляет 180° град. Как и в однофазном диодно-тиристорном выпрямителе, в рассматриваемом выпрямителе тиристоры включаются по сигналу от системы управления.

Среднее значение выпрямленного напряжения установки можно определить на основании следующего соотношения:

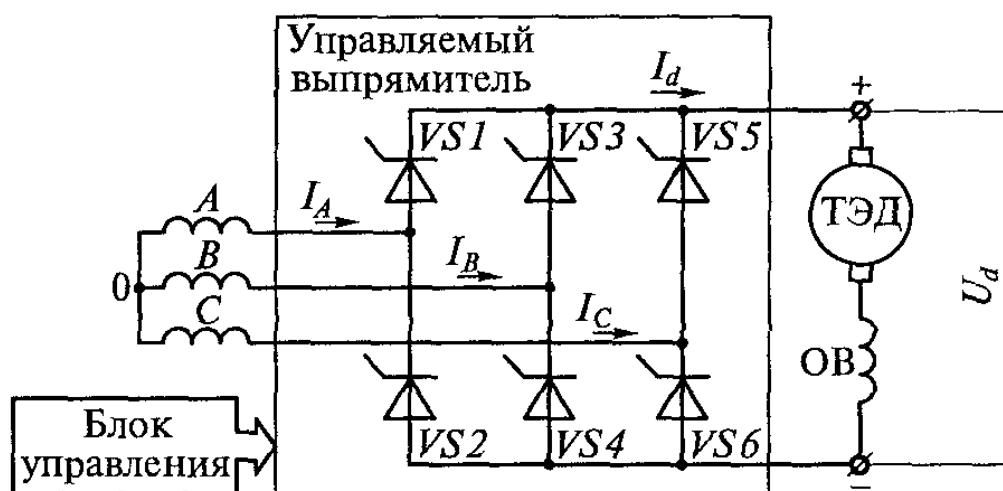
$$U_{cp} = 1,17 U_2 (1 + \cos \alpha).$$

где U_2 действующее значение фазного напряжения.

Средние значения токов, протекающих через тиристоры, могут быть определены по формуле

$$I_{T\text{ ср}} = \frac{1}{2\pi} \frac{2\pi}{3} I_d = \frac{I_d}{3}.$$

Мостовой управляемый выпрямитель трёхфазного напряжения.



ТЭД – тяговый электродвигатель.

На тиристоры от блока управления подаются сдвоенные (с интервалом в $\pi/3 = 60$ эл. град.) импульсы управления или пакеты импульсов длительностью более $\pi/3$. Такой алгоритм следования импульсов необходим для одновременного отпирания одного тиристора в катодной группе и одного тиристора в анодной, чтобы образовалась цепь нагрузки (в данном случае тяговый электродвигатель) при включении выпрямителя и в режиме прерывистого тока при глубоком регулировании.

Открытие одного из тиристоров катодной группы $VS1$, $VS3$, $VS5$ (например, $VS1$) произойдет при наличии на аноде положительного потенциала и подаче на него импульса управления. Открытие одного из тиристоров анодной группы $VS2$, $VS4$, $VS6$ (например, $VS6$) произойдет при наличии на катоде отрицательного потенциала и подаче на него импульса управления. После этого создается цепь от фазы A источника напряжения через тиристор $VS1$, тяговый электродвигатель, тиристор $VS6$ к фазе C источника напряжения. Коммутация в этой схеме происходит при смене полярности приложенного к тиристорам напряжения либо при открытии пары тиристоров с более высокими положительными и отрицательными потенциалами соответственно.

Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_{dcp} = U_{d0} - \Delta U_{d\alpha} - \Delta U_{d\gamma},$$

где $\Delta U_{d\alpha} = 1,17 U_2 (1 - \cos \alpha)$ — потери, обусловленные отклонением формы выпрямленного напряжения от синусоидального, В; $\Delta U_{d\gamma} = 1,17 U_2 [\cos \alpha - \cos (\alpha + \gamma)]$ — потери, обусловленные коммутацией тиристорov, В; $\gamma = \arccos \left(1 - \frac{2 I_d x_L}{\sqrt{6} U_2} \right)$ — угол коммутации, эл. град.; x_L — индуктивное сопротивление нагрузки, Ом.

уравнение внешней характеристики выпрямителя:

$$U_{dcp} = U_{d0} \cos \alpha - \frac{3 I_d x_L}{\pi}.$$

При изменении угла управления с пределах $0 \leq \alpha \leq 60$ эл. град. напряжение и ток выпрямителя непрерывны даже при активной нагрузке. Для этого поддиапазона среднее значение выпрямленного напряжения составляет

$$U_{cpl} = U_{d0} \cos \alpha.$$

При изменении угла управления в пределах $60 \leq \alpha \leq 120$ эл. град. кривая выпрямленного напряжения U_d при активной нагрузке становится прерывистой и среднее значение выпрямленного напряжения можно определить как

$$U_{dcpII} = 1,17 U_2 \left[1 + \cos \left(\frac{\pi}{3} + \alpha \right) \right].$$

Предельным углом управления, при котором $U_d = 0$, в случае активной нагрузки является $\alpha_{\max} = 120$ эл. град.

Системы управления выпрямителями.

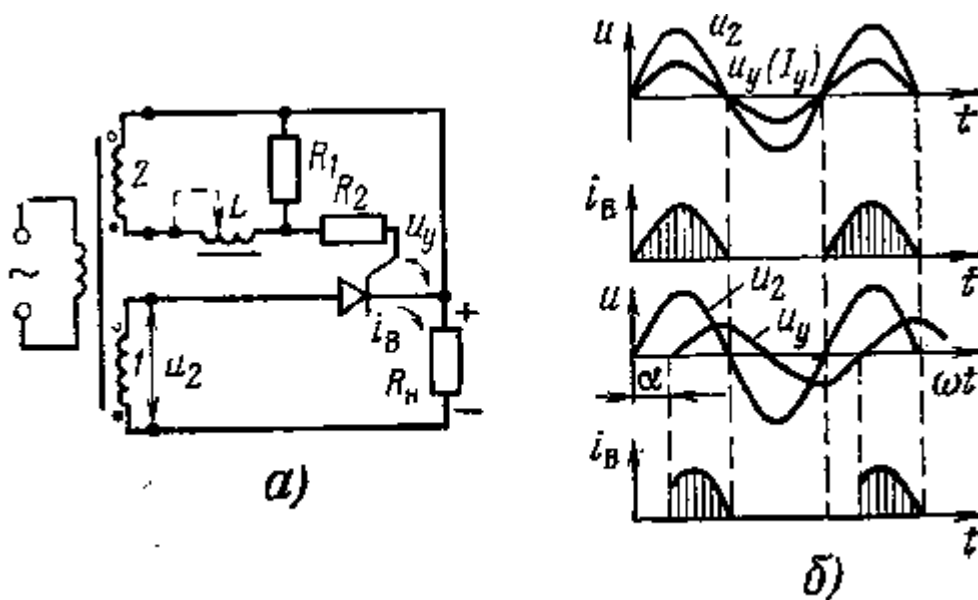
Существует две структуры построения системы управления (СУ) в управляемых выпрямителях:

- одноканальная, где формирование сигналов управления происходит в общем канале, а на выходе канала выполняется распределение импульсов управления по тиристорам. Такая структура используется при большой асимметрии в трехфазных системах. Достоинством одноканальной структуры является: простота системы управления, недостатком - низкое быстродействие и плохое качество стабилизации выходного напряжения выпрямителя.

- многоканальная, в которой все каналы построены по одной структуре. Достоинством многоканальной схемы является: высокое быстродействие и качество стабилизации напряжения в нагрузке, широкий диапазон регулирования. Не допускается использование данной структуры при асимметрии фазных напряжений в трехфазной системе. Эта схема более дорогостоящая по сравнению с одноканальной.



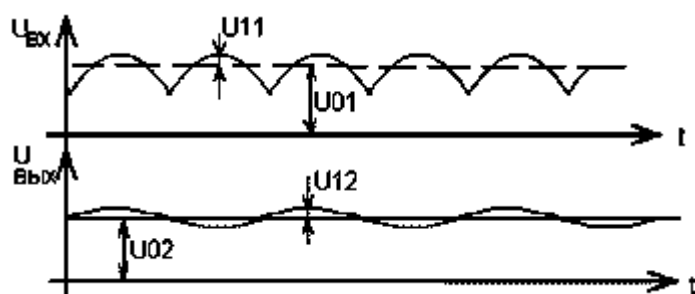
Пример системы управления выпрямителем.



3.5. Сглаживающие фильтры.

Сглаживающий фильтр предназначен для подавления пульсаций выпрямленного напряжения. Он относится к классу низкочастотных фильтров. Критерием качества сглаживающих фильтров является коэффициент сглаживания:

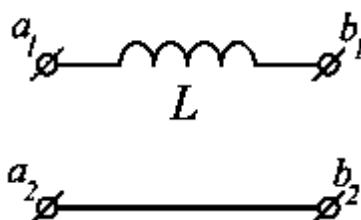
$$k_{\text{сгл}} = K_{\text{п.вх}} / K_{\text{п.вых.}}$$



Классификация фильтров.

- по принципу действия:
 - а) пассивные
 - б) активные
- по степени сложности:
 - а) простые (однозвенные)
 - б) сложные (многозвенные или резонансные);
- по виду элементов:
 - а) LC-фильтры
 - б) RC-фильтры.

Индуктивный сглаживающий фильтр.



Индуктивный сглаживающий фильтр представляет собой катушку индуктивности L (дроссель), активное сопротивление которой $R_{\text{др}}$ постоянному току I невелико и значительно меньше сопротивления нагрузки $R_{\text{н}}$. Поэтому напряжение на нагрузке $U_{\text{РН}}$ близко по значению постоянной составляющей $U_{\text{ср}}$ входного напряжения $U_{\text{вх}}$.

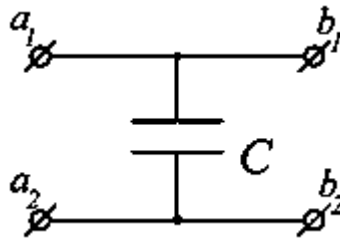
Для переменной составляющей тока $I_{\text{ср}}$ реактивное сопротивление $X_{\text{др}}$ значительно больше сопротивлений $R_{\text{др}}$ и $R_{\text{н}}$, поэтому основное падение напряжения, вызванное

током I приходится на катушку индуктивности, а на нагрузке переменное напряжение невелико.

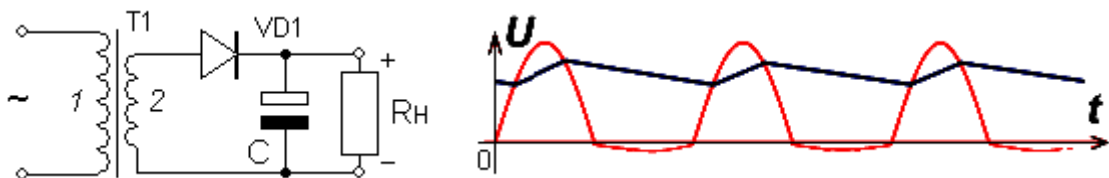
Коэффициент сглаживания такого фильтра может быть определен как:

$$k_{\text{сгл}} = 2 \pi f L / (R_{\text{ДП}} + R_{\text{Н}}).$$

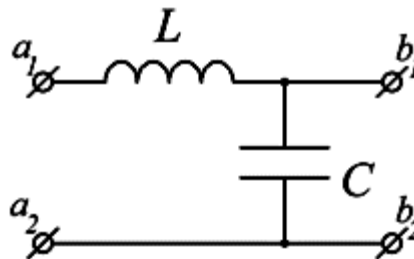
Емкостной фильтр.



Емкостной фильтр представляет собой конденсатор C , сопротивление которого переменному току значительно меньше сопротивления нагрузки $R_{\text{Н}}$. Поэтому общее сопротивление параллельно включенных конденсатора C и нагрузки $R_{\text{Н}}$ оказывается значительно меньше сопротивлений диодов и обмотки трансформатора, являющихся внутренним сопротивлением выпрямителя. Падение напряжения, вызываемое переменной составляющей выпрямленного тока, происходит в основном на внутреннем сопротивлении выпрямителя и лишь незначительное переменное напряжение пульсаций выделяется на нагрузке $R_{\text{Н}}$. Сглаживание пульсаций тем лучше, чем больше емкость конденсатора C и сопротивление нагрузки $R_{\text{Н}}$. Емкостные фильтры широко используются в источниках питания.



Индуктивно-емкостной фильтр (Г-образный).

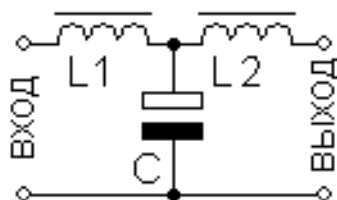


Индуктивно-емкостной (LC) фильтр состоит из катушки индуктивности L и конденсатора C . Коэффициент сглаживания LC-фильтра определяется:

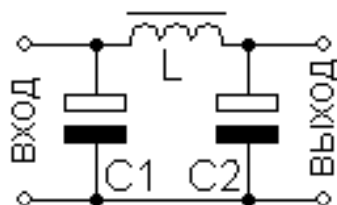
$$k_{\text{сгл}} = 4 \pi f^2 LC - 1$$

LC-фильтры обладают лучшими по сравнению с другими фильтрами параметрами, но громоздки и дороги. Их применяют в выпрямителях, предназначенных для питания выходных каскадов мощных передатчиков на электронных лампах, а также в тиристорных выпрямителях, так как тиристоры могут работать только на индуктивную нагрузку и выходят из строя, если первый элемент сглаживающего фильтра - конденсатор.

Т-образный LC фильтр.



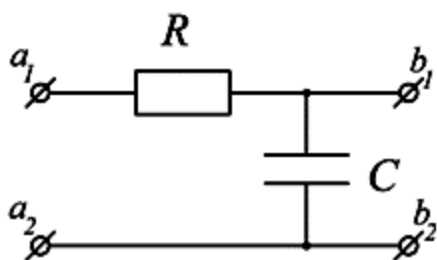
Π – образный LC фильтр.



Резистивно-емкостной фильтр (Г-образный).

Резистивно-емкостной (RC) фильтр состоит из резистора R и конденсатора C. Коэффициент сглаживания RC-фильтра:

$$k_{\text{сгл}} = R(R + R_{\text{H}})2\pi f C$$



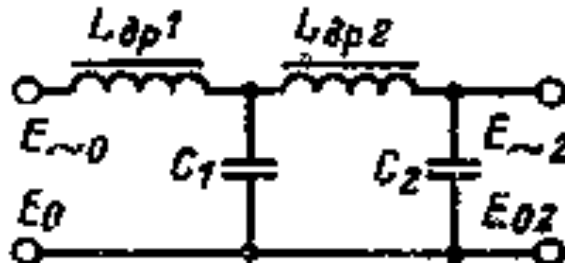
Для увеличения $k_{\text{сгл}}$ номиналы резистора R и конденсатора C должны быть как можно большими, а схема выпрямления иметь наибольшую частоту пульсаций. Однако большое увеличение сопротивления R уменьшает выходное напряжение и КПД фильтра, т.к. на резисторе R рассеивается большая мощность, поэтому его сопротивление рассчитывают по формуле:

$$R = (0,15 \div 0,5)R_{\text{H}}.$$

RC-фильтры просты по конструкции, сравнительно дешевы и применяются в маломощных источниках питания, имеющих ток нагрузки несколько десятков миллиампер.

Двухзвенный LC фильтр.

Для увеличения коэффициента сглаживания можно последовательно с одним звеном LC-фильтра включить точно такое же второе звено.



Коэффициент сглаживания $k_{сгл} = k_{сгл1} \cdot k_{сгл2}$

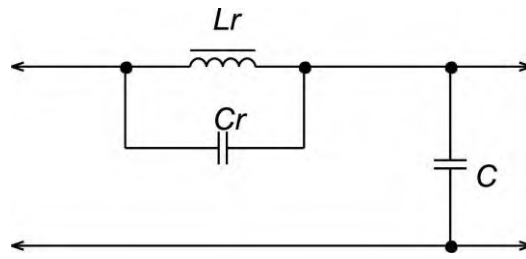
Сглаживающие LC-фильтр с резонансным контуром.

Уменьшить напряжение пульсаций на выходе однозвенного LC-фильтра можно также, если параллельно дросселю $Dp1$ включить бумажный конденсатор $C2$, который вместе с индуктивностью дросселя $Dp1$ образует параллельный колебательный контур. Сопротивление контура на резонансной частоте значительно выше сопротивления дросселя. Поэтому, если емкость конденсатора $C2$ выбрать такой, чтобы резонансная частота контура $C2Dp1$ равнялась частоте пульсаций (50 Гц при однополупериодном выпрямлении или 100 Гц при двухполупериодном выпрямлении), большая часть напряжения пульсаций выделится в этом контуре и незначительная пойдет в нагрузку.

Резонансные сглаживающие фильтры используются на выходе выпрямительных устройств, в которых переменная составляющая выпрямленного напряжения близка по уровню к первой гармонике. Также они используются для аппаратуры, которая не чувствительна к высшим гармоническим составляющим напряжения. При больших отклонениях частоты питающего напряжения происходит “расстройка” относительно собственной частоты контура, что ухудшает сглаживающие свойства фильтра. Поэтому не допускается использование таких фильтров при больших отклонениях частоты питающего напряжения. Изменение тока нагрузки приводит к изменению индуктивности контура, что также уменьшает значение коэффициента сглаживания. Для исключения этого явления в дроссель вводят зазор или обмотку обратной связи, поддерживающую постоянство индуктивности. Последнее приводит к громоздкости фильтра и уменьшению его к.п.д., поэтому рекомендуется использовать такие фильтры при постоянстве тока нагрузки.

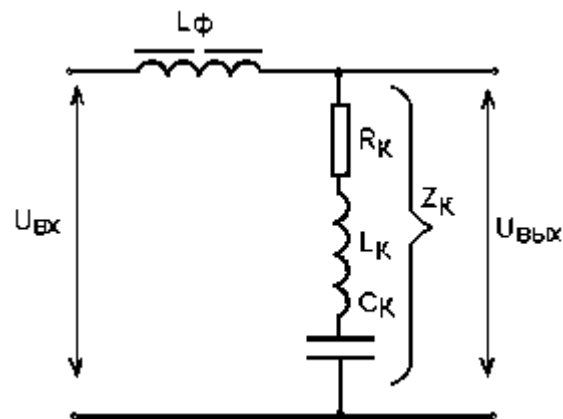
Существует две модификации резонансных сглаживающих фильтров.

1. Фильтр с параллельным колебательным контуром (фильтр “пробка”).



$$K_{\text{сгл}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot L_r / C_r \cdot R_r$$

2. Резонансный фильтр с последовательным колебательным контуром (режекторный фильтр).



$$K_{\text{сгл}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\phi} / R_k$$

3.6. Активные фильтры.

Для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения широко применяются фильтры с транзисторами. Они называются активными фильтрами.

Классификация транзисторных сглаживающих фильтров.

1. По способу подключения транзистора относительно потребителя:
 - последовательные ТСФ;
 - параллельные ТСФ;
2. По типу цепи транзистора, в которую подключается потребитель:
 - коллекторные ТСФ;
 - эмиттерные ТСФ;
3. По способу питания:
 - прямое питание транзисторов (от входного сглаженного напряжения);
 - косвенное питание (когда применяется дополнительный источник постоянного напряжения (тока));
4. По принципу действия:
 - ослабляющие ТСФ;
 - компенсационные ТСФ (напряжение с другой полярностью);
5. По способу управления транзистором:
 - ТСФ с управлением со входа;
 - ТСФ с управлением с выхода;
 - ТСФ с комбинированным управлением.

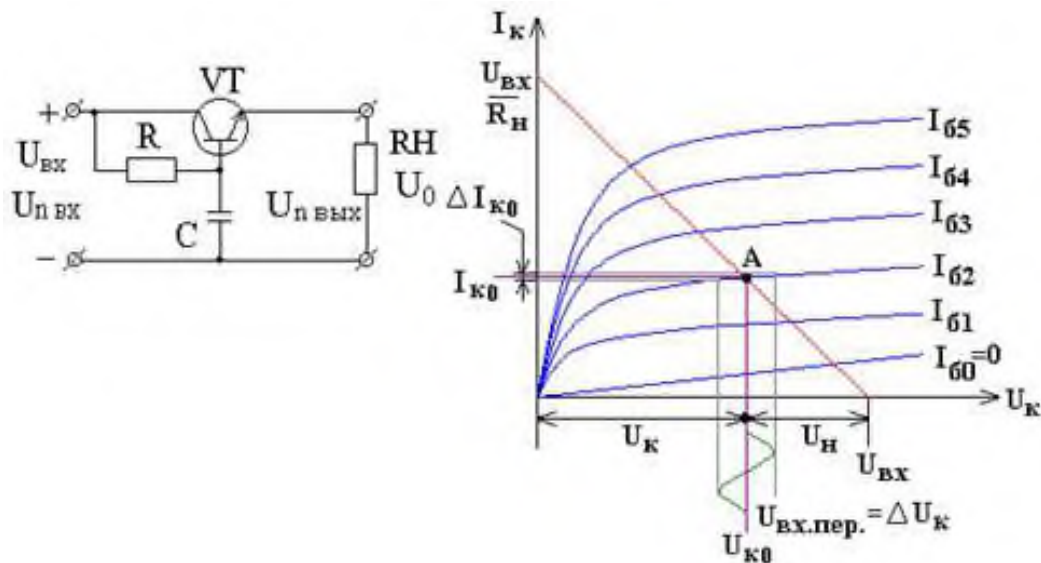
Достоинства ТСФ.

- высокие качественные и энергетические показатели;
- широкий диапазон частот;
- простота конструкции;
- малая зависимость коэффициента сглаживания от изменений тока нагрузки;
- малые магнитные поля из-за отсутствия индуктивности в схеме фильтра;
- отсутствие опасных режимов при возникновении переходного процесса, т.к. нет перенапряжения при “сбросе” тока нагрузки.

К недостаткам ТСФ можно отнести: снижение к.п.д. устройства при увеличении тока нагрузки из-за увеличения потерь на транзисторе; необходимость защиты транзистора в переходных режимах.

Принцип действия активных фильтров основан на свойстве транзистора создавать различные сопротивления для переменного и постоянного токов. Характерны два способа построения фильтров. Первый способ состоит в том, что транзистор включается по схеме с общим коллектором.

Ток коллектора I_K в схеме фильтра ОК мало зависит от величины приложенного к переходу коллектор- эмиттер напряжения U_K при постоянном значении тока базы. На рисунке приведены графики зависимости $I_K = f(U_K)$ при $I_B = \text{const}$.



Если провести на графике нагрузочную прямую ($U_K = U_{ВХ}$ при $I_{К0} = 0$ и $I_K = U_{ВХ} / R_H$ при $U_K = 0$) и выбрать на ней рабочую точку $A \{ U_{К0}, I_{К0} \}$, то сопротивление транзистора переменной составляющей тока в точке A

$$R_D = \Delta U_K / \Delta I_K$$

будет много больше его сопротивления постоянному току

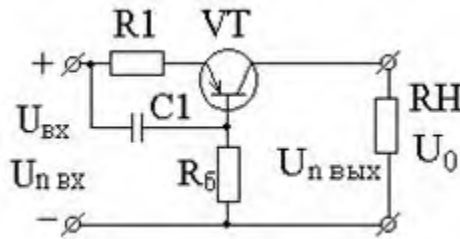
$$R_C = U_{К0} / I_{К0}, \text{ т.е.}$$

$$R_D \gg R_C.$$

Соответственно переменная составляющая выпрямленного напряжения $U_{В.ПЕР.}$ на входе фильтра вызывает небольшие изменения тока коллектора ΔI_K при условии, что ток базы $I_B = \text{const}$. Переменная составляющая напряжения на выходе фильтра $U_{ВЫХ.ПЕР.} = \Delta I_K R_H$ получается значительно ослабленной по сравнению с $U_{В.ПЕР.}$.

Таким образом, сглаживание пульсаций в фильтре ОК обеспечивается R_C фильтром в базовой цепи, а транзистор VT предназначен для усиления сигнала по мощности (эмиттерный повторитель). Резистор R задаёт режим работы транзистора по постоянному току, устанавливая ток базы.

Второй способ построения активного фильтра состоит в том, что транзистор включается по схеме с общей базой:



Режим работы транзистора по постоянному току определяется величиной $R_б$, а сглаживающее действие – постоянной времени цепочки R_1C_1 . Эта цепь стабилизирует ток эмиттера, если $R_1C_1 \gg T_n$, где T_n – период пульсации. В этом режиме транзистор обладает большим дифференциальным сопротивлением и малым статическим, что эквивалентно дросселю в LC-фильтрах.

3.7. Стабилизаторы напряжения и тока.

Стабилизатор напряжения (или тока) – это устройство, автоматически обеспечивающее поддержание напряжения (или тока) нагрузочного устройства с заданной степенью точности.

Напряжение (или ток) нагрузочного устройства может сильно изменяться при воздействии внешних факторов, (изменение напряжения в сети, изменение температуры, колебание частоты). Чтобы эти факторы не оказывали влияния на работу электрических устройств, применяют стабилизаторы.

Классификация стабилизаторов.

1) по стабилизируемой величине :

- стабилизаторы напряжения;
- стабилизаторы тока;

2) по способу стабилизации:

- параметрические (без обратной связи);
- компенсационные (с обратной связью).

Параметры стабилизатора.

1) Коэффициент стабилизации - отношение относительного изменения напряжения (тока) на входе к соответствующему относительному изменению напряжения (тока) на выходе стабилизатора.

$$K_{ст} = (\Delta U_{вх} / U_{вх}) / (\Delta U_{вых} / U_{вых}), \text{ где}$$

$U_{вх}$ и $U_{вых}$ напряжения на входе и выходе стабилизатора,

$\Delta U_{вх}$ и $\Delta U_{вых}$ изменения напряжений на входе и выходе стабилизатора.

(* для тока аналогично)

2) Выходное сопротивление.

$$R_{вых} = \Delta U_{вых} / \Delta I_{вых}, \text{ где}$$

$\Delta U_{вых}$ изменение постоянного напряжения на выходе стабилизатора,

$\Delta I_{вых}$ изменение постоянного выходного тока стабилизатора, которое вызвало изменение выходного напряжения.

3) Коэффициент полезного действия стабилизатора - отношение мощности, отдаваемой в нагрузку P_H , к мощности, потребляемой от входного источника напряжения $P_{вх}$.

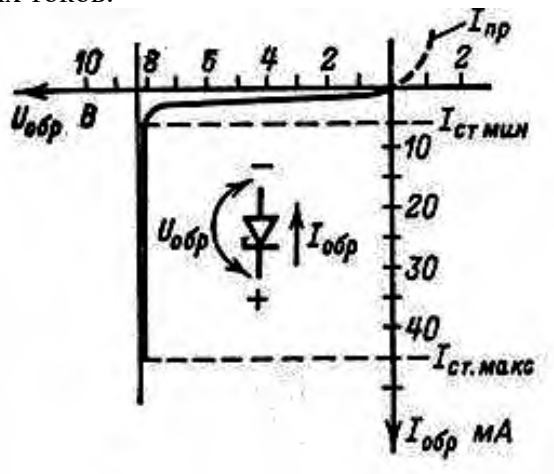
$$\eta_{ст} = P_H / P_{вх}$$

Стабилизирующие элементы.

Стабилитрон.

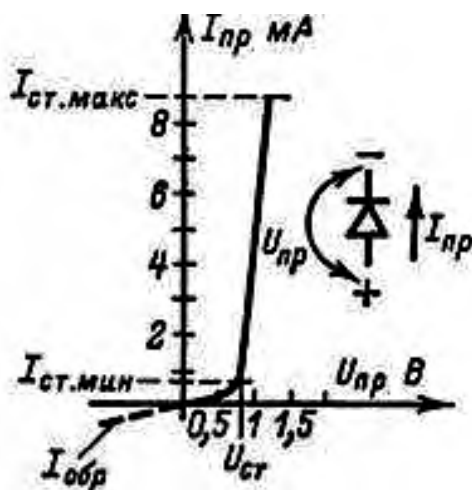


Полупроводниковый стабилитрон, или диод Зенера - полупроводниковый диод, работающий при обратном смещении в режиме пробоя. В режиме пробоя напряжение на стабилитроне поддерживается с заданной точностью в широком диапазоне обратных токов.



Стабистор.

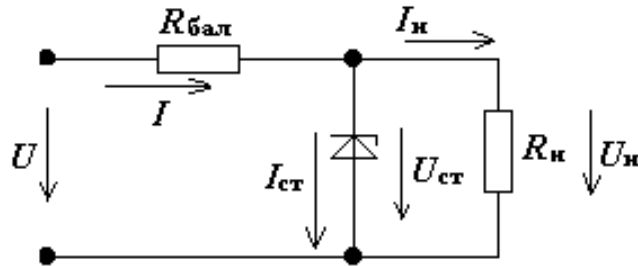
Стабистор - полупроводниковый диод, в котором для стабилизации напряжения используется прямая ветвь вольт-амперной характеристики. Отличительной особенностью стабисторов по сравнению со стабилитронами является меньшее напряжение стабилизации (примерно 0,7 В).



Параметрические стабилизаторы.

Параметрические стабилизаторы имеют простую конструкцию и высокую надежность, но имеют низкий КПД.

Схема параллельного параметрического стабилизатора напряжения состоит из балластного резистора $R_{\text{бал}}$ (для ограничения тока через стабилитрон), и стабилитрона, подключенного параллельно нагрузке, выполняющий основную функцию стабилизации.



Основные соотношения токов и напряжений в стабилизаторе определяются первым и вторым законами Кирхгофа:

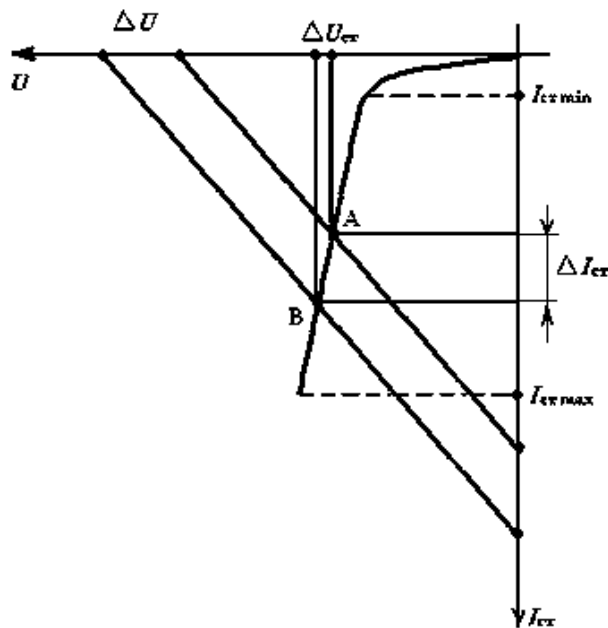
$$I = I_{\text{ст}} + I_{\text{н}}$$

$$U = I \cdot R_{\text{бал}} + U_{\text{н}}$$

$$U_{\text{н}} = U_{\text{ст}}$$

При изменении напряжения на входе стабилизатора U , происходит соответствующее изменение тока I , а, следовательно, изменятся токи стабилитрона и нагрузки. Однако при изменении тока стабилитрона напряжение на нем изменится на очень маленькую величину в соответствии с ВАХ стабилитрона, т.е. почти не изменится. Согласно второму закону Кирхгофа, при изменении входного напряжения, падение напряжения на балластном сопротивлении изменится пропорционально току, и окажется равным приращению входного напряжения.

$$U \pm \Delta U = (I_{\text{ст}} + I_{\text{н}} \pm \Delta I_{\text{ст}}) \cdot R_{\text{бал}} + U_{\text{н}}$$



Принимая, $U = \text{const}$ и $R_H = \text{const}$, получаем $I_H = \text{const}$, при этом условие сохранения рабочей точки стабилитрона на участке АВ вольтамперной характеристики определяется по формуле:

$$\pm \Delta U = \pm \Delta I_{\text{СТ}} R_{\text{бал}}$$

Из этого следует, что нормальная работа будет обеспечена соответствующим выбором величины балластного сопротивления. Тогда, при изменении напряжения на входе стабилизатора, не нарушаются нормальные пределы стабилизации выходного напряжения U_H .

При стабилизации напряжения принимая, $I_H = \text{var}$ и $R_H = \text{var}$ и $U = \text{const}$, на входе стабилизатора происходит перераспределение токов между нагрузкой и стабилитроном с сохранением неизменным напряжения на стабилитроне и падения напряжения на балластном сопротивлении в соответствии с уравнением:

$$U = I \cdot R_{\text{бал}} + U_H = ((I_H \pm \Delta I_H) + (I_{\text{СТ}} \pm \Delta I_{\text{СТ}})) \cdot R_{\text{бал}} + U_H$$

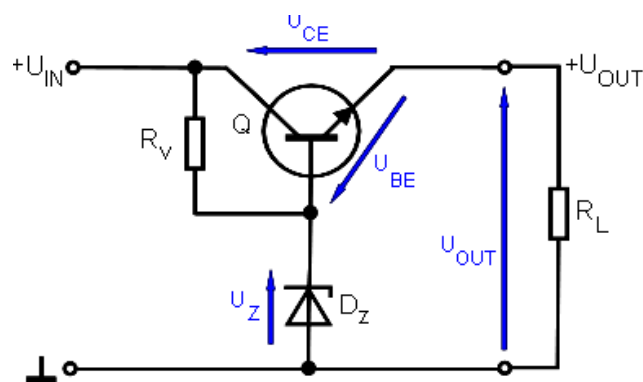
Для нормальной работы стабилизатора, при изменяющейся нагрузке, изменение тока не должно приводить к выходу тока стабилитрона за пределы максимального и минимального допустимых его значений.

При условии $U = \text{const}$ и $R_H = \text{const}$, расчет стабилизатора сводится к тому, чтобы выбрать стабилитрон и выбрать величину $R_{\text{бал}}$.

$$R_{\text{бал}} = \frac{U_{\text{min}} - U_H}{I_{\text{СТ min}} + I_H}$$

Балластное сопротивление определяет основные потери стабилизатора, поэтому параметрические стабилизаторы используют только в маломощных схемах.

Схема последовательного параметрического стабилизатора напряжения на биполярном транзисторе.



$$U_{\text{out}} = U_Z - U_{\text{be}}$$

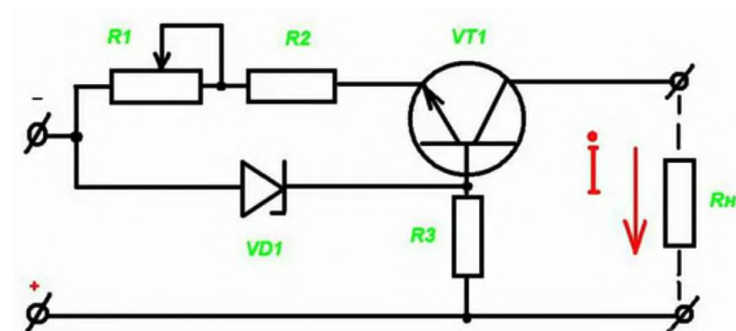
По сути, это параллельный параметрический стабилизатор на стабилитроне, подключённый ко входу эмиттерного повторителя. В нём нет цепей обратной связи, обеспечивающих компенсацию изменений выходного напряжения.

Его выходное напряжение меньше напряжения стабилизации стабилитрона на величину U_{be} , которая практически не зависит от величины тока, протекающего через р-п переход.

Зависимость U_{be} от величины тока и температуры ухудшает стабильность выходного напряжения, по сравнению с параллельным параметрическим стабилизатором на стабилитроне.

Эмиттерный повторитель (усилитель тока) позволяет увеличить максимальный выходной ток стабилизатора, по сравнению с параллельным параметрическим стабилизатором на стабилитроне, в β раз (где β - коэффициент усиления по току данного экземпляра транзистора).

Схема параметрического стабилизатора тока.



Пусть $R_N = \text{const}$, а входное напряжение увеличивается, при этом ток, протекающий через R_N , то же увеличивается. В результате, увеличиться ток, протекающий через резисторы $R1$ и $R2$, и соответственно напряжение на них. Напряжение на стабилитроне:

$$U_{VD1} = U_{R1} + U_{R2} + U_{VT1}(\beta)$$

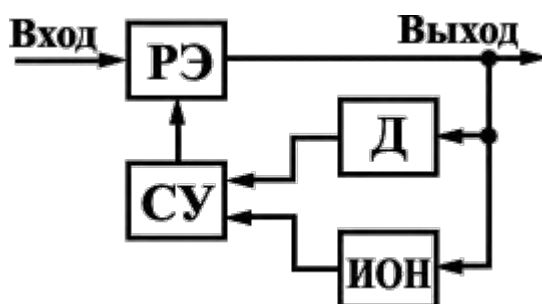
Но напряжение на стабилитроне остаётся неизменным, поэтому $U_{VT1}(\beta)$ уменьшиться и увеличиться сопротивление между эмиттером и коллектором $VT1$. Ток эмиттер – коллектор транзистора и ток, проходящий через R_N будет уменьшаться, т. е. возвращаться к первоначальному значению.

3.8. Компенсационный стабилизатор напряжения (КСН).

Принцип действия КСН основан на изменении сопротивления регулирующего элемента в зависимости от управляющего сигнала.

КСН бывают последовательного и параллельного типа.

Структурная схема КСН последовательного типа.



РЕ - регулирующий элемент, в качестве которого чаще всего используется транзистор,
СУ - схема управления управляет работой РЕ (иногда вместо СУ изображают усилитель постоянного тока УПТ). УПТ усиливает сигнал рассогласования и подаёт его на РЕ.

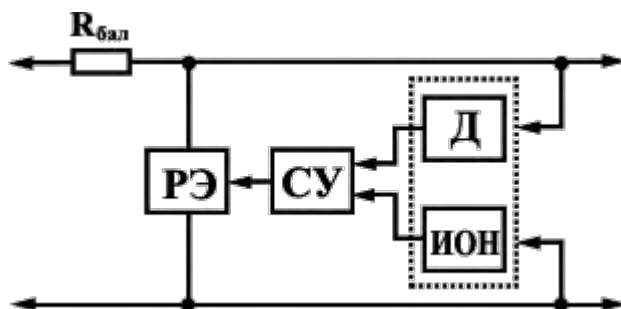
Д - делитель напряжения,

ИОН - источник опорного напряжения. В качестве ИОН применяют схему параметрического стабилизатора.

Источник опорного напряжения и делитель объединяют в измерительный элемент (ИЭ).

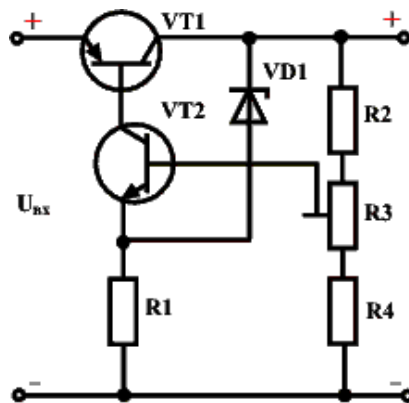
Схема называется последовательной из-за включения РЕ последовательно с нагрузкой. ИОН задает опорное напряжение, поступающее на вход СУ. С делителя часть выходного напряжения (соизмеримого с напряжением ИОН) также подается на вход схемы управления (СУ). В результате сравнения выходного напряжения (или его части) с опорным, СУ управляет РЕ, сопротивление которого меняется в ту или иную сторону.

Структурная схема КСН параллельного типа.



Принцип действия основан на изменении проводимости РЕ (в соответствии с управляющим сигналом), вызывающее изменение падения напряжения на балластном резисторе. Достоинство схемы в том, что при импульсном изменении тока нагрузки не происходит изменения тока, потребляемого от сети.

Простая принципиальная схема последовательного КСН.

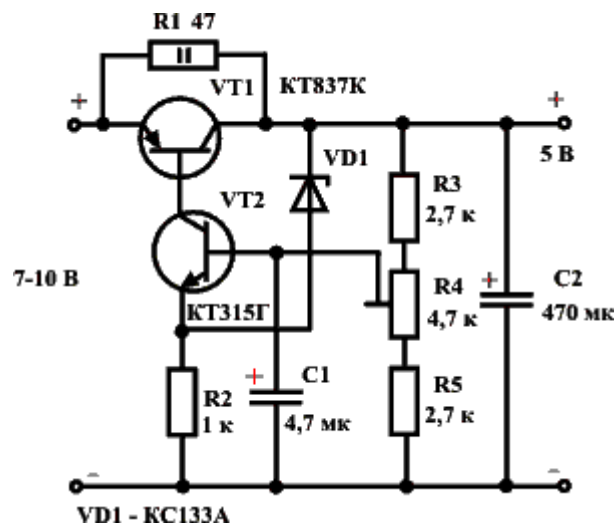


Функции РЭ выполняет транзистор VT1. ИОН образован резистором R1 и стабилитроном VD1 (это параметрический стабилизатор). Делитель состоит из резисторов R2-R4. На транзисторе VT2 собран усилитель постоянного тока (УПТ). ИОН задает для УПТ образцовое напряжение, которое вводится в цепь эмиттера транзистора VT2. На базу транзистора поступает напряжение с делителя. Если изменяется выходное напряжение, то соответственно, и напряжение на базе транзистора VT2, который, сравнивая это напряжение с напряжением на эмиттере, задает РЭ такой режим работы, что сопротивление его перехода изменяется, и напряжение на нагрузке остается постоянным. С помощью резистора R3 можно регулировать выходное напряжение.

Такая схема обладает защитой от короткого замыкания (КЗ). При КЗ обесточивается стабилитрон VD1 и транзисторы VT1, VT2 закрываются.

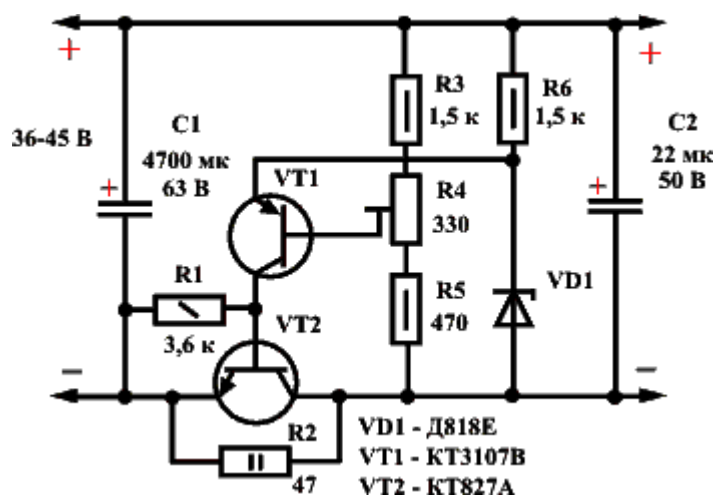
На практике один из вариантов такой схемы можно встретить с резистором между коллектором и эмиттером РЭ. Он необходим для нормальной работы стабилизатора при отрицательных температурах.

Практическая схема стабилизатора.



Резистором R4 подстраивают выходное напряжение. Подбирая стабилитрон VD1 можно изменять выходное напряжение (при изменении входного, соответственно). При этом надо менять сопротивление резистора R1. Две черточки на его изображении обозначают мощность (2 Вт). При больших токах нагрузки R1 греется. Транзистор VT1 необходимо установить на радиатор, площадью не менее 50 см².

Одной из разновидностей таких схем является схема с "холодным" коллектором. Регулирующий транзистор включается в цепь общего провода, а не "горячего". Поэтому, изолировать транзистор от радиатора (в отличие от вышеописанной схемы) не надо. Коллектор мощных транзисторов электрически соединен с корпусом транзистора или его частью для лучшего теплового контакта.



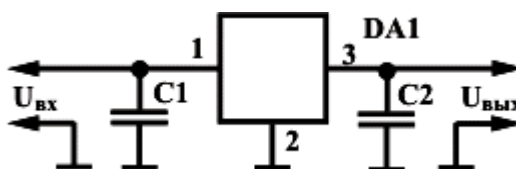
В качестве регулирующего транзистора использован КТ827А. Недосток схемы небольшой ток нагрузки. Для стабилизатора необходим отдельный выпрямитель.

Стабилизаторы напряжения на интегральных микросхемах.

В настоящее время широкое распространение получили интегральные стабилизаторы.



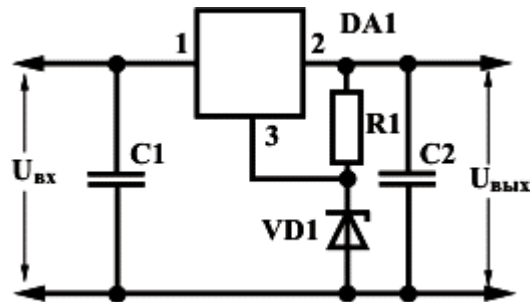
Схема с фиксированным выходным напряжением (типовая схема включения КР142ЕН5).



Конденсаторы C1, C2 включены для повышения устойчивости стабилизаторов (0,33 мкФ÷1 мкФ).

Для стабилизатора имеется возможность увеличения выходного напряжения до 10% (но не более, чем $U_{вх}$). Для этого устанавливается стабилитрон.

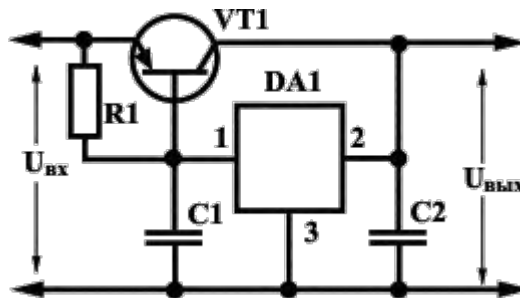
Увеличение выходного напряжения.



Выходное напряжение повышается на величину напряжения стабилизации стабилитрона $U_{ст}$.

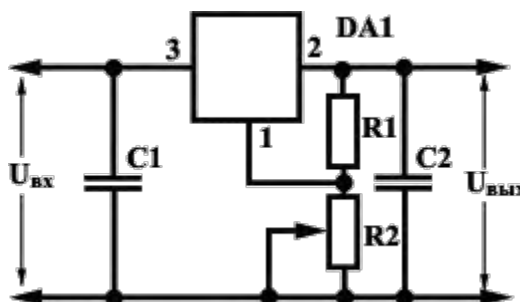
Для увеличения выходного тока, а, следовательно, мощности в схему стабилизатора устанавливают транзистор.

Увеличение мощности стабилизатора.



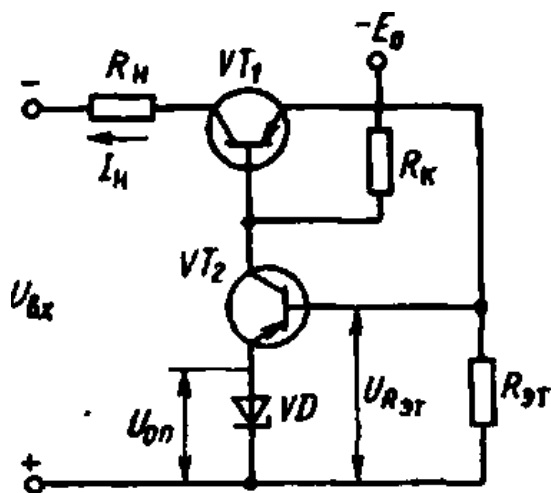
Вместе с внутренним выходным транзистором интегрального стабилизатора транзистор VT1 образует составной транзистор. Недостаток схемы в том, что схема ограничения тока и цепь защиты выходного транзистора стабилизатора не используется.

Схема с регулируемым выходным напряжением (типовая схема включения КР142ЕН12).



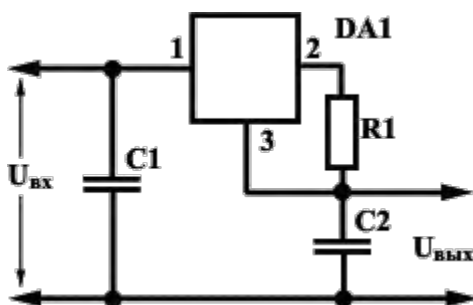
3.9. Компенсационный стабилизатор тока. Импульсные стабилизаторы.

В компенсационных стабилизаторах тока (КСТ) последовательно с нагрузкой включается эталонный резистор R эт напряжение на котором стабилизируется с помощью обычного стабилизатора напряжения. Таким образом, при изменении нагрузки R_H ток, протекающий через нее, останется неизменным.



Сигнал рассогласования $U_p - U_{оп}$ усиливается с помощью усилителя постоянного тока, выполненного на транзисторе VT_2 и воздействует на регулирующий элемент (транзистор VT_1).

КСТ на интегральной микросхеме.



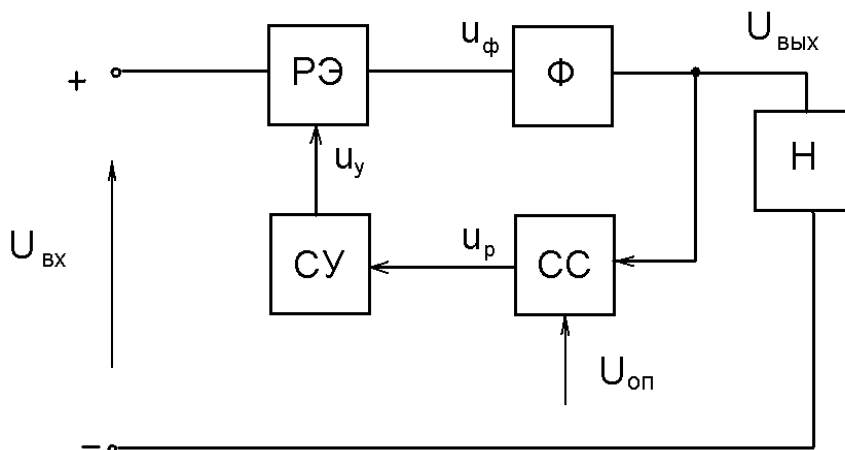
Сопротивление резистора $R1$ определяется по формуле:

$$R1 = U_{\text{ВЫХ.НОМ}} / I_{\text{ВЫХ}}$$

На резисторе $R1$ падает напряжение, равное номинальному выходному напряжению стабилизатора. Это составляет для КР142ЕН5 около 5 В, что приводит к большим потерям энергии в резисторе. Поэтому в такой схеме целесообразно использовать ИМС регулируемого стабилизатора, например, КР142ЕН12, у которого, при указанной схеме включения, это напряжение составит 1,2 В.

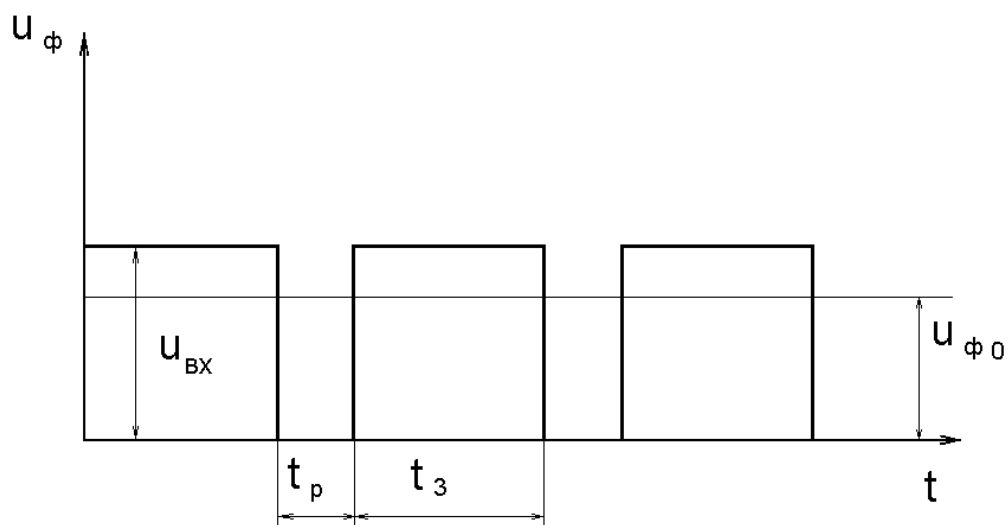
Импульсные стабилизаторы.

Все рассмотренные стабилизаторы были линейными. Линейный стабилизатор представляет собой делитель напряжения, на вход которого подаётся входное (нестабильное) напряжение, а выходное (стабилизированное) напряжение снимается с нижнего плеча делителя. Недостатком линейных (непрерывного действия) стабилизаторов является низкий КПД (менее 60 %). Применение импульсного режима работы регулирующего элемента (транзистора) стабилизатора увеличивает КПД до 80 %.



Н – нагрузка
 СС – схема сравнения
 СУ – схема управления
 РЭ – регулирующий элемент
 Ф – сглаживающий фильтр.

Нагрузка последовательно через сглаживающий фильтр и ключевой регулирующий элемент подключена к источнику входного напряжения ($U_{ВХ}$). Выходное нагрузочное напряжение $U_{ВЫХ}$ сравнивается с эталонным опорным напряжением $U_{оп}$. Сигнал рассогласования $U_р$, формируемый схемой сравнения, воздействует на схему управления, которая вырабатывает импульсы, управляющие временем замыкания и размыкания регулирующего элемента. В результате к входу сглаживающего фильтра приложено импульсное напряжение $U_ф$.



Среднее значение этого напряжения $U_{ф0}$ зависит от соотношения времени замкнутого t_z и разомкнутого t_p состояний ключа РЭ.

$$U_{ф0} = U_{вх} \frac{t_z}{t_z + t_p} = U_{вх} \frac{t_z}{T} = U_{вх} t_z f = U_{вх} / Q,$$

где $T = t_z + t_p$ — период, f — частота переключения ключевого элемента, $Q = T/t_z$ — скважность последовательности импульсов.

Изменяя параметры t_z и f , можно регулировать напряжение $U_{ф0}$ так, чтобы выходное напряжение стабилизатора оставалось неизменным. Изменение параметров t_z и f можно рассматривать как модуляцию входного напряжения.

Модуляция входного напряжения.

1. Широтно — импульсная модуляция (ШИМ), когда изменяется длительность управляющих импульсов t_z , а частота импульсов f остаётся постоянной.
2. Частотно — импульсная модуляция, когда изменяется частота управляющих импульсов f , а длительность импульсов t_z остаётся постоянной.
3. Широтно — частотная модуляция, когда изменяется частота f и длительность t_z управляющих импульсов.

Чаще используются стабилизаторы с ШИМ. В качестве схемы управления в таких стабилизаторах может использоваться генератор прямоугольных импульсов.

Основные типы современных стабилизаторов.

- электродинамические сервоприводные (механические)
- статические (электронные переключаемые)
- релейные
- компенсационные (электронные плавные)
- комбинированные (гибридные)

1) Модели производятся как в однофазном (220/230 В) и трёхфазном (380/400 В) исполнении, мощностью от сотен ватт до мегаватт.

2) Трёхфазные модели выпускаются двух модификаций: с независимой регулировкой по каждой фазе и с регулировкой по среднефазному напряжению.

3) Стабилизаторы различаются по допустимому диапазону изменения входного напряжения ($\pm 15\%$, $\pm 20\%$, $\pm 25\%$, $\pm 30\%$, $-25\%/+15\%$, $-35\%/+15\%$, $-45\%/+15\%$). Чем шире диапазон (особенно в отрицательную сторону), тем больше габариты стабилизатора и выше его стоимость при той же выходной мощности.

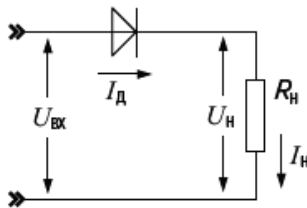
4) Важная характеристика - быстродействие, то есть чем выше быстродействие, тем быстрее стабилизатор отреагирует на изменения входного напряжения. Быстродействие это промежуток времени (миллисекунды) за которое стабилизатор способен изменить напряжение на один вольт.

5) Точность стабилизации выходного напряжения современных стабилизаторов колеблется в диапазоне от 1% до 8%. Точности в 8% хватает для обеспечения исправной работы бытовой и промышленной аппаратуры. Более жесткие требования (1%) предъявляются для питания сложного оборудования (военное, медицинское, высокотехнологичное).

3.10. Тесты для самоконтроля по разделу 3.

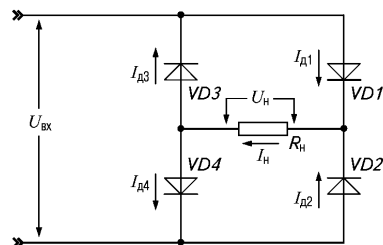
1. Выпрямление это
 - А) преобразование переменного тока в постоянный
 - Б) преобразование постоянного тока в переменный
 - В) преобразование переменного тока одной частоты в переменный ток другой частоты
 - Г) преобразование переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения

2. На рисунке показана схема



- А) однофазного однополупериодного выпрямителя
 - Б) однофазного двухполупериодного выпрямителя со средней точкой
 - В) однофазного мостового выпрямителя
 - Г) трёхфазного мостового выпрямителя

3. На рисунке показана схема



- А) однофазного управляемого мостового выпрямителя
 - Б) однофазного неуправляемого мостового выпрямителя
 - В) трёхфазного неуправляемого мостового выпрямителя
 - Г) трёхфазного управляемого мостового выпрямителя
4. Для мостового однофазного выпрямителя среднее напряжение на нагрузке
 - А) $0,318 \cdot U_{вх \max}$
 - Б) $0,637 \cdot U_{вх \max}$
 - В) $0,827 \cdot U_{вх \max}$
 - Г) $0,927 \cdot U_{вх \max}$

5. Для трёхфазного однополупериодного выпрямителя коэффициент пульсаций равен

- А) 1,57
- Б) 0,67
- В) 0,25
- Г) 0,025

1. Для трёхфазного двухполупериодного выпрямителя максимальный обратный ток диодов равен

- А) $1,57 U_{н ср}$
- Б) $2,1 U_{н ср}$
- В) $1,05 U_{н ср}$
- Г) $3,05 U_{н ср}$

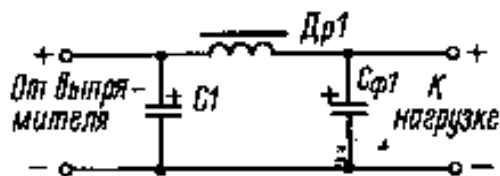
2. Основными элементами неуправляемых выпрямителей служат

- А) диоды
- Б) тиристоры
- В) транзисторы
- Г) оптроны

8. Существуют следующие сглаживающие фильтры (отметить лишнее)

- А) RC-фильтры
- Б) RS-фильтры
- В) LC-фильтры
- Г) LC-фильтры с резонансным контуром

9. На рисунке показана схема

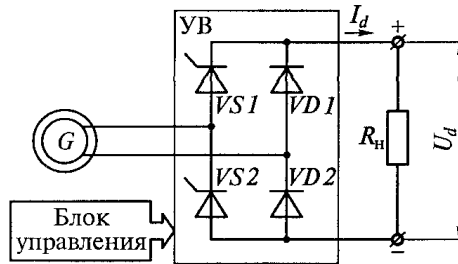


- А) сглаживающего LC- фильтра с резонансным контуром
- Б) сглаживающего двухзвенного LC- фильтра
- В) сглаживающего RC- фильтра с резонансным контуром
- Г) сглаживающего двухзвенного RC- фильтра

10. Управление выходным напряжением управляемого выпрямителя производится

- А) изменением фазы управляющих импульсов
- Б) изменением длительности управляющих импульсов
- В) изменением частоты управляющих импульсов
- Г) изменением фазы и частоты управляющих импульсов

11. На рисунке показана схема



- А) однофазного управляемого однополупериодного выпрямителя
- Б) однофазного неуправляемого однополупериодного выпрямителя
- В) однофазного управляемого мостового выпрямителя
- Г) однофазного неуправляемого мостового выпрямителя

12. В формуле α это

$$U_{d\alpha} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \frac{1 + \cos \alpha}{2} = 0,45 U_2 (1 + \cos \alpha),$$

- А) угол управления
- Б) угол смещения
- В) угол поворота
- Г) угол отражения

13. Среднее значение напряжения на выходе управляемого выпрямителя определяется по формуле

А)

$$U_0 = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2$$

Б)

$$I_\alpha = \frac{U_\alpha}{R_H}$$

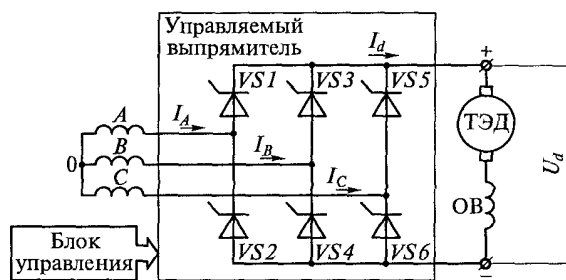
В)

$$U_\alpha = \frac{1 + \cos \alpha}{2} U_0$$

Г)

$$U_\alpha = \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

14. На рисунке показана схема



- А) однофазного однополупериодного управляемого выпрямителя
- Б) трёхфазного двухполупериодного управляемого выпрямителя
- В) трёхфазного мостового неуправляемого выпрямителя
- Г) однофазного мостового неуправляемого выпрямителя

15. Стабилизатор напряжения (или тока) – это устройство,

- А) автоматически обеспечивающее поддержание напряжения (или тока) нагрузочного устройства
- Б) усиление напряжение (или ток)
- В) преобразование частоты напряжения
- Г) сдвиг фазы напряжения (или тока)

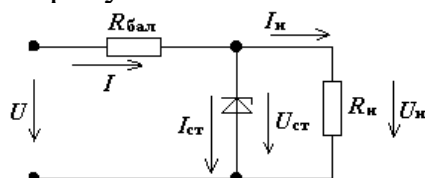
16. Стабилизирующим элементом стабилизатора является

- А) транзистор
- Б) тиристор
- В) фотореле
- Г) стабилитрон

17. Стабилизаторы бывают (отметить лишнее)

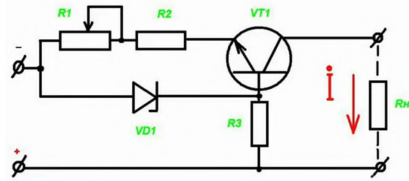
- А) параметрические
- Б) компенсационные
- В) тоннельные
- Г) импульсные

18. На рисунке показана схема



- А) последовательного параметрического стабилизатора
- Б) параллельного параметрического стабилизатора
- В) компенсационного стабилизатора тока
- Г) компенсационного стабилизатора напряжения

19. На рисунке показана схема



- А) параметрического стабилизатора напряжения
 - Б) параметрического стабилизатора тока
 - В) компенсационного стабилизатора тока
 - Г) компенсационного стабилизатора напряжения
20. В компенсационных стабилизаторах тока последовательно с нагрузкой включают эталонный
- А) конденсатор
 - Б) диод
 - В) транзистор
 - Г) резистор

4. Логические устройства.

4.1. Цифровые коды. Основы алгебры логики.

Все устройства и вся техника делится на аналоговую и цифровую. В аналоговой технике величины изменяются непрерывно по уровню и по времени. Цифровая техника использует дискретные значения, условно называемые 0 и 1, или логический ноль и логическая единица.

Преимущества цифровой техники: большая степень интеграции и высокая точность.

Любую аналоговую величину (т. е. непрерывную функцию) можно представить в виде комбинации нулей и единиц. Такая комбинация называется цифровым кодом.

Логический ноль - это сигнал, напряжение которого равно или близко к нулю, логическая единица - сигнал, напряжение которого равно или близко к напряжению источника питания. Сигнал логического нуля называют напряжением низкого уровня. Сигнал логической единицы называют напряжением высокого уровня.

Двоичный код.

Все привыкли к десятичному коду, который выражается, как ряд чисел от 0 до 9. В двоичном коде используются степени числа 2. Двоичный код есть сумма произведений 2^n на 0 или 1. Числа 2^n называются весовыми коэффициентами.

Десятичное число	Весовые коэффициенты			
	2^3	2^2	2^1	2^0
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1

Самое правое число (0 или 1) называется младшим разрядом, самое левое - старшим разрядом. В таблице показаны коды 4-х разрядных двоичных чисел. Что бы перевести двоичное число в десятичное (например 1011), надо первый символ (в данном случае 1) умножить на соответствующий ему весовой коэффициент ($2^3=8$), прибавить следующий символ ($0 \cdot 2^2$) и так далее. Получается: $1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 11$.

Существует закономерность. В младшем разряде меняется 0 и 1. В следующем разряде - два нуля и две единицы, в следующем - четыре нуля и четыре единицы.

Каждая единица или ноль, т. е. один разряд в двоичном коде называется битом, соответственно, в первой таблице все числа четырехбитные. Восемьразрядное двоичное число называется байтом или словом, т. е. в одном байте восемь бит.

В цифровой технике считают от 0, а не от 1. Т. е. максимальное число в 4-х разрядном двоичном коде не 16, а 15, в пятиразрядном - 31, а не 32 и т. п.

Восьмеричный код.

Аналогичен двоичному, но максимальное число будет равно 7 (в двоичном коде 111). Например, число 13 в восьмеричном коде $1 \cdot 8^1 + 3 \cdot 8^0 = 11$ в десятичном коде.

Двоично-десятичный код.

Если посмотреть на таблицу до числа 9 двоичные коды будут двоично-десятичными, после числа 9 - просто двоичными. Представим число 243 в двоично-десятичном коде. Необходимо взять двоичный эквивалент чисел 2, 4 и 3. Т. е. $243 = 0010\ 0100\ 0011$. Каждая четырехразрядная группа двоично-десятичного кода называется тетрадой.

Шестнадцатеричный код.

Это код с основанием 16 (двоичный код с основанием 2). Для шестнадцатеричного кода используются цифры от 0 до 9 и первые буквы латинского алфавита A(10), B(11), C(12), D(13), E(14), F(15). В шестнадцатеричном коде используются степени числа 16. Например, число $9D = 9 \cdot 16^1 + D \cdot 16^0 = 144 + 13 = 157$.

Двоично–шестнадцатеричный код.

Числа 157 в двоичном коде 1001 1101, а в 16-тиричном коде число содержит всего 2 символа (9D).

Цифровые устройства коды не воспринимают. В них используются перепады напряжения источника питания, которые символически обозначают 0 и 1.

Перевод чисел из разных систем счисления.

Для перевода десятичного числа в двоичное нужно десятичное число делить на 2 до получения минимального остатка. При делении десятичного числа на 2 образуются остатки, равные 0 или 1. Первый остаток будет младшим разрядом. Последний остаток будет предпоследним перед старшим разрядом. Результат деления последнего числа является старшим разрядом и он всегда равен 1. Например, переведем число 21 в двоичный код.

$21/2=10$	Остаток	1
$10/2=5$	Остаток	0
$5/2=2$	Остаток	1
$2/2=1$	Остаток	0

Последнее число $2/2=1$. Эта единица идет в старший разряд. В следующий разряд идет остаток от этого деления (0) и т. д. В результате получили код 10101. Проверим: $2^4 + 2^2 + 2^0 = 21$.

Перевод шестнадцатеричных чисел осуществляется аналогично. Делим десятичное число на 16 до получения остатка, причем меньшего 16. При делении десятичного числа остатки получаются в виде ряда чисел от 0 до 15. Числа от 10 до 15 заменяются буквами латинского алфавита A, B, C, D, E, F.

Переведем число 845 в 16-тиричный код.

$$845/16 = 52 \quad \text{Остаток } 13 = \mathbf{D}$$

$$52/16 = \mathbf{3} \quad \text{Остаток } \mathbf{4}$$

Получили 34D. Проверим: $3 \cdot 16^2 + 4 \cdot 16^1 + D \cdot 16^0 = 845$.

Существуют и другие специфические коды, например, семисегментный.

Алгебра логики.

Поскольку в цифровых устройствах используются только два символа 0 и 1, алгебра логики использует логические переменные и функции от них, которые также принимают только два значения - 0 и 1. В логике символы 0 и 1 не цифры. Единица обозначает абсолютную истину, символ 0 - абсолютную ложь. Основы алгебры логики придумал в середине XIX века ирландский математик Дж. Буль, поэтому алгебра логики иногда называется булева алгебра.

В отличие от обычной математики, в алгебре логики операции сложения и умножения заменяют операцией логического умножения (КОНЪЮНКЦИЯ) и операцией логического сложения (ДИЗЪЮНКЦИЯ). Для обозначения операций используют символы: $\vee$ - логическое сложение, $\wedge$ - логическое умножение.

Операция логического сложения обозначается "ИЛИ". Выражение $a \vee b$ ($a + b$) обозначает «Если a, или b равно нулю, то результат равен нулю, результат равен единице, если хотя бы одна из переменных равна единице».

Операция логического умножения обозначается "И". Выражение $a \wedge b$ ($a \cdot b$) обозначает «Если a и b равны нулю, то и результат равен нулю. Если одна из переменных равна единице, другая нулю, то результат все равно равен нулю. Результат равен единице, если обе переменных равны единице».

Операция отрицания обозначается "НЕ". Обозначается отрицание чертой над обозначением или символом $\neg$, стоящим перед переменной. Например, $\bar{a}$ означает отрицание a. По-другому это отрицание называется инверсией.

Понятие двоичной переменной, логических операций И, ИЛИ, НЕ образуют систему аксиом алгебры логики.

Аксиомы алгебры логики.

Аналогично обычной алгебре, в булевой действительны свойства перестановки, сочетательности и распределительности : $a + b = b + a$.

$$a \cdot b = b \cdot a$$

$$a + (b + c) = (a + b) + c$$

$$a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c$$

$$a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$$

Законы одинарных элементов.

$$a \cdot 1 = a$$

$$a + 1 = 1$$

$$a \cdot 0 = 0$$

$$a + 0 = a$$

Законы отрицания (правила де Моргана).

Распределительность дизъюнкции

$$a + (b \cdot c) = (a + b) \cdot (a + c)$$

Правила поглощения

$$a + (a \cdot b) = a$$

$$a \cdot (a + b) = a$$

Математические операции над двоичными числами.

Операция сложения:

$$\begin{array}{r} 1101 \\ + \\ \underline{0110} \\ 10011 \end{array}$$

В десятичном эквиваленте это $13 + 6 = 19$. Следует помнить, что при сложении двух единиц получается ноль, а единица переносится в старший разряд.

Операция умножения:

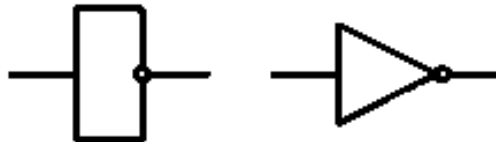
$$\begin{array}{r} 1011 \\ \times 110 \\ \hline 0000 \\ 1011 \\ \underline{1011} \\ 1000010 \end{array}$$

При умножении на разряд множимое либо повторяется, либо записываются нули. В данном случае была произведена операция умножения $11 \cdot 6 = 66$.

4.2. Логические элементы цифровой техники.

Алгебра логики воспроизводится в конкретных устройствах. Логические элементы реализуют некоторые функции алгебры логики.

Отрицание, «НЕ» (Инвертор).



A	$\neg A$
0	1
1	0

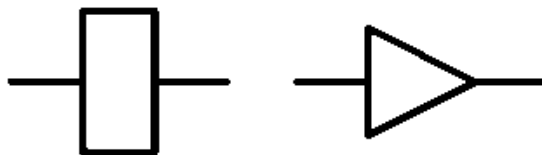
Мнемоническое правило для отрицания.

На выходе будет:

"1" тогда и только тогда, когда на входе «0»,

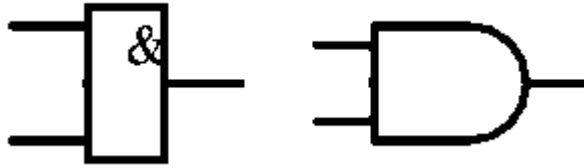
"0" тогда и только тогда, когда на входе «1»

Повторение, «ДА» (Повторитель или буфер).



A	A
0	0
1	1

Конъюнкция или логическое умножение «2И» (Схема совпадения).



A	B	A∧B
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

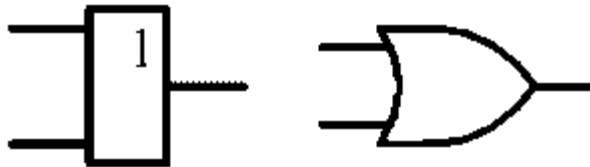
Мнемоническое правило для конъюнкции с любым количеством входов.

На выходе будет:

"1" тогда и только тогда, когда на всех входах действуют «1»,

"0" тогда и только тогда, когда хотя бы на одном входе действует «0»

Дизъюнкция или логическое сложение «2ИЛИ».



A	B	B∨A
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

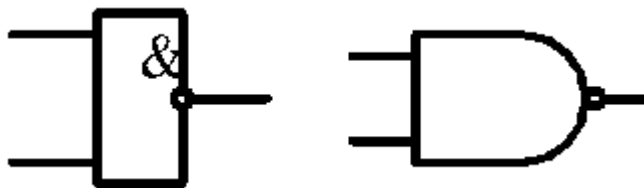
Мнемоническое правило для дизъюнкции с любым количеством входов.

На выходе будет:

"1" тогда и только тогда, когда хотя бы на одном входе действует «1»,

"0" тогда и только тогда, когда на всех входах действуют «0»

Инверсия функции конъюнкция. «2И-НЕ» (Штрих Шеффера).



A	B	$\neg(A \wedge B)$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

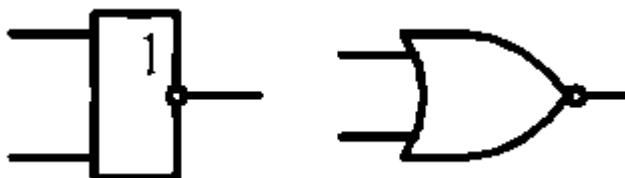
Мнемоническое правило для И-НЕ с любым количеством входов.

На выходе будет:

"1" тогда и только тогда, когда хотя бы на одном входе действует «0»,

"0" тогда и только тогда, когда на всех входах действуют «1»

Инверсия функции дизъюнкция «2ИЛИ-НЕ» (Стрелка Пирса).



A	B	$\neg(B \vee A)$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

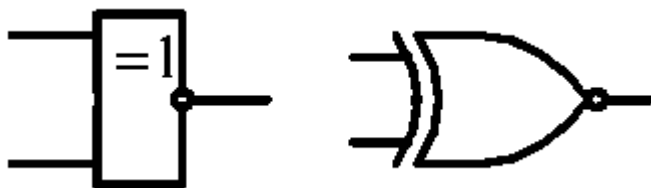
Мнемоническое правило для ИЛИ-НЕ с любым количеством входов.

На выходе будет:

"1" тогда и только тогда, когда на всех входах действуют «0»,

"0" тогда и только тогда, когда хотя бы на одном входе действует «1»

Эквивалентность или равнозначность
«2ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ-ИЛИ-НЕ».



A	B	$A \leftrightarrow B$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

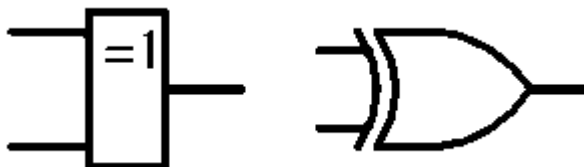
Мнемоническое правило эквивалентности с любым количеством входов.

На выходе будет:

"1" тогда и только тогда, когда на входе действует четное количество,

"0" тогда и только тогда, когда на входе действует нечетное количество

Сложение по модулю 2 или неравнозначность
«2ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ-ИЛИ».



A	B	$A \oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Мнемоническое правило для суммы по модулю 2 с любым количеством входов.

На выходе будет:

"1" тогда и только тогда, когда на входа действует нечётное количество

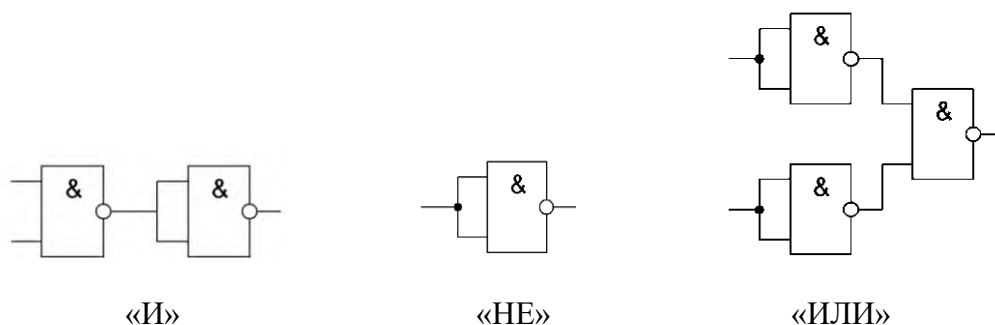
"0" тогда и только тогда, когда на входа действует чётное количество

4.3. Базисные элементы. Применение элементов логических микросхем.

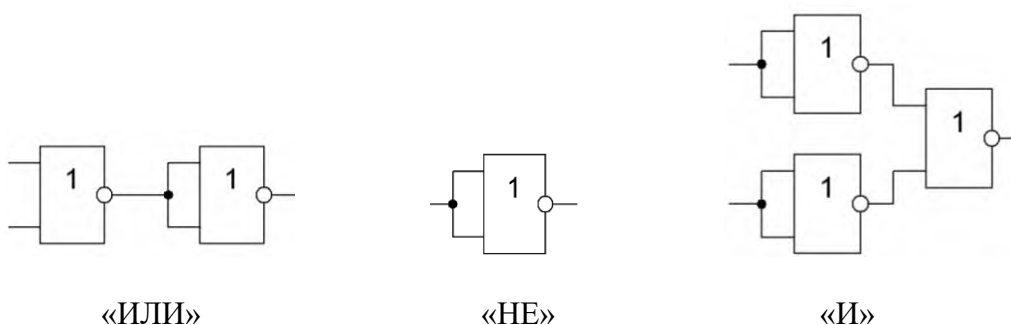
Логический базис.

Простейшими логическими операциями (функциями) можно выразить любые другие логические операции. Набор простейших функций называется функционально полным логическим базисом. Таких базисов 4: И, НЕ (2 элемента); ИЛИ, НЕ (2 элемента); И-НЕ (1 элемент); ИЛИ-НЕ (1 элемент).

Логические элементы на базе «И – НЕ».

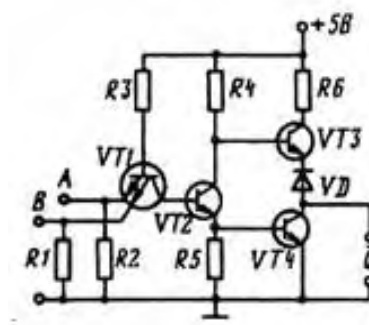
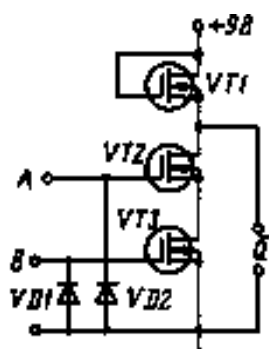


Логические элементы на базе «ИЛИ – НЕ».

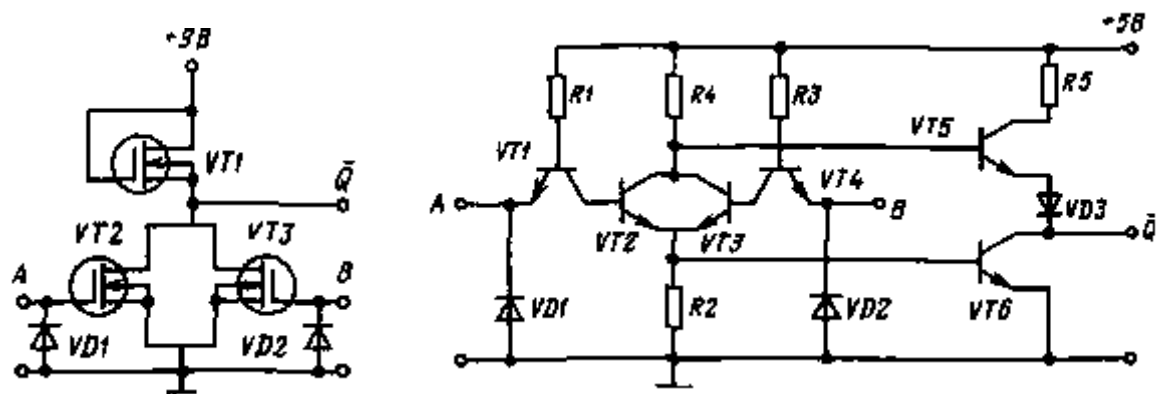


Реализация логических элементов на полупроводниковых приборах.

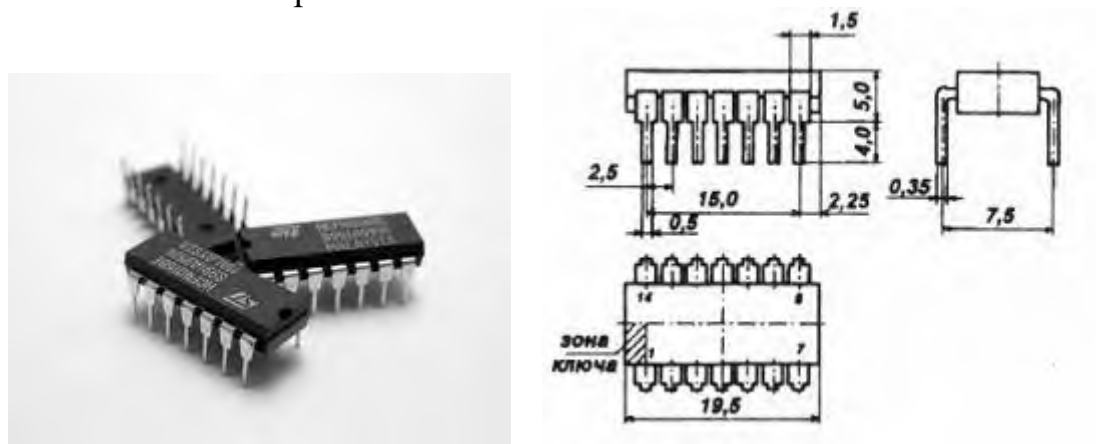
Элемент «И – НЕ»



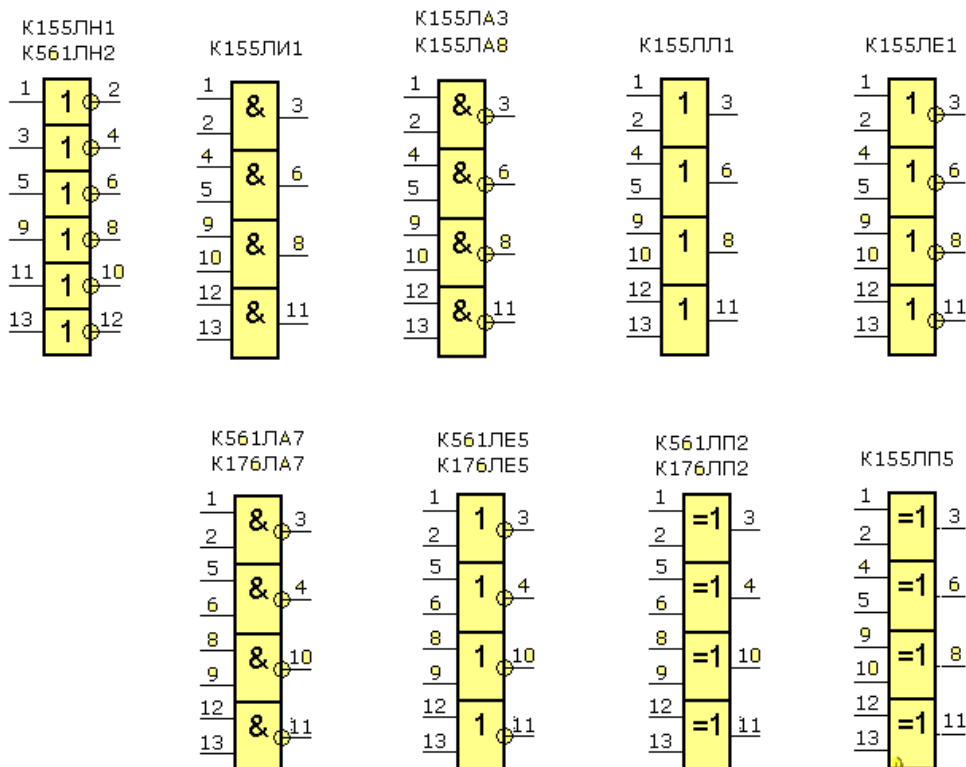
Элемент «ИЛИ – НЕ»



Микросхемы с логическими элементами.



Логические микросхемы включают несколько логических элементов. Например, условное графическое обозначение микросхем с логическими элементами серии К155.



Составление схем с логическими элементами на основании логических функций.

Составим схему для функции $Y = X1 \cdot X2 + X1$.

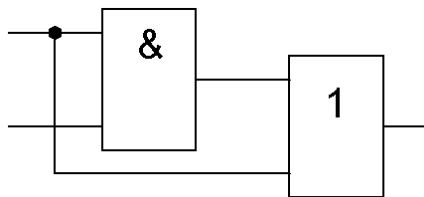
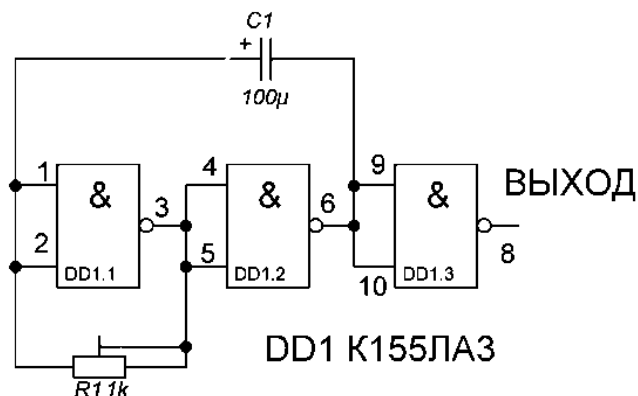


Таблица истинности.

X1	X2	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

Мультивибратор на логических элементах.



Генератор будет работать в режиме автогенерации, подобно транзисторному мультивибратору. При включении питания один из элементов мультивибратора хаотично примет одно из двух возможных положений- либо логический "0" либо "1" и повлияет на работу всех остальных элементов схемы.

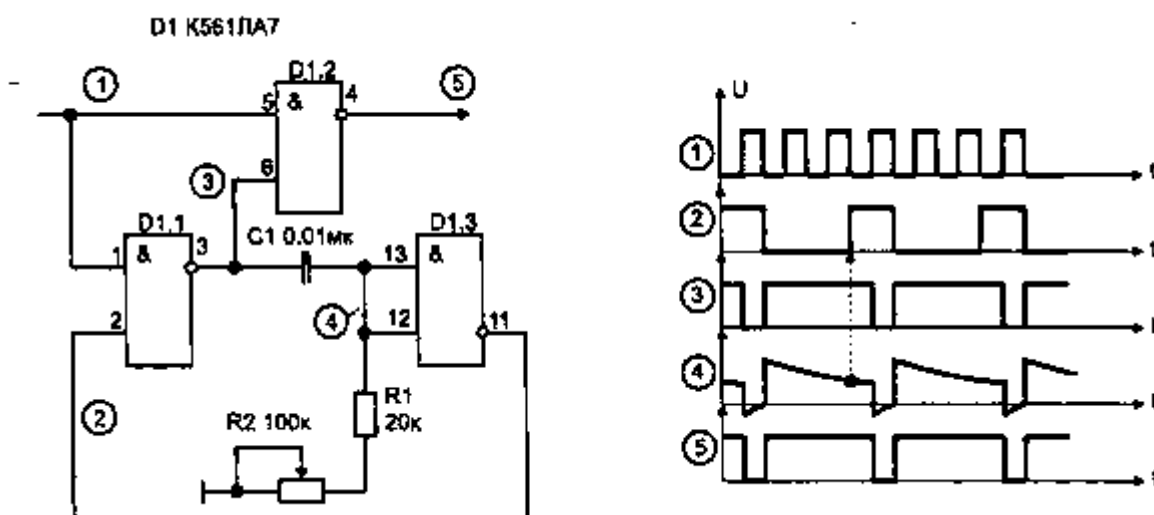
Например, это будет элемент DD1.2: при включении на его выходе установилась логическая "1". Конденсатор C1 начинает заряжаться через цепь : выход DD1.2- резистор R1- выход DD1.1. пока конденсатор не зарядится до полного состояния на входе элемента DD1.1 будет удерживаться напряжение высокого уровня и он будет находится в состоянии логического "0".

Но это состояние неустойчивое: по мере зарядки конденсатора напряжение на нем будет падать и как только уменьшится до порогового, элемент DD1.1 переключится в состояние логической "1" (на его выходе- выводе 3 появится напряжение высокого уровня). Элемент DD1.2 перейдет в состояние логического "0" а элемент DD1.3 в состояние "1".

Затем конденсатор C1 будет заряжаться в обратном направлении: с выхода элемента DD1.1 через R1 на выход DD1.2. Через резистор R1 на вход элемента будет поступать напряжение высокого уровня, но это напряжение будет шунтировано зарядом конденсатора C1. Элемент DD1 будет удерживаться в состоянии логической "1" до полного заряда конденсатора. Зарядившись полностью, конденсатор перестанет

Затем процесс начнется заново. Элемент DD1.3 в данной схеме играет роль инвертора и его можно исключить.

Обычно для этого используют счетчики, но можно разделить частоту с помощью ждущего мультивибратора, ограничив число проходящих на выход импульсов.



Мультивибратор на элементах D1.1 D1.2 генерирует импульсы прямоугольной формы с частотой следования около 1 кГц. Они дифференцируются цепочкой C1 R5 и поступают на электронный ключ.

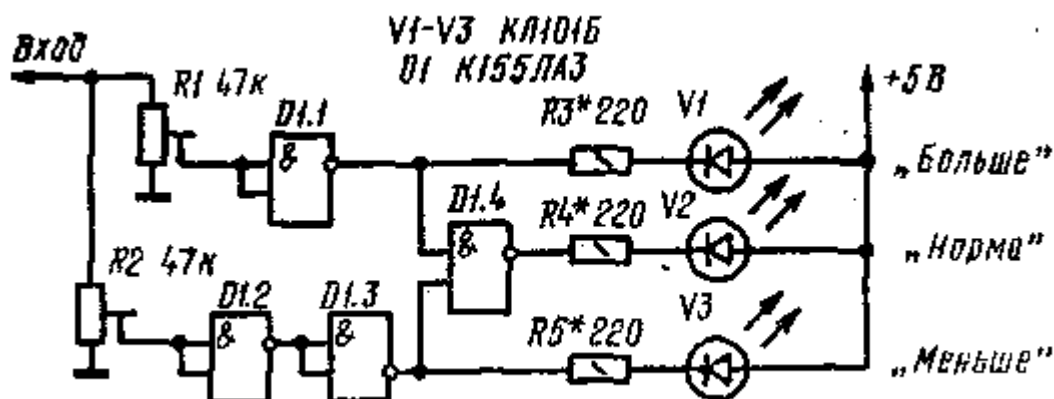
Работа электронного ключа основана на открывании диода V1 в момент превышения напряжения на его аноде по отношению к катоду. При замыкании контактов кнопки S1 конденсатор C4 быстро разряжается через резистор R7. Напряжение на верхнем по схеме выводе резистора R6 максимально (около 250 В). При размыкании контактов S1 конденсатор начинает заряжаться через элементы R5 и R6. При этом напряжение на резисторе R6 уменьшается по экспоненциальному закону. Как только оно достигнет порогового уровня, который определяется делителем R9R10, диод V1 открывается, и короткие отрицательные импульсы с дифференцирующей цепочки C3R5 через него поступают на ждущий мультивибратор, который генерирует импульсы звуковой частоты.

При использовании элементов, указанных на принципиальной схеме, время выдержки может достигать 20 — 30 мин.

В электронном ключе желательно применять конденсатор C4 МБГО на рабочее напряжение не менее 350 В или любой другой, но с малым током утечки. Диод V1 должен выдерживать обратное напряжение, большее 250 В, и иметь малый обратный ток. Резистор R9 — регулятор выдержек должен иметь экспоненциальную зависимость сопротивления от угла поворота движка. В этом случае шкала выдержек будет линейной.

В процессе налаживания электронного ключа подстроечным резистором R10 устанавливают требуемую максимальную выдержку, а затем градуируют шкалу.

Схема индикатора напряжений.



Индикатор сигнализирует о значении выходного напряжения: находится ли оно в интервале 4,75 — 5,25 В или нет.

Индикатор состоит из двух каналов: на элементе D1.1 первый, на D1.2, D1.3 — второй. Первый канал настроен так, что при входном напряжении больше 5,25 В на элемент D1.1 с резистора R1 поступает уровень логической 1. При этом на выходе D1.1 будет логический 0, и светодиод V1 засветится. Во втором канале на выходе элемента D1.3 будет логический 0 (включен светодиод V3) при входном напряжении меньше 4,75 В. Если же на выходе элементов D1.1 и D1.3 — логическая 1 (напряжение питания лежит в заданных пределах), то на выходе D1.4 — логический 0, и светится диод V2.

Для наладки схемы подадим напряжение 5,25 В, подстроечным резистором R1 добиваются свечения диода V1. Уменьшив входное напряжение до 4,75 В и регулируя сопротивление подстроечного резистора R2, обеспечивают свечение светодиода V3.

Такой индикатор при соответствующей настройке можно использовать в качестве пробника для определения состояния логических элементов.

4.4. Триггеры.

Триггер — это устройство последовательного типа с двумя устойчивыми состояниями равновесия, предназначенное для записи и хранения информации. Под действием входных сигналов триггер может переключаться из одного устойчивого состояния в другое.

Классификация по функциональному признаку.

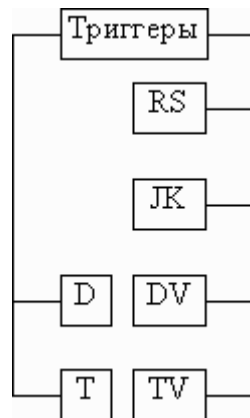


Рис. 2. Функциональная классификация триггеров.

Классификация по способу ввода информации.

1. Асинхронный триггер изменяет своё состояние непосредственно в момент появления соответствующего информационного сигнала(ов), с некоторой задержкой равной сумме задержек на элементах, составляющих данный триггер.

2. Синхронные триггеры реагируют на информационные сигналы только при наличии соответствующего сигнала на входе синхронизации С (от англ. clock). Этот вход также обозначают термином «ТАКТ». Синхронные триггеры подразделяют на триггеры со статическим и триггеры с динамическим управлением по входу синхронизации С.

- триггеры со статическим управлением воспринимают информационные сигналы при подаче на вход С логической единицы (прямой вход) или логического нуля (инверсный вход).

- триггеры с динамическим управлением воспринимают информационные сигналы при изменении (перепаде) сигнала на входе С от 0 к 1 (прямой динамический С-вход) или от 1 к 0 (инверсный динамический С-вход). Также встречается название «триггер управляемый фронтом».

Входы триггеров.

Входы триггеров разделяются на информационные (R, S, T и др.) и управляющие (C, V).

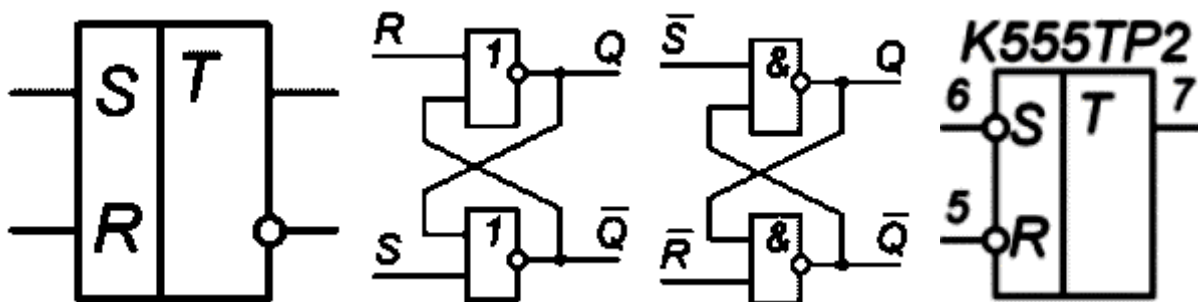
Информационные входы предназначены для приема сигналов запоминаемой информации.

Управляющие входы служат для управления записью информации. В триггерах может быть два вида управляющих сигналов:

- синхронизирующий (тактовый) сигнал C , поступающий на C -вход (тактовый вход);
- разрешающий сигнал V , поступающий на V -вход.

На V -входы триггера поступают сигналы, которые разрешают ($V=1$) или запрещают ($V=0$) запись информации. В синхронных триггерах с V -входом запись информации возможна при совпадении сигналов на информационном, C и V -входах.

RS-триггер асинхронный.

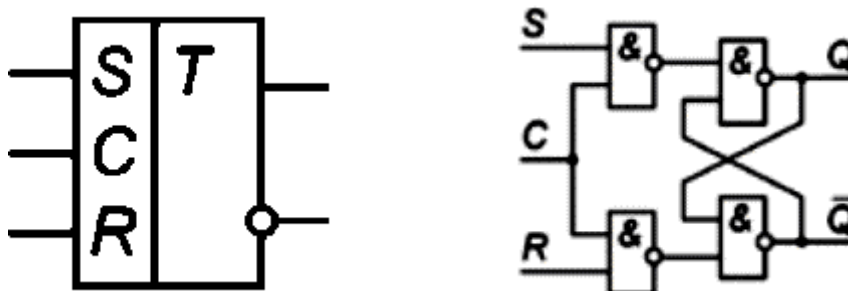


S	R	Q(t)	$\neg Q(t)$	Q(t+1)	$\neg Q(t+1)$
0	0	0	1	0	1
0	0	1	0	1	0
0	1	0	1	0	1
0	1	1	0	0	1
1	0	0	1	1	0
1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	не определено	не определено
1	1	1	0	не определено	не определено

При подаче единицы на вход S (от англ. Set — установить), выходное состояние становится равным логической единице. А при подаче единицы на вход R (от англ. Reset — сбросить) выходное состояние становится равным логическому нулю. Состояние, при котором на оба входа R и S одновременно поданы логические единицы, в простейших реализациях является запрещённым.

RS-триггеры иногда называют RS-фиксаторами.

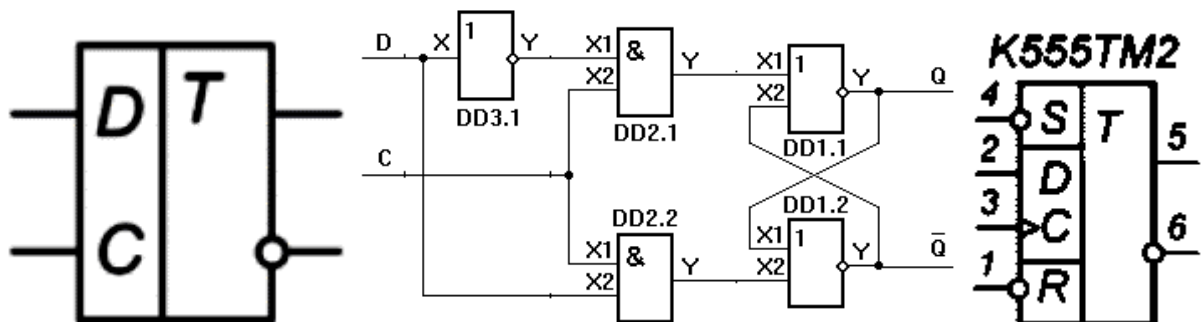
RS-триггер синхронный.



C	S	R	Q(t)	Q(t+1)
0	x	x	0	0
0	x	x	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	1
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	не определено
1	1	1	1	не определено

D-триггеры.

D-триггер (D от англ. delay — задержка, либо от data - данные) — запоминает состояние входа и выдаёт его на выход. D-триггеры имеют, как минимум, два входа: информационный D и синхронизации C. После прихода активного фронта импульса синхронизации на вход C, D-триггер открывается. Сохранение информации в D-триггерах происходит после спада импульса синхронизации C. Так как информация на выходе остаётся неизменной до прихода очередного импульса синхронизации, D-триггер называют также триггером с запоминанием информации или триггером-защёлкой.

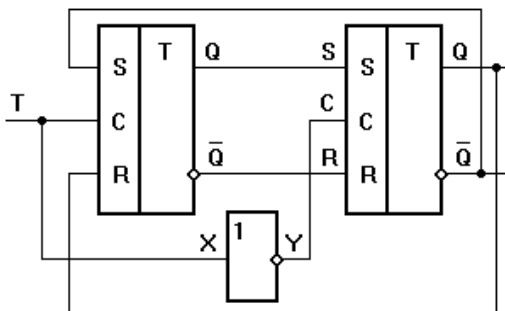
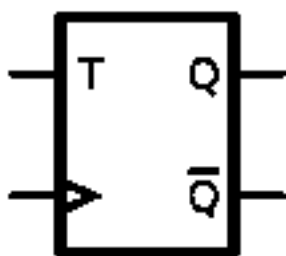


D	Q(t)	Q(t+1)
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

D-триггер в основном используется для реализации защёлки. Так, например, для снятия 32 бит информации с параллельной шины, берут 32 D-триггера и объединяют их входы синхронизации для управления записью информации в защёлку, а 32 D входа подсоединяют к шине.

T-триггеры.

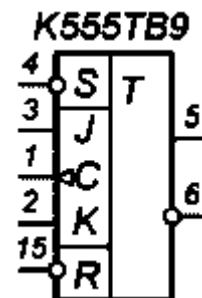
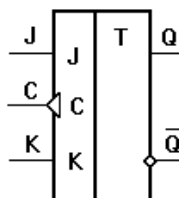
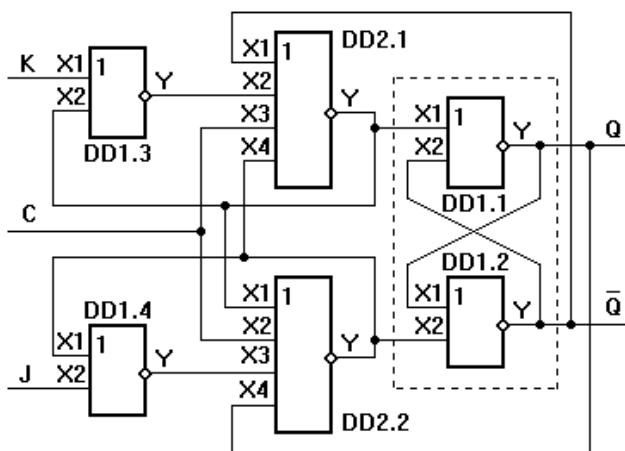
T-триггер (от англ. Toggle - переключатель) часто называют счётным триггером, так как он является простейшим счётчиком до 2.



Синхронный Т-триггер, при единице на входе Т, по каждому такту на входе С изменяет своё логическое состояние на противоположное, и не изменяет выходное состояние при нуле на входе Т.

T	Q(t)	Q(t+1)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

JK-триггеры.



J	K	Q(t)	Q(t+1)
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

JK-триггер работает так же как RS-триггер, с одним лишь исключением: при подаче логической единицы на оба входа J и K состояние выхода триггера изменяется на противоположное. Вход J (от англ. Jump — прыжок) аналогичен входу S у RS-триггера. Вход K (от англ. Kill — убить) аналогичен входу R у RS-триггера. При подаче единицы на вход J и нуля на вход K выходное состояние триггера становится равным логической единице. А при подаче единицы на вход K и нуля на вход J выходное состояние триггера становится равным логическому нулю. JK-триггер в отличие от RS-триггера не имеет запрещённых состояний на основных входах, однако это никак не помогает при нарушении правил разработки логических схем. На практике применяются только синхронные JK-триггеры, то есть состояния основных входов J и K учитываются только в момент тактирования, например по положительному фронту импульса на входе синхронизации.

На базе JK-триггера возможно построить D-триггер или T-триггер. Как можно видеть в таблице истинности JK-триггера, он переходит в инверсное состояние каждый раз при одновременной подаче на входы J и K логической 1. Это свойство позволяет создать на базе JK-триггера T-триггер, объединив входы J и K

4.5. Регистры.

Регистры подразделяются на два класса - сдвигающие и хранения информации. Регистры хранения бывают «прозрачные», тактируемые импульсом, и синхронные, тактируемые фронтом импульса.

Параллельные регистры.

Параллельные регистры - это устройства, предназначенные для записи, хранения и выдачи информации, представленной в виде двоичных кодов. Для хранения каждого двоичного разряда в регистре используется одна триггерная ячейка.

Для запоминания многоразрядных слов необходимое число триггеров объединяют вместе и рассматривают как единый функциональный узел-регистр. Если регистр построен на триггерах-защелках, то его называют регистр-защелка. Типовыми внешними связями регистра являются информационные входы D; вход сигнала записи (или загрузки) C, вход гашения R, выходы триггеров Q. В упрощенном варианте регистр может не иметь входа гашения и инверсных выходов.

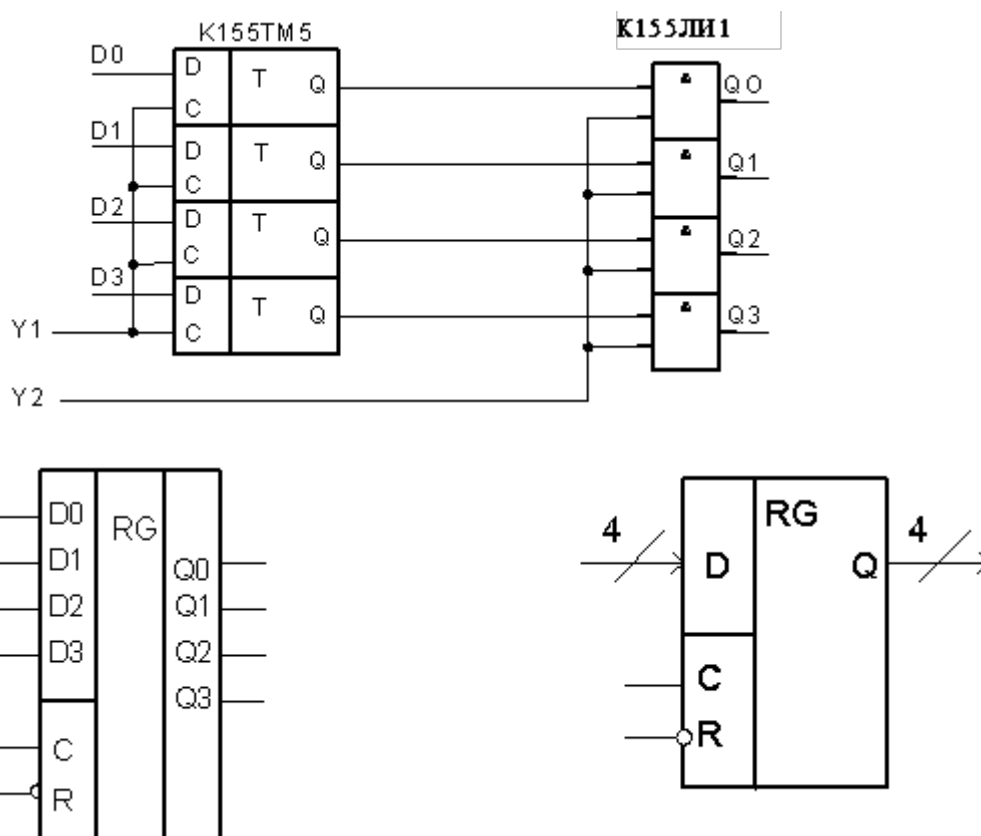
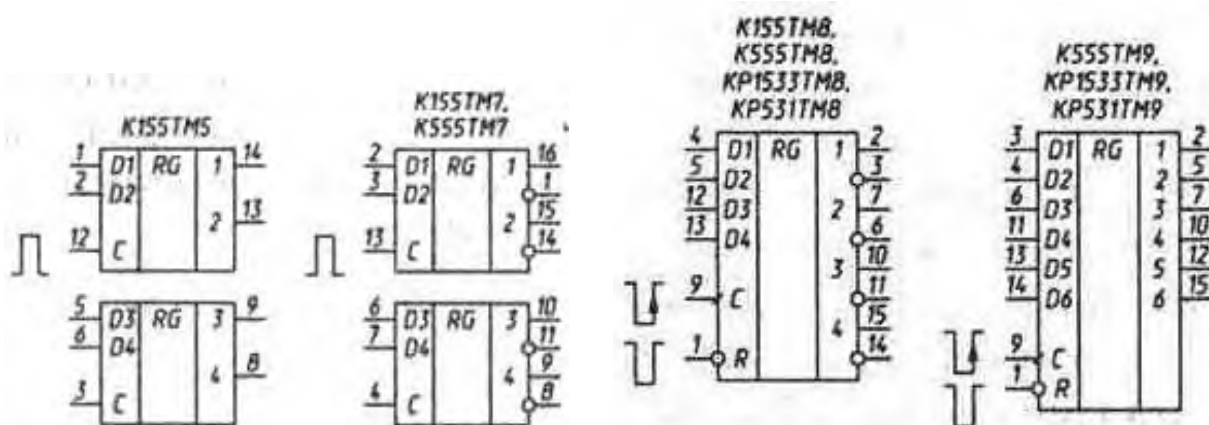


Схема четырехразрядного регистра, выполненного на ИМС К155ТМ5 и К155ЛИ1.

При подаче управляющего сигнала $y1=1$ информация по входам X1—X4 записывается одновременно в соответствующие разряды четырех D-триггеров. При $y1=y2=0$ информация хранится в регистре памяти, а при $y2=1$ происходит параллельное считывание информации.



Выпускаемые промышленностью регистры иногда объединяют на кристалле микросхемы с другими узлами, в паре с которыми регистры часто используются в схемах цифровой аппаратуры. Пример такого комплексного узла - микросхема многорежимного буферного регистра (МБР) К589ИР12, основу которой составляет 8-разрядный регистр-защелка с входами D0—D7, C, R и восемью выходами Q0—Q7, снабженными усилителями мощности (буферами) с тремя состояниями выхода. Кроме того, в состав микросхемы входят несколько элементов управления. Усилители с тремя состояниями выхода имеет и 4-разрядный регистр К155ИР15, построенный на непрозрачных триггерах без свойств захвата или проницаемости, т. е. управляемых строго фронтом.

Регистровая память.

Существуют микросхемы, в которых регистр объединен с входным мультиплексором, позволяющим принимать входные данные с двух и более направлений, выбираемых сигналами на адресных входах микросхемы. Объединяют регистр и с выходным демультиплексором, позволяющим передавать содержимое регистра на различные направления.

Сразу несколько регистров содержат микросхемы регистровой памяти (register memory, register file, сверхоперативная память). Входы Di регистров подключены к общей входной шине данных (data in). Вход загрузки требуемого регистра выбирается дешифратором записи на основании поступающего на его вход адреса записи (write address), т. е. кода номера загружаемого регистра. Запись данных, присутствующих на шине, происходит в момент поступления сигнала разрешения записи (write enable).

Выходы регистров мультиплексором подключаются к выходной шине (data out). Номер регистра, с которого происходит чтение, определяет код адреса чтения (read address). Выдачу данных разрешает сигнал разрешения чтения (read enable).

Поскольку дешифрация адреса записи и адреса чтения производится двумя независимыми узлами, имеющими автономные адресные входы, регистровая память может одновременно записывать число в один из регистров и читать число из другого.

Микросхемы регистровой памяти легко наращиваются по разрядности и допускают наращивание по числу регистров. Они разработаны для построения блоков регистров общего назначения (РОН) и других специализированных блоков памяти небольшого объема, предназначенных для временного хранения исходных данных и промежуточных результатов в цифровом устройстве.

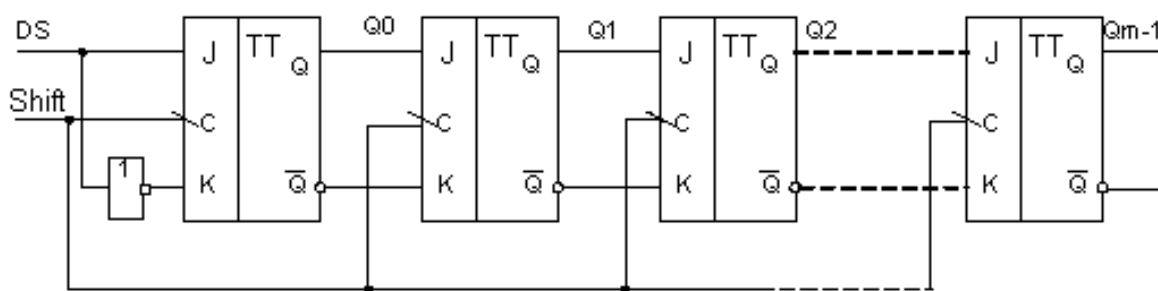
По мере увеличения числа регистров памяти разработчики отказываются от независимой адресации регистров при записи и чтении. Остается лишь один комплект адресных входов и один дешифратор адреса, которые используются и при записи, и при считывании. Такую схему регистровой памяти уже не называют. По ЕСКД она обозначается RAM (random access memory, т. е. память с произвольным доступом). Используются также термины: запоминающее устройство с произвольной выборкой

(ЗУПВ), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), оперативная память, а иногда - просто память. В микросхемах ЗУПВ ввод и вывод данных при записи и чтении могут осуществляться через одни и те же выводы корпуса за счет использования в тракте считывания элементов с тремя состояниями выхода или с открытым коллектором. Режимы работы микросхемы запись, чтение и хранение задаются комбинациями сигналов на ее входах управления. Если для ввода данных при записи и вывода их при чтении используются различные выводы корпуса (входы D_i и выходы Q_i), то режим хранения может быть совмещен с режимом чтения.

Микросхемы ОЗУ малой емкости часто выпускаются в составе распространенных серий. Они имеют входы адреса A_j , входы данных D_i ; вход режима W/R: запись или чтение; выходы данных Q_i ; вход (или несколько конъюнктивных входов) разрешения E , чаще называемый выбор кристалла ВК, выбор микросхемы ВМ или CS (chip select). Такую микросхему можно рассматривать как группу регистров, дешифратор для их выборки, цепи записи в регистры и считывания с них. Примерами подобных ИМС могут служить K155PY2 емкостью 16×4 (16 слов по 4 разряда), K537PY8 – $2K \times 8$.

Сдвигающие регистры.

Сдвигающий, или сдвиговый регистр (shift register) это регистр, содержимое которого при подаче управляющего сигнала СДВИГ может сдвигаться в сторону старших или младших разрядов.



Сдвигающий регистр

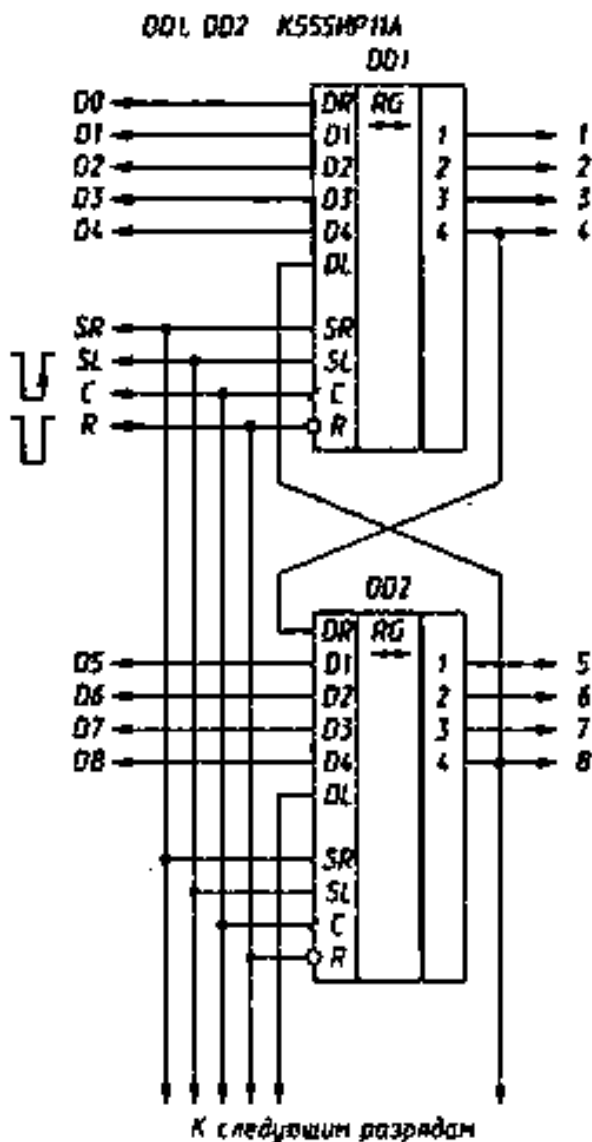
Пусть на рисунке триггер Q_0 – младший, Q_{m-1} – старший; вход каждого триггера (кроме Q_0) подключен к выходу соседнего младшего триггера. Когда на все C входы триггеров поступает активный спад сигнала Shift, выход каждого триггера принимает состояние своего младшего соседа и, таким образом, информация, содержащаяся в регистре, сдвигается на один разряд в сторону старших разрядов, влево. Триггер Q_0 принимает при этом состояние последовательного входа DS (data serial). Информация, поступившая на вход DS во время какого-либо такта, появится на выходе Q_{m-1} через m тактов.

Существенно, что в схеме использованы именно непрозрачные триггеры. Если поставить прозрачные защелки, то при активном уровне сигнала Shift все триггеры становятся прозрачными, и сигнал DS успеет пройти столько триггеров, сколько позволит длительность сигнала Shift.

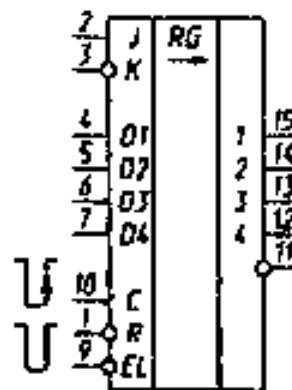
Часто требуются более сложные регистры: с параллельной синхронной записью информации, реверсивные, с параллельно-последовательной записью. Такие регистры называются универсальными. Примером такого регистра служит ИМС K155ИР11. Регистр может работать в четырех режимах: параллельное занесение данных, сдвиг влево, сдвиг вправо, хранение данных.

Применения сдвиговых регистров очень разнообразны. В двоичной арифметике сдвиг числа на один разряд влево соответствует умножению его на 2.

В аппаратуре передачи данных универсальные регистры преобразуют параллельный код в последовательный и обратно. Передача данных последовательным кодом по сравнению с передачей параллельным существенно экономит число линий связи. Это покупается ценой увеличения времени обмена.



Соединение микросхем K555IP11



Микросхема K531IP12

Микросхема IP11 - универсальный четырехразрядный сдвигающий регистр, позволяет производить как параллельную запись информации, так и ее сдвиг вправо и влево. Имеет входы: D1 -D4 - для подачи информации при параллельной записи; DR - при последовательной записи и сдвиге вправо (в сторону возрастания номеров выходов); DL - то же и сдвиге влево; SR и SL - управляющие, C - для подачи тактовых импульсов и R - сброса.

При подаче лог. 0 на вход R происходит установка триггеров регистра в 0. При лог. 1 на входе R режим работы определяется управляющими сигналами на входах SR и SL. При лог. 1 на входе SR и лог. 0 на входе SL по спадам импульсов отрицательной полярности на входе C происходит последовательный прием информации с входа DR и сдвиг вправо. При лог. 1 на входе SL и лог. 0 на входе SR происходит прием информации с входа DL и

сдвиг влево. При лог. 1 на обоих входа SR и SL по спаду импульса отрицательной полярности на входе С произойдет параллельная запись информации со входов D1 - D4. Если на входах SR и SL лог. 0, переключение триггеров регистра при изменении информации на входе С не происходит.

Для увеличения разрядности микросхемы ИР11 соединяют в многоразрядный реверсивный сдвигающий регистр.

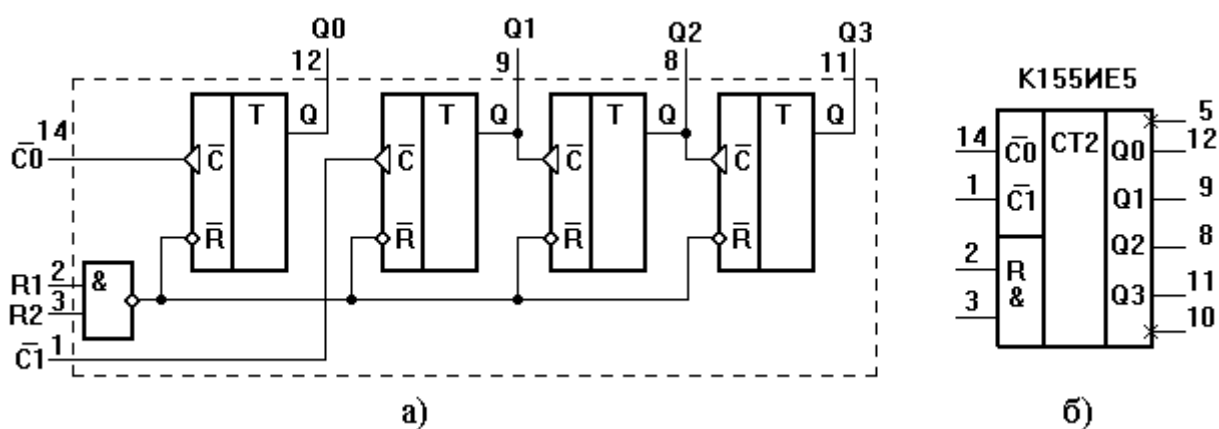
Микросхема КР531ИР12 -четырёхразрядный сдвигающий регистр. Имеет четыре прямых выхода 1-4, инверсный выход разряда 4 и следующие входы: R - сброса, С - для подачи тактовых импульсов, EL - установки режима параллельной записи, J и K - для подачи информации при последовательной записи и D1, D2, D3, D4 - для подачи информации при параллельной записи.

Вход сброса R - преобладающий - при подаче на него лог. 0 независимо от состояния других входов все триггеры микросхемы устанавливаются в 0. Если на входе R лог. 1, возможна запись информации в триггеры микросхемы. При лог. 0 на входе EL по спаду импульса отрицательной полярности на входе С произойдет запись информации с входов J и K в триггер с выходом 1 и сдвиг информации в остальных триггерах в сторону возрастания номеров выходов. Информация, которая будет записана в первый триггер, определяется состоянием входов J и K перед спадом импульса отрицательной полярности на входе С. Если объединить между собой входы J и K, будет записываться информация, имеющаяся на этих объединенных входах. Если на вход J подать лог. 0, на вход К -лог. 1, изменения информации в первом триггере по спаду импульса отрицательной полярности на входе С не произойдет. При лог. 1 на входе J и лог. 0 на входе К первый триггер микросхемы переходит в счетный режим и меняет свое состояние на противоположное на каждый спад импульса отрицательной полярности на входе С.

4.6. Счётчики электрических импульсов. Шифраторы и дешифраторы.

Счетчики электрических импульсов.

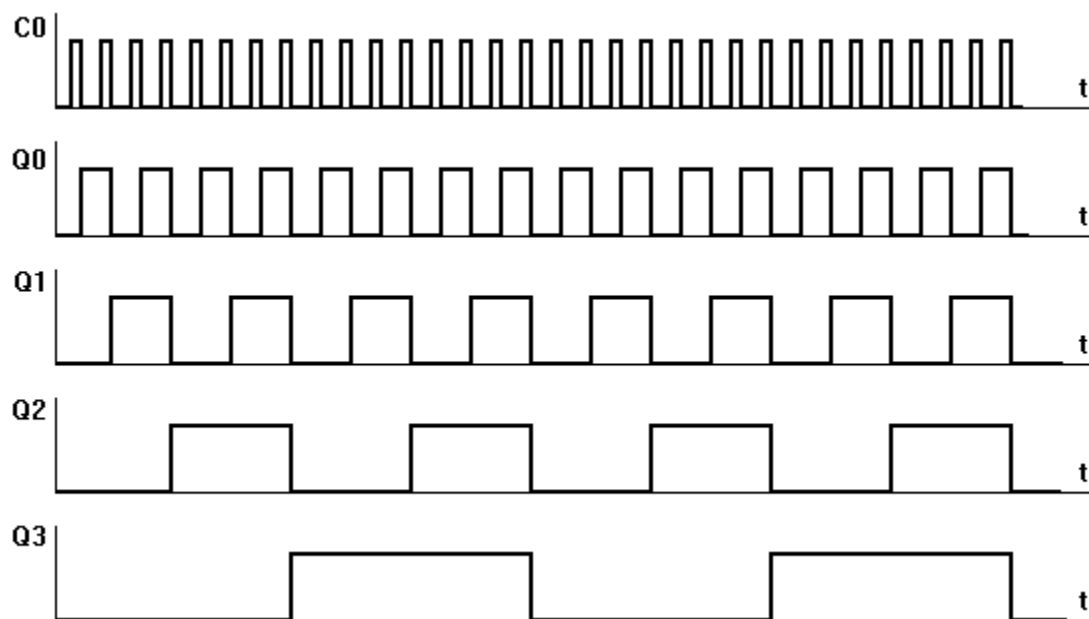
Счетчиком называют цифровое устройство, обеспечивающее подсчет числа электрических импульсов. Коэффициент пересчета счетчика равен минимальному числу импульсов, поступивших на вход счетчика, после которых состояния на выходе счетчика начинают повторяться. Счетчик называют суммирующим, если после каждого очередного импульса цифровой код на выходе счетчика увеличивается на единицу. В вычитающем счетчике после каждого импульса на входе счетчика цифровой код на выходе уменьшается на единицу. Счетчики, в которых возможно переключение с режима суммирования на режим вычитания, называются реверсивными.



Функциональная схема и условное обозначение на принципиальных схемах счетчика K155IE5.

Счетчики могут быть с предварительной установкой. В таких счетчиках информация с входов предварительной установки передается на выходы счетчика по сигналу на специальном входе предварительной установки. По своей структуре счетчики делятся на последовательные, параллельные и параллельно-последовательные. Последовательный двоичный счетчик образован цепочкой последовательно включенных счетных триггеров. В параллельном счетчике счетные импульсы подаются одновременно на входы всех разрядов счетчика. Параллельные счетчики имеют большее быстродействие по сравнению с последовательными. Параллельно-последовательные счетчики имеют высокое быстродействие и большое значение коэффициента пересчета.

В качестве примера счетчика ТТЛ рассмотрим микросхему K155IE5. Счетчик K155IE5 имеет фактически два счетчика: с коэффициентом пересчета два (вход C_0 и выход Q_0) и с коэффициентом пересчета восемь (вход C_1 и выходы Q_1, Q_2, Q_3). Счетчик с коэффициентом пересчета шестнадцать легко получается, если соединить выход Q_0 с входом C_1 , а импульсы подавать на вход C_0 .



Временная диаграмма работы счетчика с коэффициентом пересчета шестнадцать на микросхеме К155ИЕ5.

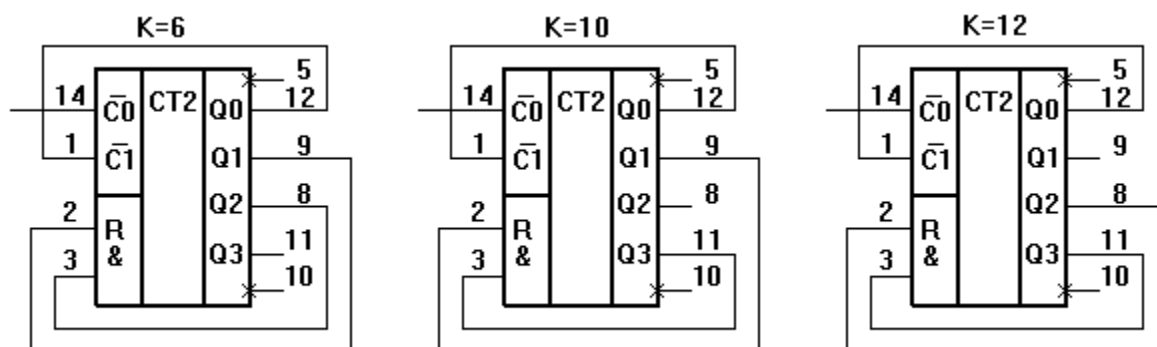


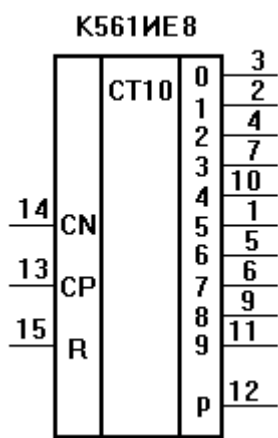
Схема подключения К155ИЕ5 для получения коэффициента пересчета шесть, десять, двенадцать.

Выходы счетчика Q0, Q1, Q2, Q3 имеют соответственно весовые коэффициенты 1, 2, 4, 8. Соединив выходы с входами установки счетчика в нуль, получим счетчики с другими коэффициентами пересчета: шесть (рис. 1.53,а). Однако в этих схемах, отсутствует возможность установки счетчиков в нулевое состояние.

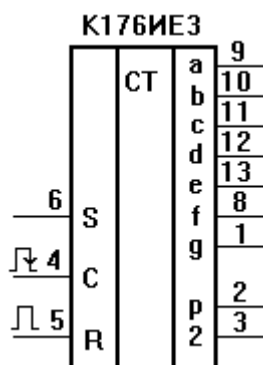
В таблице приведены состояния на выходах счетчика с коэффициентом пересчета десять после поступления каждого очередного импульса, причем счетчик предварительно был установлен в нулевое состояние.

№ импульса	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Q0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Q1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
Q2	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Q3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0

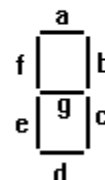
Ниже на рисунке А приведены условные обозначения микросхемы К561ИЕ8 (КМОП серии) – десятичного счетчика с дешифратором. Микросхема имеет вход установки в нулевое состояние R, вход для подачи счетных импульсов положительной полярности СР и вход для подачи счетных импульсов отрицательной полярности CN. Выход переноса р для подключения следующего счётчика.



А)



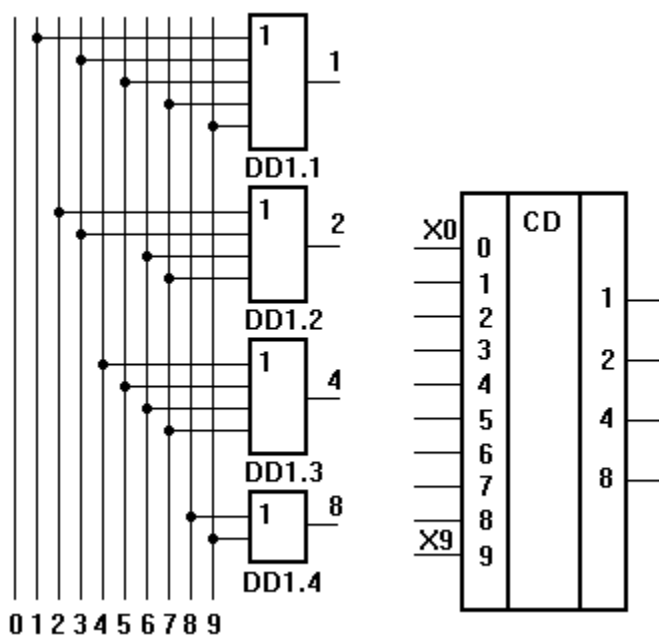
Б)



Промышленностью выпускаются счетчики для электронных часов. На рисунке Б приведено условное обозначение микросхемы К176ИЕ3. При подаче на вход S логической единицы полярность выходных сигналов изменяется. На выводе 3 появляется логическая единица при установке счетчика в состояние 2.

Шифраторы.

Шифратор (кодер) преобразует сигнал на одном из входов в n-разрядное двоичное число. При появлении сигнала логической единицы на одном из десяти входов на четырех выходах шифратора будет присутствовать соответствующее двоичное число. Пусть сигнал логической единицы подан на вход 7. Тогда на выходах логических элементов DD1.1, DD1.2, DD1.3 будут сигналы логических единиц, а на выходе элемента DD1.4 – сигнал логического нуля. Таким образом, на выходах 8, 4, 2, 1 шифратора мы получим двоичное число 0111.

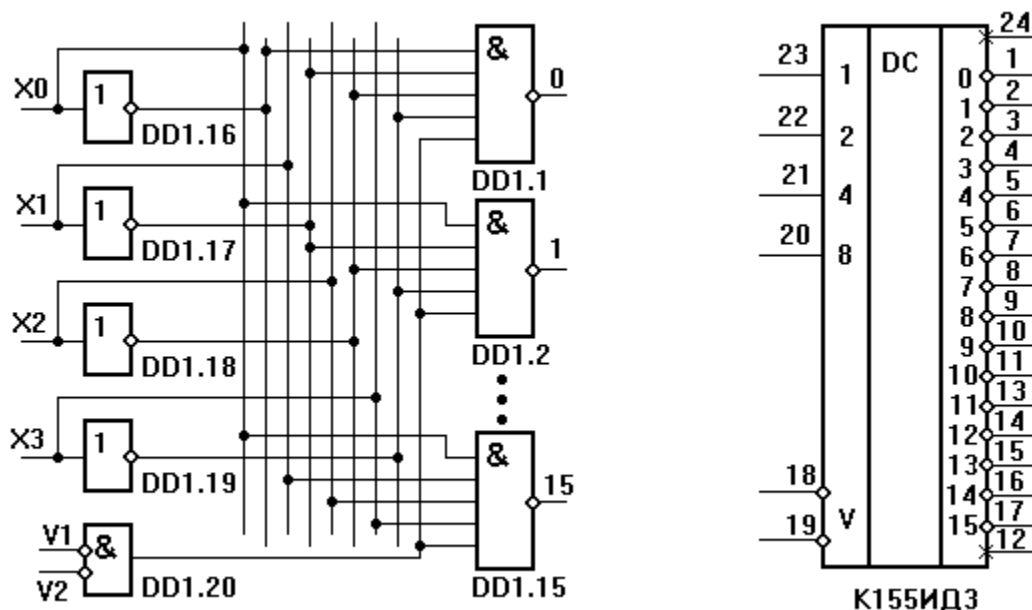


Функциональная схема и условное обозначение шифратора.

Некоторые из шифраторов снабжаются входом стробирования. Наличие входа стробирования позволяет выделять сигнал в определенный момент времени.

Дешифраторы.

Дешифратор (декодер) преобразует код, поступающий на его входы, в сигнал только на одном из его выходов. Дешифратор n -разрядного двоичного числа имеет $2n$ выходов. Для преобразования сигнала необходимо на входы $V1$ и $V2$ микросхемы подать сигналы логических нулей.



Функциональная схема и условное обозначение шифратора

Пусть на входе дешифратора присутствует двоичное число 1111. В этом случае на всех пяти входах элемента DD1.15 будут сигналы логических единиц, а на выходе этого элемента будет логический нуль. На выходах всех остальных 15 элементов будут сигналы логических единиц. Если хотя бы на одном из входов V логическая единица, то единицы будут на всех 16 выходах.

4.7. Мультиплексоры и демультиплексоры. Сумматоры и полусумматоры. Шинные формирователи.

Мультиплексоры, демультиплексоры.

Мультиплексор это устройство, обеспечивающее соединение одного из информационных входов с выходом. Номер информационного входа, который соединяется с выходом, задается в двоичном коде на адресных входах. Если мультиплексор имеет n адресных входов, то в нем может быть 2^n информационных входов. Мультиплексоры могут снабжаться дополнительным входом – входом разрешения передачи информации с входов на выход

Демультиплексор это устройство, обеспечивающее соединение одного из информационных выходов с одним входом. Номер информационного выхода, который соединяется с входом, задается в двоичном коде на адресных входах. Если демультиплексор имеет n адресных входов, то в нем может быть 2^n информационных выходов.

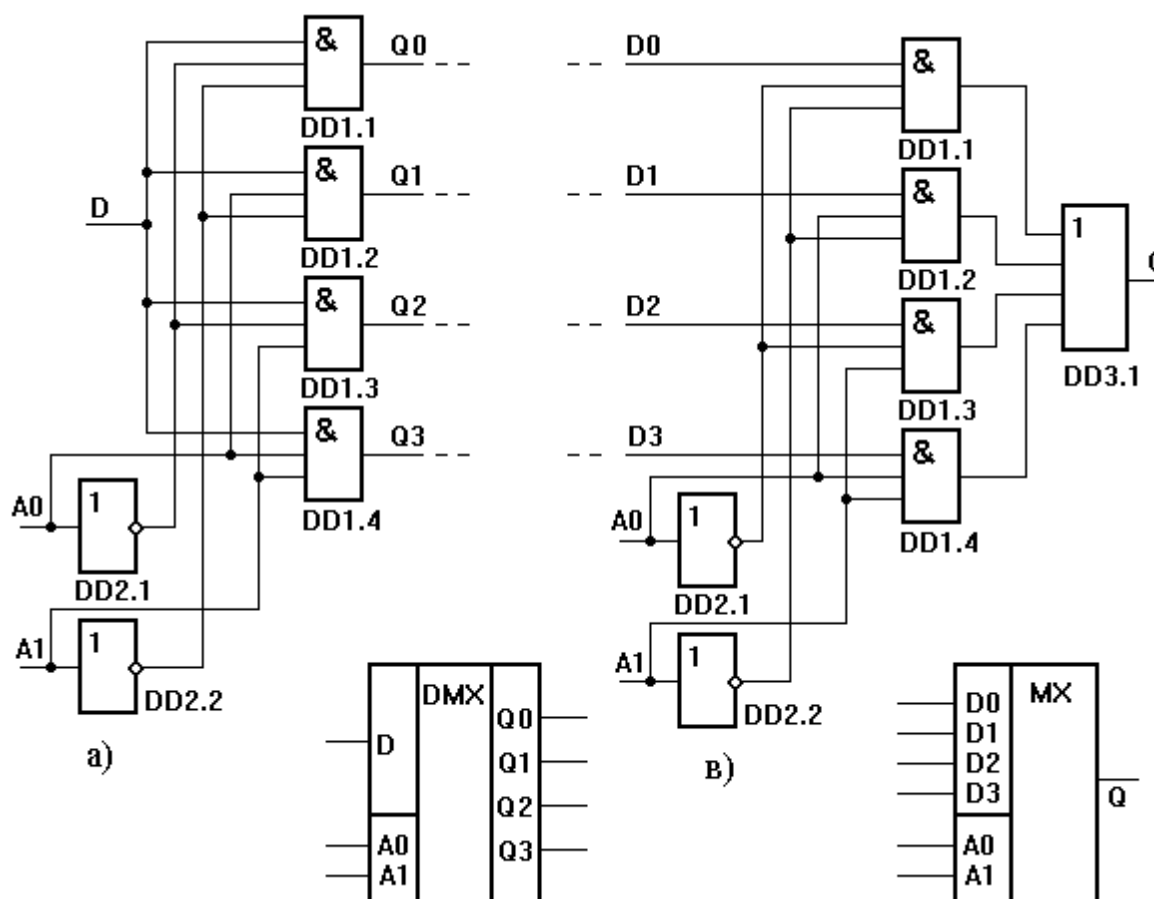
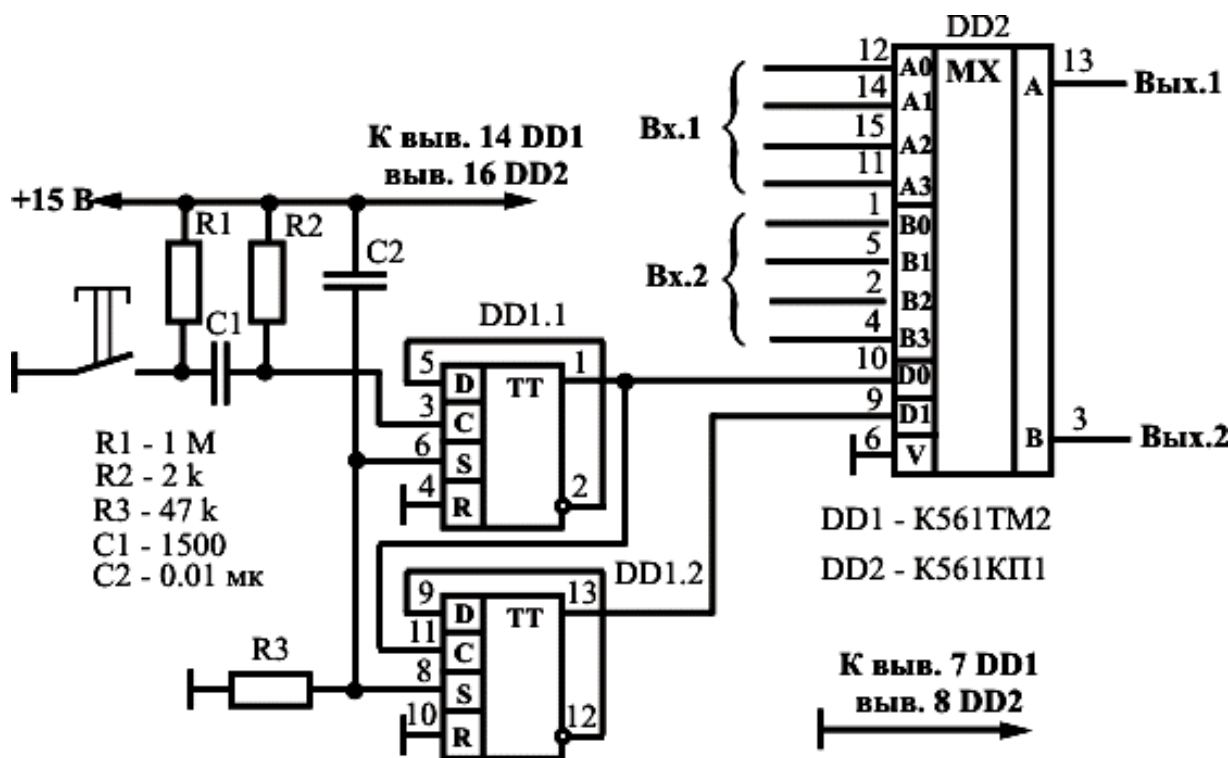


Схема демультиплексора (а), имеющего четыре выхода, и мультиплексора (в), имеющего четыре входа.

Часто в качестве демультиплексора используют дешифраторы двоичного кода в позиционный, в которых вводят дополнительный вход стробирования. Из-за схожести

структур мультиплексора и демультиплексора в КМОП сериях есть микросхемы, которые одновременно являются мультиплексором и демультиплексором, смотря с какой стороны подавать сигналы, например, К561КП1, работающая как переключатель 8х1 и переключатель 1х8 (то есть, как мультиплексор и демультиплексор с восемью входами или выходами).

В КМОП микросхемах кроме переключения цифровых сигналов (лог. 0 или 1) существует возможность переключения аналоговых. Это переключатель аналоговых сигналов, управляемый цифровым кодом. Такие микросхемы называются коммутаторами. Например с помощью коммутатора можно переключать сигналы, поступающие на вход усилителя (селектор входов). Рассмотрим схему селектора входов УЗЧ. Построим ее с использованием триггеров и мультиплексора.



На триггерах микросхемы DD1 собран кольцевой счетчик нажатий кнопки разрядностью 2 (два триггера - 2 разряда). Двухразрядный двоичный код поступает на адресные входы D0-D1 микросхемы DD2. Микросхема DD2 представляет собой сдвоенный четырехканальный коммутатор. В соответствии с двоичным кодом к выходам микросхемы А и В подключаются входы А0-А3 и В0-В3 соответственно. Элементы R1, R2, C1 устраняют дребезг контактов кнопки. Дифференцирующая цепь R3C2 устанавливает триггеры в нулевое состояние при включении питания, при этом к выходу подключается первый вход. При нажатии на кнопку триггер DD1.1 переключается в состояние лог. 1 и к выходу подключается второй вход и т. д. Перебор входов идет по кольцу, начиная с первого.

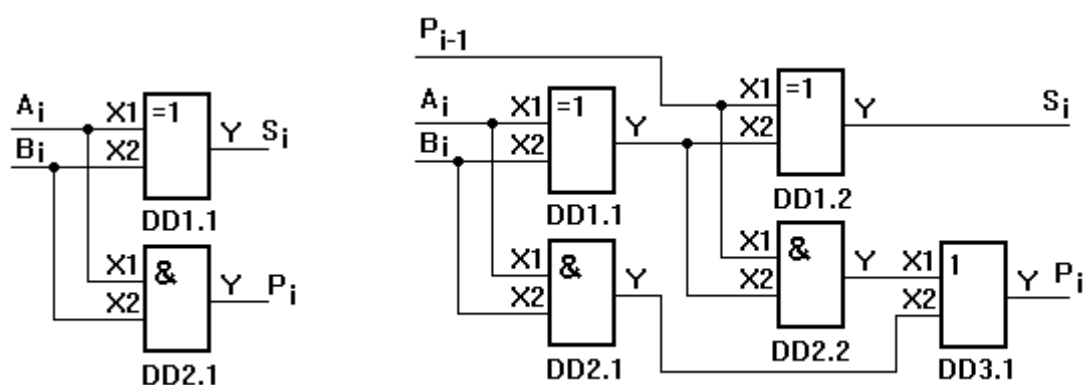
Сумматоры и полусумматоры.

Рассмотрим функционирование одноразрядного сумматора, составленного из двух полусумматоров. Полусумматор - это устройство, производящее сложение двух одноразрядных двоичных чисел без учета переноса предыдущего разряда. Составим таблицу истинности полусумматора и полного одноразрядного двоичного сумматора.

A_i	B_i	P_{i-1}	S_i	P_i
0	0	0	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	1	0
1	1	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1

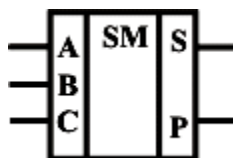
A_i, B_i – двоичные цифры i разряда, P_{i-1} – перенос из $(i-1)$ разряда, S_i – сумма, получившаяся в i разряде, P_i – перенос из i разряда в $(i+1)$ разряд.

Первые четыре строчки таблицы представляют собой таблицу истинности полусумматора.



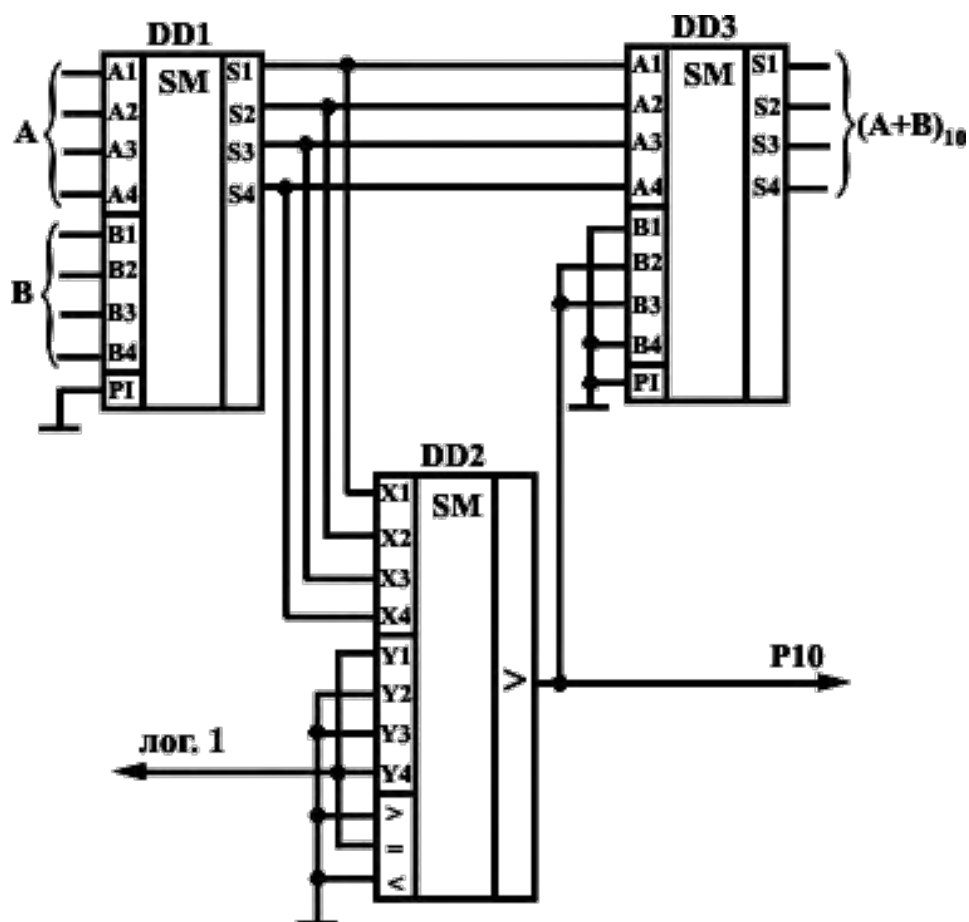
Схемы одноразрядных полусумматора и сумматора.

Четырехразрядный двоичный сумматор содержится, например, в микросхеме K155ИМ3.



Одноразрядный цифровой сумматор

Чаще приходится суммировать десятичные числа. Операцию сложения выполняет сумматор DD1 (см. рис. ниже). При сумме большей или равной десяти на выходе микросхемы DD2, которая является схемой сравнения входов, формируется сигнал переноса P_{10} . На второй вход (Y_1-Y_4) микросхемы DD2 подается двоичный эквивалент числа 9 (1001). Сумматор DD3 осуществляет десятичную коррекцию результата суммирования. При отсутствии сигнала переноса на выходе микросхемы DD3 повторяется код числа, который был на выходе DD1, поскольку на входы В поданы лог. 0. При наличии сигнала переноса $P_{10}=1$ на входах B2-B3 устанавливаются лог. 1, что соответствует коду числа 6. Допустим есть числа $A=8$ и $B=4$. На выходе сумматора DD1 появляется код числа 12 ($8+4=12$). На выходе DD2 формируется сигнал переноса,

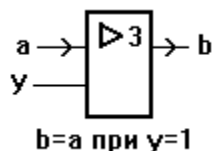


Сумматор двоично-десятичных чисел.

сумматор DD3 выполняет операцию $12+6=18$. Числу 18 соответствует код 10010. На выходах S сумматора DD3 устанавливается код 0010 (собственный перенос микросхемы DD3 не учитывается). Поскольку на выходе P10 число 10, на выходах сумматора число 2 (0010), то в результате получается число 12

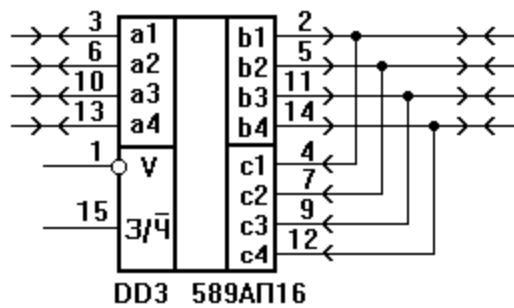
Шинные формирователи.

В вычислительной технике достаточно часто к одному проводу необходимо подключать много устройств, при соблюдении условия, что в любой промежуток времени по этому проводу обмениваться информацией будут только два устройства. Кроме этого необходимо усилить ток, идущий от источника к приемнику информации. Эти задачи можно решить с помощью элементов с тремя состояниями. На основе элементов с тремя состояниями изготавливаются шинные формирователи.



Условное обозначение элемента с тремя состояниями.

Информация передается от «a» к «b» при $y=1$. Если $y=0$, то элемент находится в высокоимпедансном (отключенном) состоянии.



На рисунке показано включение микросхемы К589АП16 для усиления сигнала в четырех линиях в обоих направлениях. Направление передачи информации определяется сигналом на входе разрешения записи чтения (вывод 15). Если на линии 15 логическая единица, то информация по четырем линиям передается слева-направо, а если логический ноль, то справа-налево. На входе выборки микросхемы (вывод 1) должен быть логический ноль. Если на выводе 1 логическая единица, то линии слева и справа от микросхемы находятся в высокоимпедансном (отключенном) состоянии и к ним можно подключить другие устройства.

4.8. АЛУ.

Двоичные сумматоры способны осуществить суммирование многоразрядных кодов. Однако кроме операции суммирования часто требуется осуществлять вычитание двоичных кодов. При использовании дополнительных кодов операцию вычитания двух положительных чисел можно заменить операцией суммирования положительного и отрицательного числа, при этом получение отрицательного числа из положительного числа является элементарной операцией. Для этого необходимо проинвертировать число и прибавить к нему 1.

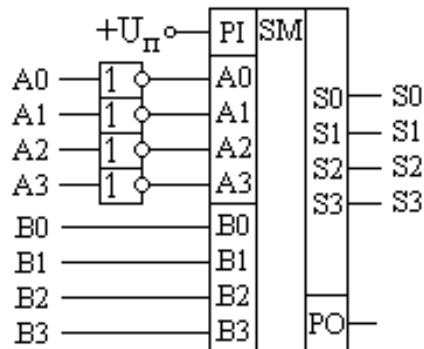


Схема вычитателя числа А из числа В

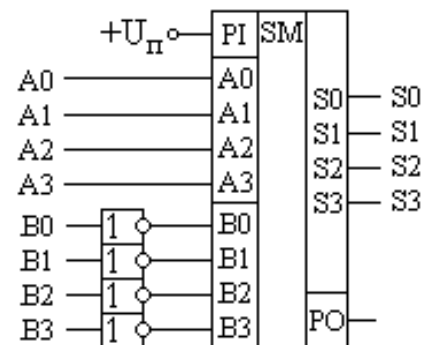
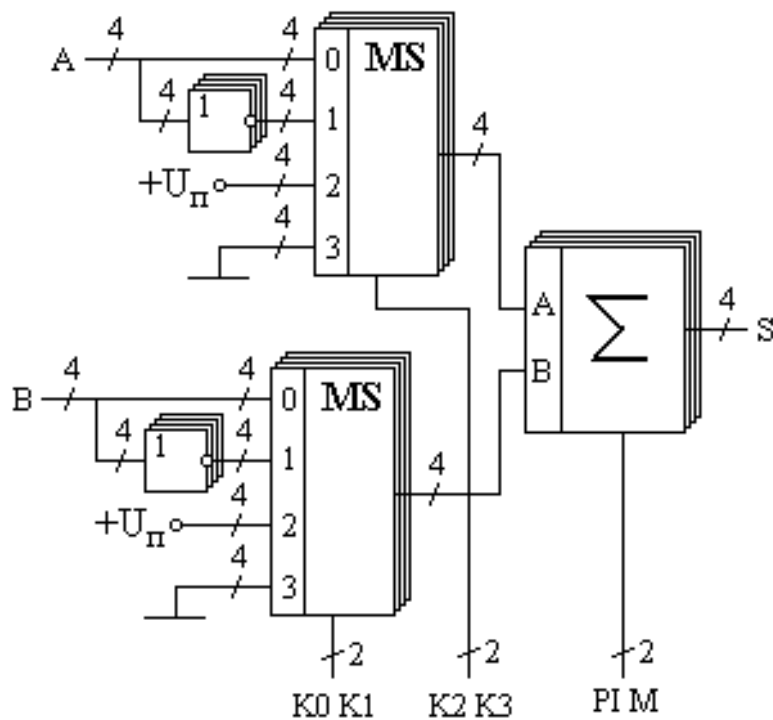


Схема вычитателя числа В из числа А

Если в процессе вычислений требуется изменять арифметическую операцию, то в схему можно ввести коммутатор.



Структурная схема арифметического устройства

В схеме используются четырёхвходовые коммутаторы, для управления каждым из которых достаточно двух бит. То есть для управления всей схемы в целом достаточно четырёх проводов управления. Построим таблицу операций, которые будет выполнять арифметико-логическое устройство (АЛУ). На результат операции будет влиять вход переноса сумматора PI, поэтому этот провод тоже включим в состав кода, управляющего схемой АЛУ. Операции, которые выполняются арифметической схемой в зависимости от поданного на управляющие линии кода, приведены в таблице.

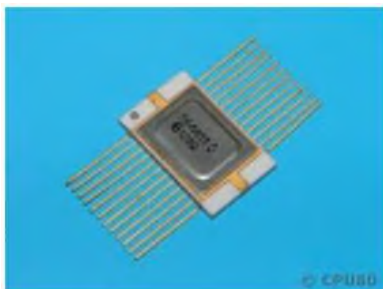
Номер строки	Управляющий код					Выполняемая операция
	K0	K1	K2	K3	PI	
0	0	0	0	0	0	$S = A + B$
1	0	0	0	0	1	$S = A + B + 1$
2	0	0	0	1	0	$S = B - A - 1$
3	0	0	0	1	1	$S = B - A$
4	0	0	1	0	0	$S = B - 1$
5	0	0	1	0	1	$S = B$
6	0	0	1	1	0	$S = B$
7	0	0	1	1	1	$S = B + 1$
8	0	1	0	0	0	$S = A - B - 1$
9	0	1	0	0	1	$S = A - B$
10	0	1	0	1	0	$S = -A - B - 2$
11	0	1	0	1	1	$S = -B - A - 1$
12	0	1	1	0	0	$S = -B - 2$
13	0	1	1	0	1	$S = -B - 1$
14	0	1	1	1	0	$S = -B - 1$
15	0	1	1	1	1	$S = -B$
16	1	0	0	0	0	$S = A - 1$
17	1	0	0	0	1	$S = A$
18	1	0	0	1	0	$S = -A - 2$
19	1	0	0	1	1	$S = -A - 1$
20	1	0	1	0	0	$S = -2$
21	1	0	1	0	1	$S = -1$
22	1	0	1	1	0	$S = -1$
23	1	0	1	1	1	$S = 0$
24	1	1	0	0	0	$S = A$
25	1	1	0	0	1	$S = A + 1$
26	1	1	0	1	0	$S = -A - 1$
27	1	1	0	1	1	$S = -A$
28	1	1	1	0	0	$S = -1$
29	1	1	1	0	1	$S = 0$
30	1	1	1	1	0	$S = 0$
31	1	1	1	1	1	$S = +1$

Если на все управляющие входы подать низкий потенциал, то к входу сумматора будут подключены коды A и B без инверсии. В этом случае будет производиться операция суммирования. Эта ситуация отображена первыми двумя строками таблицы выполняемых операций. Операция вычитания осуществляется второй, третьей, восьмой и девятой строкой. В этом случае один из операндов поступает на вход сумматора через блок

инверторов. Правда для получения дополнительного кода не хватает единицы, но её можно подать на вход переноса сумматора PI. Ещё одной часто используемой операцией является увеличение числа на единицу или уменьшение числа на единицу. Эти операции позволяют легко организовывать циклы в программе и переходить от предыдущего операнда к следующему. Такие операции могут быть выполнены при помощи кодов, записанных в строках четыре, семь, шестнадцать и двадцать пять. Кроме того, схема арифметического устройства может просто передавать на выход любой из входных кодов без изменения, что позволяет осуществлять копирование данных (суммирование с константой ноль) через это устройство без дополнительных схем коммутации.

При небольшом изменении такое устройство может быть преобразовано в схему, которая позволяет осуществлять не только арифметические, но и логические операции. Для этого нужно вести дополнительный коммутатор, который будет разрывать цепи переноса между разрядами. Эта управляющая цепь обычно называется М.

Арифметико-логические устройства позволяют выбирать вид выполняемой операции при помощи кода, подаваемого на специальные выводы микросхемы. Это позволяет программировать одно и то же устройство для выполнения различных функций. Такое устройство позволило обменивать большую скорость выполнения отдельных операций на сложность реализуемого алгоритма, что, в конце концов, привело к разработке микропроцессорных систем.



564ИПЗ "НЗПП" [1]



K501ИК1П "Квазар" [2]



KC531ИК2 "ВЗПП" [3]

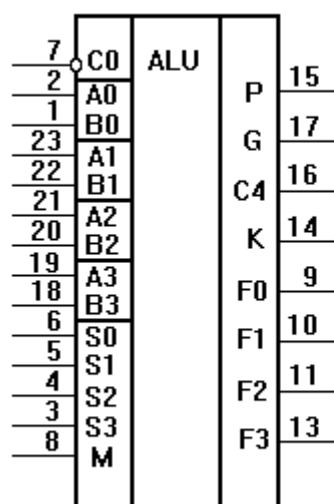


134ИПЗ "ВЗПП" [4]



1533ИПЗ "Интеграл" [5]

1. 564ИПЗ - 4 битное АЛУ, аналог Motorola MC14561B
2. K501ИК1П - 4 битное АЛУ
3. KC531ИК2 - АЛУ с умножением, аналог Ti SN74S381N
4. 134ИПЗ - 4 битное АЛУ, аналог Ti SN54L181
5. 1533ИПЗ - 4 битное АЛУ, аналог Ti SN74ALS181



Выводы: $+U_{\text{ИП}}$ – 24; общий – 12.

A0-A3, B0-B3 - входные сигналы

F0-F3 - выходные сигналы

C0 - входной перенос

C4 - выходной перенос

S0-S3 - выбор функций, выполняемых

арифметико-логическим устройством

M=1 - логические функции

M=0 - арифметико-логические функции

Примечание: входной и выходной переносы в отличие от остальных сигналов представлены инверсным кодом

Микросхема K155ИП3

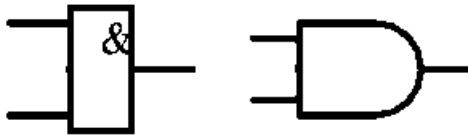
№ состояния	набор управляющих сигналов				M=1	M=0
	S3	S2	S1	S0	сигнал на выходе F_i , соответствующей логической функции	результат арифметической или арифметико-логической операции
0	0	0	0	0	$\overline{A_i}$	$A \vdash C_0$
1	0	0	0	1	$\overline{A_i} \vee \overline{B_i}$	$(A \vee B) - C_0$
2	0	0	1	0	$\overline{A_i} \cdot B_i$	$(A \vee \overline{B}) + C_0$
3	0	0	1	1	0	$2^4 - 1 + C_0$ (0 при $C_0=1$)
4	0	1	0	0	$\overline{A_i} \cdot \overline{B_i}$	$A + (A \wedge \overline{B}) + C_0$
5	0	1	0	1	$\overline{B_i}$	$(A \vee B) \vdash (A \wedge \overline{B}) \vdash C_0$
6	0	1	1	0	$A_i \vdash B_i$	$A - B - 1 \vdash C_0$
7	0	1	1	1	$A_i \cdot \overline{B_i}$	$(A \wedge \overline{B}) - 1 - C_0$
8	1	0	0	0	$\overline{A_i} \vee B_i$	$A + (A \wedge B) + C_0$
9	1	0	0	1	$\overline{A_i} \vee \overline{B_i}$	$A + B + C_0$
10	1	0	1	0	B_i	$(A \vee \overline{B}) + (A \wedge B) + C_0$
11	1	0	1	1	$A_i \cdot B_i$	$(A \wedge B) - 1 + C_0$
12	1	1	0	0	1	$A + A + C_0$ (СДЛЛ при $C_0=0$)
13	1	1	0	1	$A_i \vee \overline{B_i}$	$(A \vee B) + A + C_0$
14	1	1	1	0	$A_i \vee B_i$	$(A \vee \overline{B}) + A + C_0$
15	1	1	1	1	A_i	$A - 1 + C_0$

4.9. Тесты для самоконтроля по разделу 4.

1. Число 1101 в двоичном коде соответствует следующему числу в десятичном коде

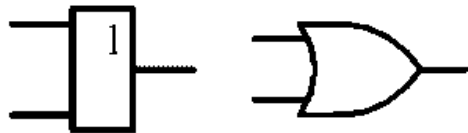
- А) 2
- Б) 5
- В) 13
- Г) 14

2. На рисунке изображён логический элемент



- А) «И»
- Б) «ИЛИ»
- В) «НЕ»
- Г) «ДА»

3. На рисунке изображён логический элемент



- А) «И»
- Б) «ИЛИ»
- В) «НЕ»
- Г) «ДА»

4. На выходе будет: "1" тогда и только тогда, когда на всех входах действуют «0», "0" тогда и только тогда, когда хотя бы на одном входе действует «1». Это правило для логического элемента

- А) «И»
- Б) «ИЛИ»
- В) «И-НЕ»
- Г) «ИЛИ-НЕ»

5. На выходе будет: "1" тогда и только тогда, когда хотя бы на одном входе действует «0», "0" тогда и только тогда, когда на всех входах действуют «1». Это правило для логического элемента

- А) «И»
- Б) «ИЛИ»
- В) «И-НЕ»
- Г) «ИЛИ-НЕ»

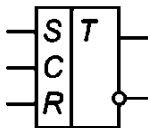
6. Каких триггеров не существует

- А) RS - триггер
- Б) RK - триггер
- В) JK - триггер
- Г) D - триггер

7. На вход С триггера поступает

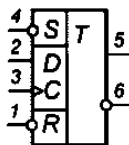
- А) управляющий тактовый сигнал
- Б) разрешающий сигнал
- В) информационный сигнал
- Г) сигнал сброса

8. На рисунке изображён



- А) синхронный RS - триггер
- Б) асинхронный RS - триггер
- В) JK - триггер
- Г) D - триггер

9. На рисунке изображён



- А) синхронный RS - триггер
- Б) асинхронный RS - триггер
- В) JK - триггер
- Г) D - триггер

10. Параллельные регистры - это устройства, предназначенные для
- А) дешифрации информации, представленной в виде двоичных кодов
 - Б) преобразования информации, представленной в виде двоичных кодов
 - В) анализа информации, представленной в виде двоичных кодов
 - Г) записи, хранения и выдачи информации, представленной в виде двоичных кодов
11. В микросхемах регистровой памяти регистры объединены с
- А) дешифратором
 - Б) триггером
 - В) мультиплексором
 - Г) микропроцессором
12. Сдвиговый регистр это регистр, содержимое которого
- А) может преобразовываться в десятичный код
 - Б) может складываться с любым двоичным числом
 - В) может сдвигаться в сторону старших или младших разрядов
 - Г) может преобразовываться в аналоговый сигнал
13. Счетчиком называют цифровое устройство,
- А) обеспечивающее подсчет числа электрических импульсов
 - Б) обеспечивающее подсчёт числа произведённых операций
 - В) обеспечивающее подсчёт числа занятых ячеек памяти
 - Г) обеспечивающее подсчёт числа логических элементов в схеме
14. Шифратор
- А) преобразует сигнал на одном из входов в последовательный
 - Б) запоминает цифровую информацию
 - В) шифрует информационный сигнал для дальнейшей передачи
 - Г) преобразует сигнал на одном из входов в n-разрядное двоичное число
15. Устройство, обеспечивающее соединение одного из информационных входов с выходом называется
- А) триггер
 - Б) мультиплексор
 - В) демультиплексор
 - Г) дешифратор

16. Устройство, производящее сложение двух одноразрядных двоичных чисел без учета переноса предыдущего разряда называется

- А) сумматор
- Б) полусумматор
- В) шинный формирователь
- Г) шифратор

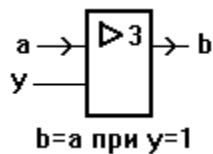
17. Элементы шинного формирователя имеют _____ состояния

- А) два
- Б) три
- В) четыре
- Г) двадцать два

18. АЛУ это

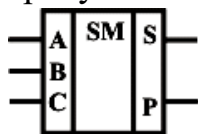
- А) аналогово – линейное устройство
- Б) аналогово – логическое устройство
- В) арифметическо – логическое устройство
- Г) арифметическо – линейное устройство

19. На рисунке изображён элемент



- А) мультиплексора
- Б) шифратора
- В) регистра
- Г) шинного формирователя

20. На рисунке показано обозначение



- А) сумматора
- Б) полусумматора
- В) шифратора
- Г) мультиплексора

5. Микропроцессорные системы.

5.1. Назначение и классификация запоминающих устройств.

Классификация ЗУ (запоминающих устройств) по функциональному назначению.

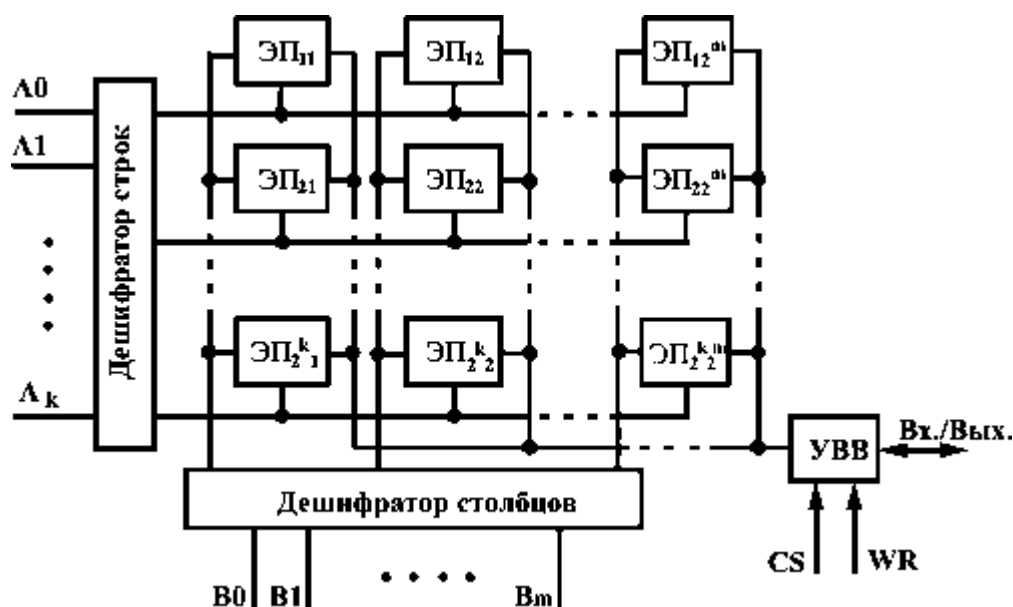
1. ПЗУ (работают в режимах хранения и считывания)
 - 1.1 ROM (Read Only Memory) – постоянные запоминающие устройства;
 - 1.2 PROM (Programmable ROM) – программируемые постоянные запоминающие устройства;
 - 1.3 EPROM (Erasable PROM) - перепрограммируемые постоянные запоминающие устройства с ультрафиолетовым стиранием информации;
 - 1.4 EEPROM (Electrically Erasable PROM) - перепрограммируемые постоянные запоминающие устройства с электронным стиранием информации, также называемые flash ROM.
2. ОЗУ (RAM - random access memory - память с произвольным доступом). Работают в режимах записи, хранения и считывания информации. Применяются для хранения кодов выполняемых программ и промежуточных результатов обработки информации.
 - 2.1 SRAM - статические (элементом памяти является триггер на биполярных или полевых транзисторах).
 - 2.2 DRAM - динамические (элементом памяти является конденсатор, в качестве которого обычно используется затвор полевого транзистора).

Обозначения выводов.

На принципиальных схемах обычно используют обозначения выводов микросхемы в соответствии с сигналами, присутствующими на этих выводах: А – адрес; С – тактовый; ST – строб; CAS – выбор адреса столбца; RAS – выбор адреса строки; CS – выбор кристалла; Е – разрешение; WR – запись; RD – считывание; WR/RD – запись-считывание; OE – разрешение выхода; D – данные (информация); DI – входные данные; DO – выходные данные; REF – регенерация; PR – программирование; ER – стирание; UPR – напряжение программирования; UCC – напряжение питания; 0V – общий вывод.

Обобщенная структурная схема запоминающего устройства.

Матрица накопителя имеет m строк и n столбцов. На пересечении строки и столбца располагается элемент памяти. Матрица накопителя, имеющая m строк и n столбцов, имеет $m \cdot n$ ячеек памяти. Для выборки строк и столбцов используют дешифраторы или демультиплексоры. В качестве запоминающего элемента микросхем памяти статического типа может быть использован, например, D-триггер, снабженный специальным входом разрешения.



Обобщенная структурная схема запоминающего устройства.

Статическое ОЗУ.

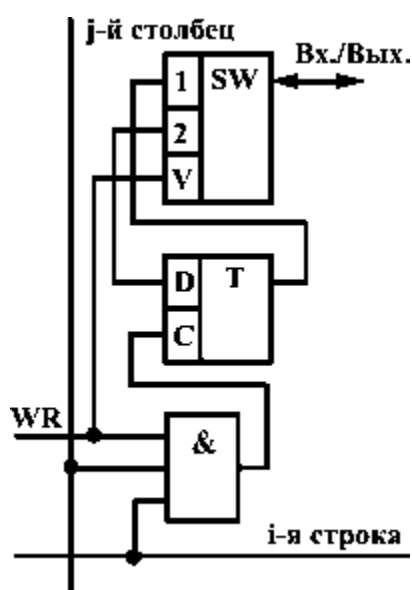
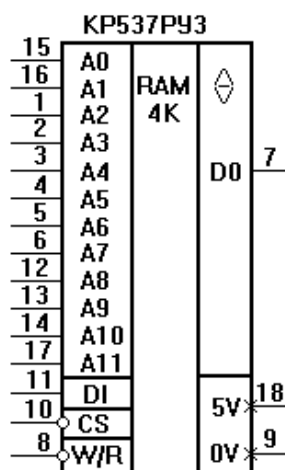


Рис. 2 - Элемент памяти статического ОЗУ

Элементом памяти является D-триггер. Для уменьшения количества выводов, совмещают входы и выходы. Поэтому на схеме введен еще и электронный ключ. При уровнях лог. 1 на линиях i и j и при подаче сигнала разрешения записи $WR=1$ (от write - записывать), в триггер записывается информация, которая поступает на вход D. При этом шина $V_x./V_{yx.}$ оказывается подключенной к D входу триггера через электронный ключ и выполняет функции входа, при снятии сигнала WR ключ подключает к шине $V_x./V_{yx.}$ выход триггера, и эта шина выполняет функции выхода.

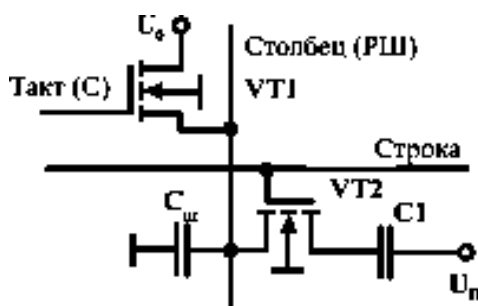
Если ОЗУ одноразрядная, то шина $V_x./V_{yx.}$ будет общей для всех элементов памяти. Но чаще ОЗУ многоразрядные и в этом случае на каждой паре линий строка-столбец располагается по n триггеров и n ключей, где n -число разрядов, а элемент "И" при этом остается один. Естественно, что каждый из ключей подключается к своей шине $V_x./V_{yx.}$



Помимо режимов записи и считывания, которые определяются потенциалом на входе WR, существует режим хранения данных, в котором запись и считывание запрещены. Для перевода ОЗУ в режим хранения используется сигнал CS (crystal selection) - выбор кристалла. Обычно для перевода в режим хранения на вход CS подается уровень лог. 1, для перевода в рабочий режим - лог. 0.

Динамическое ОЗУ.

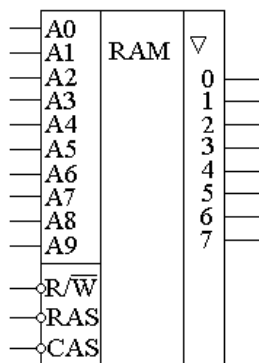
Функции элемента памяти выполняет конденсатор. Информация представляется электрическим зарядом. Например, если есть заряд на конденсаторе, значит в элемент памяти записана лог. 1, нет заряда - лог. 0. Поскольку время сохранения на конденсаторе заряда ограничено (вследствие утечки), необходимо периодически восстанавливать записанную информацию. Этот процесс зовется регенерацией.



Элемент памяти динамического ОЗУ

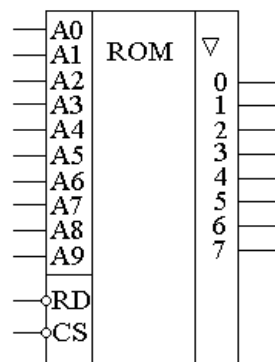
Выбор элемента памяти производится сигналом лог. 1 на шине строки. Транзистор VT2 открывается и соединяет конденсатор C1 с шиной столбца. РШ - разрядная шина. Предварительно через транзистор VT1, который открывается сигналом "Такт (C)", заряжается емкость Cш до напряжения U_0 . Емкость Cш должна значительно превышать емкость C1.

Элемент памяти динамического ОЗУ проще, чем статического, поэтому объем памяти в динамических ОЗУ выше, чем в статических. При большой разрядности адреса его делят на две части. Первая - RAS (row access signal - сигнал выборки строки), вторая - CAS (column access signal - сигнал выборки столбца). Сигналы RAS и CAS сдвинуты друг относительно друга во времени, сигнал разрешения записи WR должен появляться при введении обеих частей адреса. Одновременно с WR вводится информационный сигнал. В режиме считывания информационный сигнал появляется на выходе с некоторой задержкой, относительно сигнала CAS.



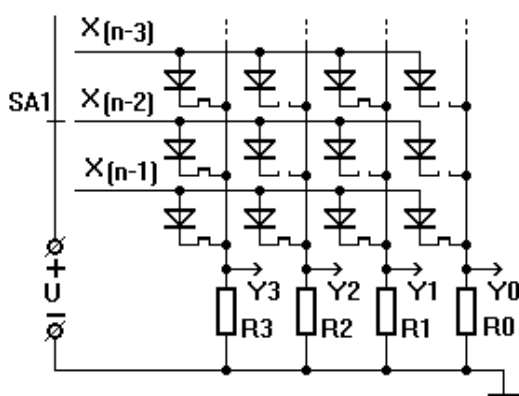
ПЗУ (ROM).

Используется для хранения данных, которые никогда не потребуют изменения. Содержание памяти "зашивается" в устройстве при его изготовлении.

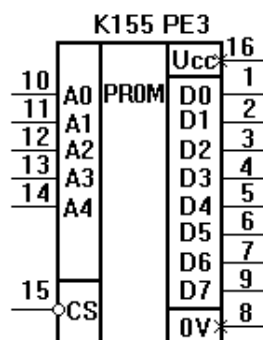


ППЗУ (PROM).

Программируются в специальных устройствах – программаторах (один раз). Такие микросхемы называются программируемыми ПЗУ (ППЗУ) или PROM.



А)



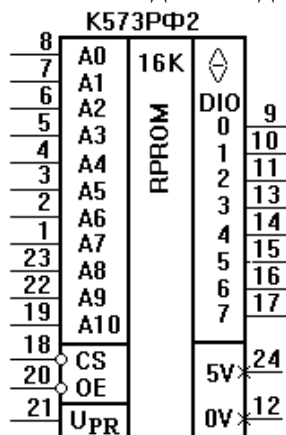
Б)

Однократно программируемая пользователем микросхема ППЗУ с пережигаемыми перемычками.

В фрагменте запоминающего устройства (Рис. А), имеющего n слов по 4 двоичных разряда каждое слово выбирается переключателем SA1. В ПЗУ записаны следующие слова: в строке $X(n-3)$ – 1010, в строке $X(n-2)$ – 1000, и в строке $X(n-1)$ – 1111.

ППЗУ (EPROM).

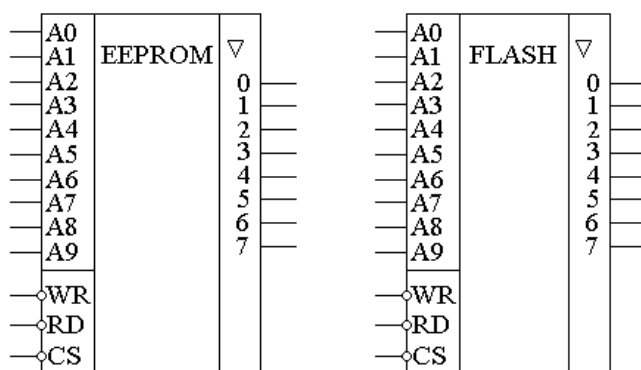
В репрограммируемых постоянных запоминающих устройствах (ППЗУ) или EPROM (RPPROM) стирание информации осуществляют ультрафиолетовым излучением. Количество циклов записи - стирания находится в диапазоне от 10 до 100 раз.



ЭСППЗУ (EEPROM).

ЭСППЗУ - электрически стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство. Обладают максимальным количеством циклов записи - стирания.

Для уменьшения габаритов ЭСППЗУ за счет уменьшения количества внешних выводов микросхем адрес и данные передаются в микросхему и из микросхемы через последовательный порт (flash ROM или FLASH)..



Некоторые специальные виды памяти.

CMOS RAM — это память с невысоким быстродействием и минимальным энергопотреблением. Содержимое CMOS изменяется специальной программой Setup, находящейся в BIOS (англ. Set-up — устанавливать, читается "сетап").

Важнейшая микросхема постоянной памяти — модуль BIOS. BIOS неотъемлемый элемент аппаратуры, и важный модуль любой операционной системы. BIOS (Basic Input/Output System — базовая система ввода-вывода) — совокупность программ, предназначенных для автоматического тестирования устройств после включения питания компьютера и загрузки операционной системы в оперативную память.

Видеопамять (VRAM) — разновидность оперативного ЗУ, в котором хранятся закодированные изображения.

5.2. Внешние запоминающие устройства.

Внешняя память - это память, предназначенная для длительного хранения программ и данных. Целостность содержимого ВЗУ не зависит от того, включен или выключен компьютер.

Дисковод (накопитель) - устройство записи/считывания информации. Накопители имеют собственное имя – буква латинского алфавита, за которой следует двоеточие. Для подключения к компьютеру одного или несколько дисководов и управления их работой нужен Дисковый контроллер

Носитель информации (носитель записи) – материальный объект, способный хранить информацию. Информация записывается на носитель посредством изменения физических, химических и механических свойств запоминающей среды.

По типу доступа к информации внешнюю память делят на два класса:

- Устройства прямого (произвольного) доступа – время обращения к информации не зависит от места её расположения на носителе;
- Устройство последовательного доступа – такая зависимость существует

В состав внешней памяти входят:

- 1) накопители на жестких магнитных дисках (НЖМД);



- Предназначены для хранения той информации, которая наиболее часто используется в работе - программ операционной системы, компиляторов, сервисных программ, прикладных программ пользователя, текстовых документов, файлов базы данных
- Следует оберегать от ударов при установке и резких перемещений в пространстве
- Это носители с произвольным доступом к информации
- Для хранения информации разбивается на дорожки и секторы
- Скорость обмена информации значительно выше ГД
- Объем ЖД измеряется от Мбайт до сотен Гбайт

НЖМД встроены в дисковод и являются несъемными. Представляют собой несколько алюминиевых дисков с магнитным покрытием, заключенных в единый корпус с

электродвигателем, магнитными головками и устройством позиционирования. К магнитной поверхности диска подводится записывающая головка, которая перемещается по радиусу диска с внешней стороны к центру. Во время работы дисководов диск вращается. В каждом фиксированном положении головка взаимодействует с круговой дорожкой. На эти концентрические дорожки и производится запись двоичной информации. Благодаря хорошей защищенности от пыли, влаги и других внешних воздействий достигаются высокой плотности записи.

Для обращения к НЖМД используется имя, задаваемое прописной латинской буквой, начиная с C: , но с помощью специальной системной программы можно разбить свой физический ЖД на несколько логических дисков, каждому из которых дается соответствующее имя.

Накопители на жестких магнитных дисках часто называют винчестер - по первой модели ЖД, имевшего 30 дорожек по 30 секторов, что совпало с характеристиками охотничьего ружья

2) накопители на гибких магнитных дисках (НГМД);



- Предназначены для хранения небольших объемов информации
- Следует оберегать от сильных магнитных полей и нагревания
- Это носители произвольного (прямого) доступа к информации
- Используются для переноса данных с одного компьютера на другой
- Для работы с информацией носитель должен быть отформатирован, т.е. должна быть произведена магнитная разметка диска на дорожки и секторы
- Скорость обмена информацией зависит от скорости вращения дисководов. Для обращения к диску, вставленному в дисковод, присваивается имя A:
- Объем ГМД сравнительно небольшой (3,5 дюйма - 1,44 Мбайт)
- Рекомендуется делать копии содержимого ГМД

Диски называются гибкими потому, что их рабочая поверхность изготовлена из эластичного материала и помещена в твердый защитный конверт. Для доступа к магнитной поверхности диска в защитном конверте имеется закрытое шторкой окно. Поверхность диска покрыта специальным магнитным слоем (1- намагниченный участок, 0 – не намагниченный). Информация записывается с двух сторон диска на дорожки в виде концентрических окружностей. Дорожки разбиваются на секторы. Современные дискеты имеют программную разметку. На каждом секторе выделяется участок для его идентификации, а на остальное место записываются данные. Дисковод снабжен двумя двигателями. Один обеспечивает вращение внутри защитного конверта. Второй перемещает головку записи/чтения вдоль радиуса поверхности диска. В защитном конверте имеется специальное окно защиты записи. С помощью бегунка это окно

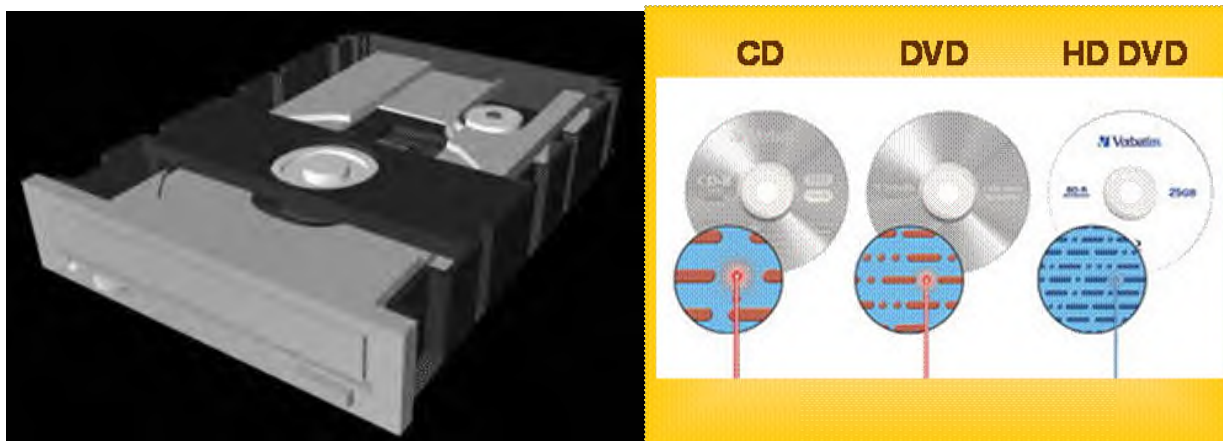
открывается, и дискета становится доступна только на чтение, а на запись доступа не будет. Это предохраняет информацию на диске от изменения и удаления

3) накопители на магнитооптических компакт дисках;

Наиболее жизнеспособными оптическими дисками, обладающие свойствами перезаписи, на сегодняшний день являются магнитооптические (МО) диски. МО диски появились в 1988 году и соединили в себе компактность гибких дисков и накопителя Bernoulli Box, скорость среднего жесткого диска, надежность стандартного Компакт Диска и емкость сравнимую с DAT лентами.

Широкому распространению МО дисков мешает дорогая стоимость и конкуренция современных жестких дисков. МО медленны и уступают им по объемам хранимой информации. Это делает невозможным применение МО дисков вместо традиционных винчестеров. Но МО диски имеют перспективы как вторичные накопители, применяемые для резервного хранения информации.

4) накопители на оптических дисках (CD-ROM);



- Предназначены для хранения любого вида информации
- Информацию на CD записывается с помощью лазерного луча
- Следует оберегать от царапин и загрязнения поверхности
- Это носители прямого (произвольного) доступа к информации
- Объем (ёмкость) CD составляет сотни Мбайт; DVD -более 1Гбайта
- Более долговечны и надежны, чем магнитные диски

CD – Compact Disk. Изготавливают из органических материалов с напылением на поверхность тонкого алюминиевого слоя. Лазерный диск имеет одну дорожку в виде спирали. Информация записывается отдельными секторами мощным лазерным лучом, выжигающим на поверхности диска углубления, и представляет собой чередование впадин и выпуклостей. При считывании информации выступы отражают свет слабого лазерного луча и воспринимаются как «1», впадины поглощают луч и, воспринимаются как «0». Это бесконтактный способ считывания информации. Срок хранения 50-100лет

DVD – Digital Video Disk. Имеет те же размеры, что и CD. Объем - Гбайт. Может быть односторонним или двухсторонним, а на каждой стороне может быть 1 или 2 рабочих слоя.

В начале 2005 года в продаже появились первые приводы и диски Blu-Ray (емкость 25 и 50 Гб). От традиционных CD или DVD они отличаются длиной волны записывающего лазера (она составляет 405 нм против 635 у DVD).

В качестве записываемых и стираемых дисков используются магнитооптические диски (CD-MO), которые допускают как стирание, так и перезапись информации.

5) накопители на магнитной ленте.

- Используют для резервного (относительно медленного) копирования и хранения больших объемов информации (архивы)
- Устройство для записи и считывания магнитных лент называется стример
- Это устройство последовательного доступа к информации

6) флэш-память.

Используется для решения двух основных задач.



- Для хранения программных модулей ОС (внутренняя память);
- В качестве внешнего накопителя данных.

Флэш-память — разновидность твердотельной полупроводниковой энергонезависимой перезаписываемой памяти. В настоящее время выпускается два основных типа флэш-памяти: NOR (логика ячеек NOT OR) и NAND (логика ячеек NOT AND). Слово «флэш» возникло благодаря тому, что операция записи требует подачи на сток и управляющий затвор высокого напряжения (отсюда flash, «молния»).

Процедуры записи-стирания вызывают износ ячейки флэш-памяти, поэтому у таких микросхем ограничен ресурс циклов перезаписи (порядка миллионов циклов).

Память типа NOR обеспечивает возможность произвольного чтения-записи данных (вплоть до отдельных байтов) и быстрое считывание, но при этом относительно медленные схемы записи и стирания.

Память типа NAND обеспечивает блочный доступ, быстрые процедуры стирания и записи, дешевизну и простоту наращивания емкости модулей. Данные на флэш-памяти NAND считываются поблочно.

5.3. Цифровая обработка электрических сигналов: дискретизация, квантование.



В первой половине XX века при регистрации и обработке информации использовались, в основном, измерительные приборы и устройства аналогового типа, работающие в реальном масштабе времени, при этом даже для величин, дискретных в силу своей природы, применялось преобразование дискретных сигналов в аналоговую форму. Положение изменилось с распространением микропроцессорной техники и ЭВМ. Цифровая регистрация и обработка информации оказалась более совершенной и точной, более универсальной, многофункциональной и гибкой. Мощь и простота цифровой обработки сигналов настолько преобладают над аналоговой, что преобразование аналоговых сигналов в цифровую форму стало производственным стандартом.

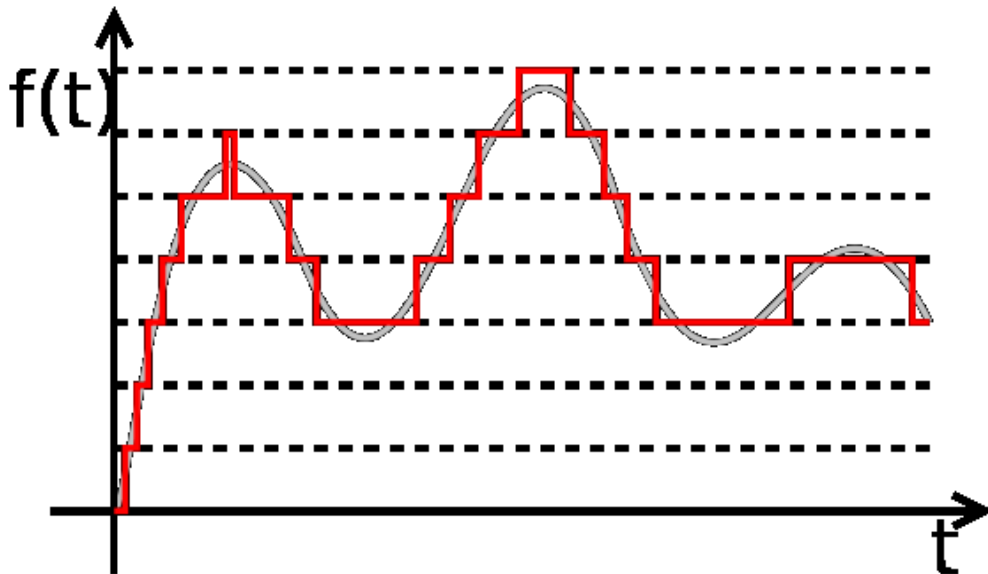
Дискретизация и квантование (Обработка сигналов).

Дискретизация - преобразование непрерывной функции в дискретную. При дискретизации только по времени, непрерывный аналоговый сигнал заменяется последовательностью отсчётов, величина которых может быть равна значению сигнала в данный момент времени. Точность воспроизведения такого представления зависит от интервала времени между отсчётами Δt .

$$\Delta t < \frac{1}{2 \cdot F_{max}}$$

где F_{max} - наибольшая частота спектра сигнала.

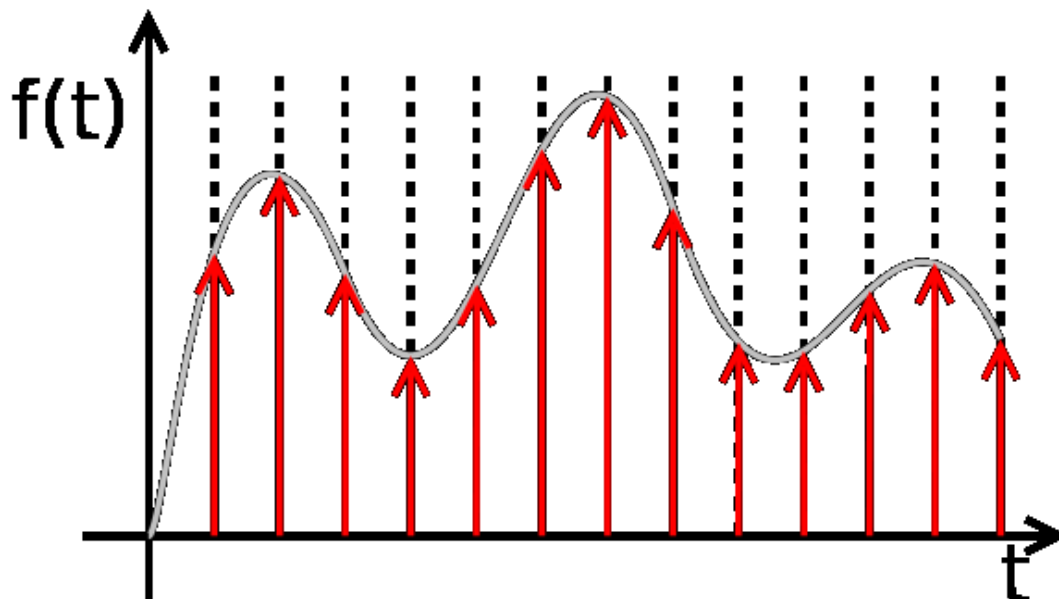
Квантование - разбиение диапазона значений непрерывной или дискретной величины на конечное число интервалов. Квантование используется при обработке сигналов, в том числе при сжатии звука и изображений. Простейшим видом квантования является деление целочисленного значения на натуральное число, называемое коэффициентом квантования.



Квантованный сигнал

Однородное (линейное) квантование - разбиение диапазона значений на отрезки равной длины. Его можно представлять как деление исходного значения на постоянную величину (шаг квантования) и взятие целой части от частного:

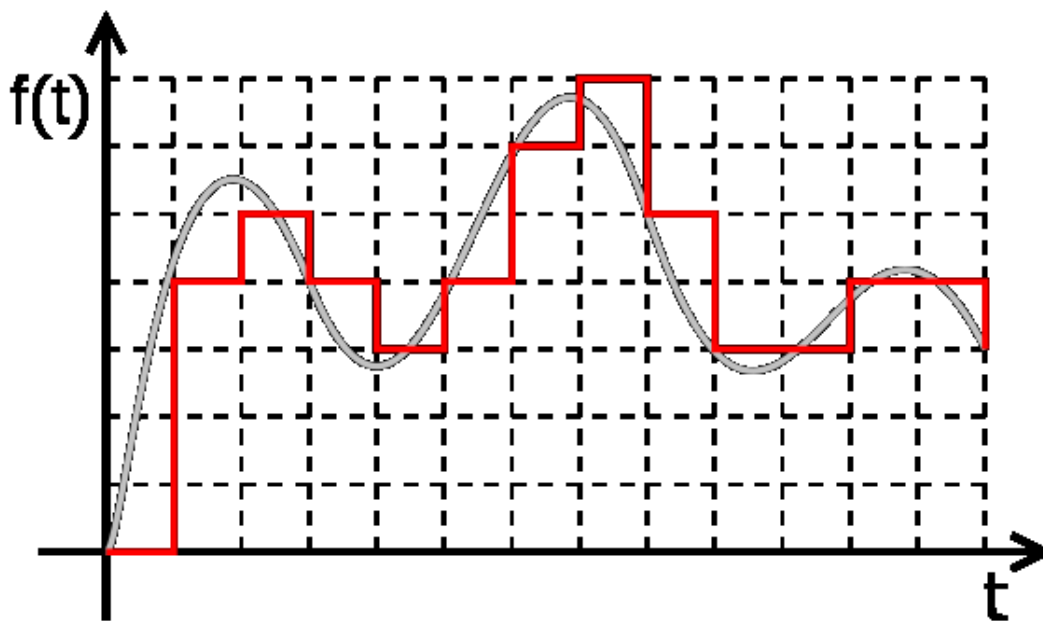
$$y_q = \left[\frac{y - y_0}{h} \right]$$



Неквантованный сигнал с дискретным временем

Не следует путать квантование с дискретизацией (и, соответственно, шаг квантования с частотой дискретизации). При дискретизации изменяющаяся во времени величина (сигнал) замеряется с заданной частотой (частотой дискретизации), таким образом, дискретизация разбивает сигнал по временной составляющей (на графике - по горизонтали). Квантование же приводит сигнал к заданным значениям, то есть, разбивает по уровню сигнала (на графике - по вертикали).

Сигнал, к которому применены дискретизация и квантование, называется цифровым.



Цифровой сигнал

При оцифровке сигнала уровень квантования называют также глубиной дискретизации или битностью. Глубина дискретизации измеряется в битах и обозначает количество бит, выражающих амплитуду сигнала. В случае однородного квантования глубину дискретизации называют также динамическим диапазоном и измеряют в децибелах ($1 \text{ бит} \approx 6 \text{ дБ}$).

Квантование по уровню - представление величины отсчётов цифровыми сигналами. Для квантования в двоичном коде диапазон напряжения сигнала от $U_{\min}$ до $U_{\max}$ делится на 2^n интервалов. Величина получившегося интервала (шага квантования):

$$\Delta = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2^n}.$$

Каждому интервалу присваивается n -разрядный двоичный код - номер интервала, записанный двоичным числом. Каждому отсчёту сигнала присваивается код того интервала, в который попадает значение напряжения этого отсчёта. Таким образом, аналоговый сигнал представляется последовательностью двоичных чисел, соответствующих величине сигнала в определённые моменты времени, то есть цифровым сигналом. При этом каждое двоичное число представляется последовательностью импульсов высокого (1) и низкого (0) уровня.

Аналоговый и цифровой сигнал.

Аналоговый сигнал - сигнал данных, у которого каждый из представляющих параметров описывается функцией времени и непрерывным множеством возможных значений

Аналоговые сигналы описываются непрерывными функциями времени, поэтому аналоговый сигнал иногда называют непрерывным сигналом. Примеры непрерывных пространств и соответствующих физических величин:

- прямая: электрическое напряжение
- окружность: положение ротора, колеса, шестерни, стрелки аналоговых часов, или фаза несущего сигнала
- отрезок: положение поршня, рычага управления, жидкостного термометра или электрический сигнал, ограниченный по амплитуде
- различные многомерные пространства: цвет, квадратурно-модулированный сигнал.

Свойства аналоговых сигналов.

- Отсутствие чётко отличимых друг от друга дискретных уровней сигнала приводит к невозможности применить для его описания понятие информации в том виде, как она понимается в цифровых технологиях. Содержащееся в одном отсчёте "количество информации" будет ограничено лишь динамическим диапазоном средства измерения.

- Отсутствие избыточности. Из непрерывности пространства значений следует, что любая помеха, внесенная в сигнал, неотличима от самого сигнала и, следовательно, исходная амплитуда не может быть восстановлена. В действительности фильтрация возможна, например, частотными методами, если известна какая-либо дополнительная информация о свойствах этого сигнала (в частности, полоса частот).

Цифровой сигнал - сигнал данных, у которого каждый из представляющих параметров описывается функцией дискретного времени и конечным множеством возможных значений.

Цифровые сигналы представляют собой дискретные электрические или световые импульсы. При таком способе вся емкость коммуникационного канала используется для передачи одного сигнала. Цифровой сигнал использует всю полосу пропускания кабеля. Полоса пропускания - это разница между максимальной и минимальной частотой, которая может быть передана по кабелю. Каждое устройство в таких сетях посылает данные в обоих направлениях, а некоторые могут одновременно принимать и передавать.

Дискретный цифровой сигнал сложнее передавать на большие расстояния, чем аналоговый сигнал, поэтому его предварительно модулируют на стороне передатчика, и демодулируют на стороне приёмника информации. Использование в цифровых системах алгоритмов проверки и восстановления цифровой информации позволяет существенно увеличить надёжность передачи информации.

Непрерывная и дискретная информация.

Чтобы сообщение было передано от источника к получателю, необходима некоторая материальная субстанция - носитель информации.

Сигнал - сообщение, передаваемое с помощью носителя.

Непрерывный (аналоговый) способ представления информации - представление информации, в котором сигнал на выходе датчика будет меняться вслед за изменениями соответствующей физической величины.

Недостатки аналогового способа представления информации:

- Точность представления информации определяется точностью измерительного прибора.
- Наличие помех может сильно исказить представляемую информацию.

Дискретный сигнал - сигнал, параметр которого принимает последовательное во времени конечное число значений (при этом все они могут быть пронумерованы). Сообщение, передаваемое с помощью таких сигналов называют дискретным сообщением. Информация передаваемая источником, в этом случае также называется дискретной информацией.

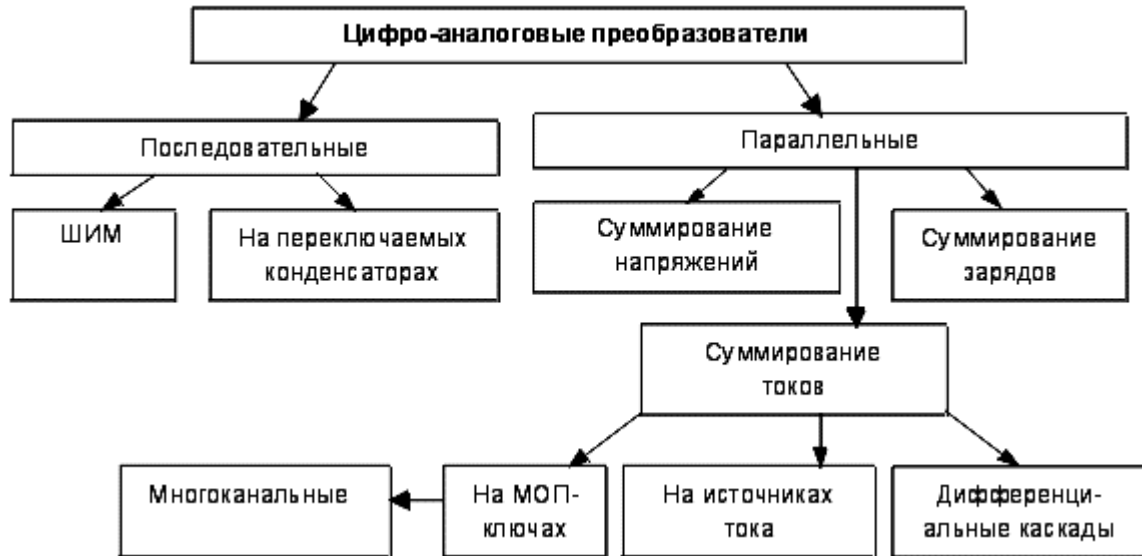
Непрерывное сообщение можно преобразовать в дискретное, такая процедура называется дискретизацией (оцифровывание). Для этого из бесконечного множества значений этой функции (параметра сигнала) выбирается их определенное число, которое приближенно может характеризовать остальные значения.

5.4. Цифро-аналоговые преобразователи.

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) предназначен для преобразования числа, определенного, как правило, в виде двоичного кода, в напряжение или ток, пропорциональные значению цифрового кода.

Классификация ЦАП.

- По схемотехническим признакам.



- По виду выходного сигнала: с токовым выходом и выходом в виде напряжения;
- По типу цифрового интерфейса: с последовательным вводом и с параллельным вводом входного кода;
- По числу ЦАП на кристалле: одноканальные и многоканальные;
- По быстродействию: умеренного и высокого быстродействия.

Характеристики ЦАП.

1. **Разрядность** — количество различных уровней выходного сигнала, которые ЦАП может воспроизвести (обычно в битах)
2. **Максимальная частота дискретизации** — максимальная частота, на которой ЦАП может работать, выдавая на выходе корректный результат.
3. **Монотонность** — свойство ЦАП увеличивать аналоговый выходной сигнал при увеличении входного кода.
4. **THD+N** (суммарные гармонические искажения + шум) — мера искажений и шума вносимых в сигнал ЦАПом. Выражается в процентах мощности гармоник и шума в выходном сигнале.
5. **Динамический диапазон** — соотношение наибольшего и наименьшего сигналов, которые может воспроизвести ЦАП, выражается в децибелах.

6. Статические характеристики:

- DNL (дифференциальная нелинейность) — характеризует, насколько приращение аналогового сигнала, полученное при увеличении кода на 1 младший значащий разряд (МЗР), отличается от правильного значения;
- INL (интегральная нелинейность) — характеризует, насколько передаточная характеристика ЦАП отличается от идеальной. Идеальная характеристика строго линейна; INL показывает, насколько напряжение на выходе ЦАП при заданном коде отстоит от линейной характеристики; выражается в МЗР;
- усиление;
- смещение.

7. Частотные характеристики:

- SNDR (отношение сигнал/шум+искажения) — характеризует в децибелах отношение мощности выходного сигнала к суммарной мощности шума и гармонических искажений;
- HDi (коэффициент i-й гармоники) — характеризует отношение i-й гармоники к основной гармонике;
- THD (коэффициент гармонических искажений) — отношение суммарной мощности всех гармоник (кроме первой) к мощности первой гармоники.

ЦАП с широтно-импульсной модуляцией.

Если не требуется высокое быстродействие, цифро-аналоговое преобразование может быть очень просто осуществлено с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Реализовано в контроллерах AT90S8515 фирмы Atmel или 87C51GB фирмы Intel

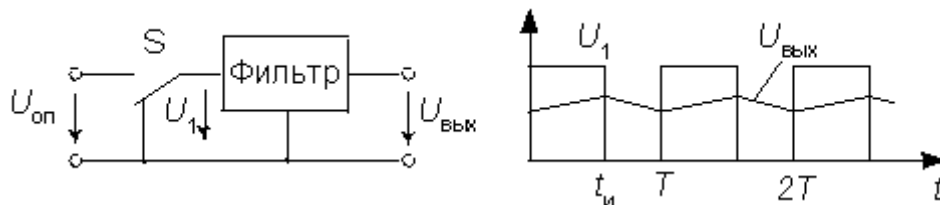
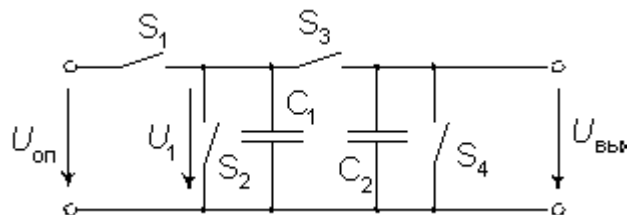


Схема обеспечивает почти идеальную линейность преобразования, не содержит прецизионных элементов (за исключением источника опорного напряжения). Недостаток - низкое быстродействие.

Последовательный ЦАП на переключаемых конденсаторах.

Схема последовательного ЦАП, приведенная позволяет выполнить цифро-аналоговое преобразование за значительно меньшее число тактов (чем ЦАП с ШИМ).



Ёмкости конденсаторов C_1 и C_2 равны. Перед началом цикла преобразования конденсатор C_2 разряжается ключом S_4 . Входное двоичное слово задается в виде последовательного кода. Его преобразование осуществляется последовательно, начиная с младшего разряда d0. Каждый такт преобразования состоит из двух полутактов. В первом

полутакте конденсатор C1 заряжается до опорного напряжения $U_{оп}$ при $d_0=1$ посредством замыкания ключа S1 или разряжается до нуля при $d_0=0$ путем замыкания ключа S2. Во втором полутакте при разомкнутых ключах S1, S2 и S4 замыкается ключ S3, что вызывает деление заряда пополам между C1 и C2. В результате получаем

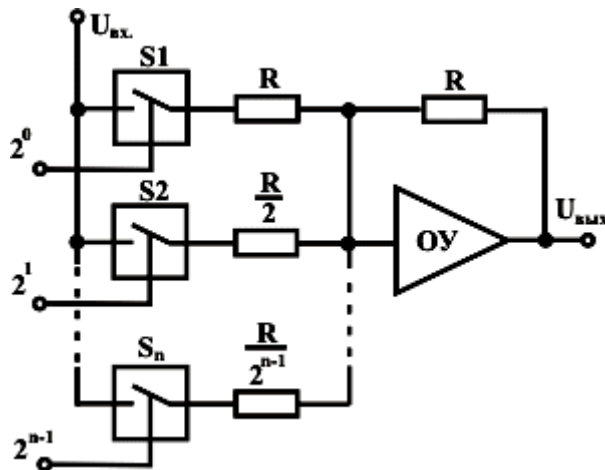
$$U_1(0) = U_{вых}(0) = (d_0/2)U_{оп}$$

Пока на конденсаторе C2 сохраняется заряд, процедура заряда конденсатора C1 должна быть повторена для следующего разряда d_1 входного слова. После нового цикла перезарядки напряжение на конденсаторах будет

$$U_{вых}(1) = U_1(1) = \frac{(d_1 + d_0/2)U_{оп}}{2} = \frac{(2d_1 + d_0)U_{оп}}{4}$$

Точно также выполняется преобразование для остальных разрядов слова. По быстродействию последовательный ЦАП уступает параллельным цифро-аналоговым преобразователям, что ограничивает область его применения.

Схема параллельного суммирования токов.



Ключи S переключаются при уровне лог. 1, тем самым подключая резисторы к источнику опорного напряжения. Через резисторы протекает соответствующий весу разряда ток. Сопротивление резисторов прогрессивно изменяется в два раза от разряда к разряду.

При высокой разрядности сопротивления резисторов должны быть согласованы с высокой точностью. Особо жесткие требования предъявляются к резисторам старших разрядов, поскольку разброс тока в них не должен превышать тока младшего разряда.

Вообще, разброс сопротивления в n -м разряде должен быть меньше, чем:

$$\Delta R / R = 2^{-n}$$

Например, в третьем разряде разброс не должен превышать 12,5%, в 10-м разряде - уже 0,098%.

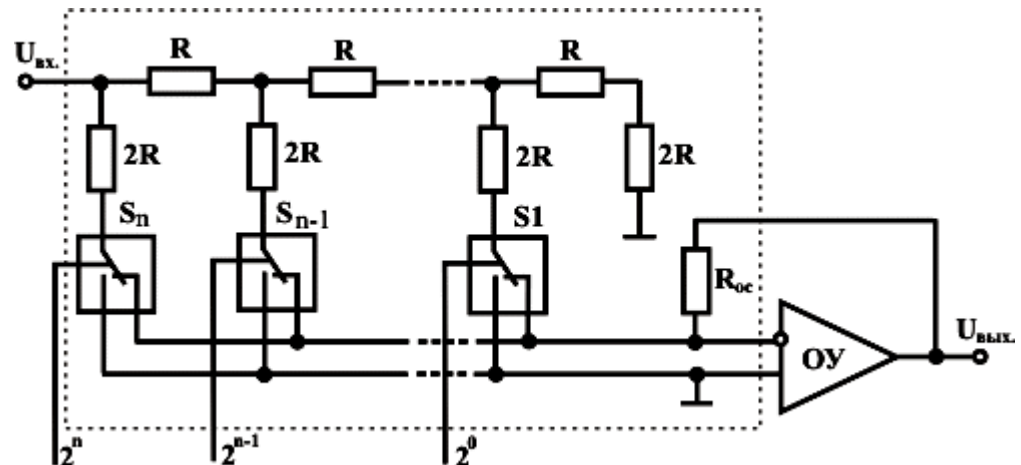
Недостатки схемы.

- при различных входных кодовых состояниях потребляемый от источника опорного напряжения (ИОН) ток будет также различным, что повлияет на величину выходного напряжения ИОН
- сопротивления весовых резисторов могут отличаться в тысячи раз, а это затрудняет реализацию таких резисторов в полупроводниковых ИС.

- сопротивления резисторов старших разрядов могут быть соизмеримы с сопротивлением замкнутого ключа, а это приведет к погрешностям преобразования.
- в разомкнутом состоянии к ключам прикладывается довольно высокое напряжение, а это затрудняет их построение.

Последовательная схема суммирования токов.

Реализовано в схеме ЦАП AD7520, разработанной фирмой Analog Devices в 1973 г. Отечественным аналогом является 572ПА1. В настоящее время по этой схеме строят большинство ЦАП.



Задание весовых коэффициентов осуществляется с помощью резистивной матрицы постоянного сопротивления. Основным элементом матрицы является делитель $R-2R$. При этом должно выполняться условие: если делитель нагружен на сопротивление нагрузки, то его входное сопротивление также должно быть равно сопротивлению нагрузки.

Ключи S соединяют нижние выводы резисторов с общей шиной питания, источник опорного напряжения работает на постоянную нагрузку, следовательно, его значение стабильно и не изменяется при любом входном коде ЦАП, в отличие от предыдущей схемы. Кроме того, резисторы $2R$ соединяются с общей шиной через низкое сопротивление замкнутых ключей S , напряжения на ключах небольшие (в пределах нескольких милливольт), что значительно упрощает построение ключей и схем управления ими, а также использовать опорное напряжение в широком диапазоне. В качестве ключей используются МОП - транзисторы.

Для последовательной схемы требования к точности резисторов намного меньше, чем для параллельной. Для ЦАП, имеющих высокую разрядность, необходимо согласовывать сопротивления ключей с разрядными токами. Особенно это важно для старших разрядов. Это снижает точность. Такие ЦАП имеют низкое быстродействие из-за большой емкости МОП - ключей.

Кроме вышерассмотренных (и наиболее употребительных) схем существуют ЦАП на источниках тока, обладающие более высокой точностью. В таких ЦАП весовые токи формируются не резисторами небольшого сопротивления, а транзисторными источниками тока, имеющими высокое динамическое сопротивление. Примером может служить отечественный ЦАП 594ПА1.

5.5. Аналогово-цифровой преобразователь.

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) предназначены для преобразования аналоговой величины в цифровой код.

Итальянский математик Фибоначчи сформулировал задачу наименьшего числа гирь целочисленного веса для взвешивания грузов наибольшего диапазона на рычажных весах, которая стала известна под названием задача о гирях (задача Баше — Менделеева). Фибоначчи пришёл к выводу, что, при взвешивании с разрешением класть гири только на одну чашу весов, наименьшее число гирь получается при выборе весов гирь из ряда 1, 2, 4, 8, 16,... (степени 2), что соответствует весам разрядов в двоичной системе счисления.

Классификация и основные параметры.

Разрешение АЦП — минимальное изменение величины аналогового сигнала, которое может быть преобразовано данным АЦП — связано с его разрядностью.

Разрядность АЦП характеризует количество дискретных значений, которые преобразователь может выдать на выходе. В двоичных АЦП измеряется в битах.

По типу применяемых алгоритмов АЦП делят на:

- Последовательные прямого перебора
- Последовательного приближения
- Последовательные с сигма-дельта-модуляцией
- Параллельные одноступенчатые
- Параллельные двух- и более ступенчатые (конвейерные)

Передаточная характеристика АЦП — зависимость числового эквивалента выходного двоичного кода от величины входного аналогового сигнала.

У линейных АЦП диапазон входных значений, отображаемый на выходное цифровое значение, связан по линейному закону с этим выходным значением. У нелинейных АЦП по нелинейному закону.

Точность АЦП определяется ошибкой квантования, джиттером тактового генератора (дрожания фронта синхросигнала) и нелинейностью. Ошибки определяются величиной МЗР (младший значащий разряд) в %.

Частота, с которой производятся цифровые значения, получила название частоты дискретизации АЦП.

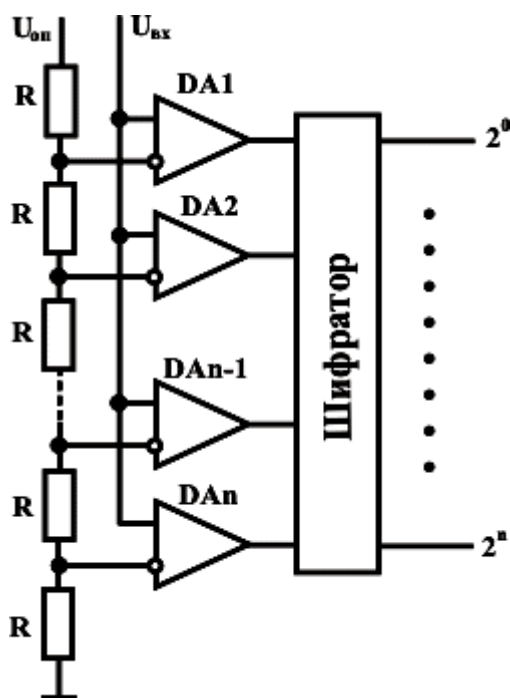
Наложение спектров (алиасинг) Для предотвращения наложения спектров сигнал, подаваемый на вход АЦП, должен быть пропущен через фильтр нижних частот для подавления спектральных компонент, частота которых превышает половину частоты дискретизации. Этот фильтр получил название anti-aliasing (антиалиасинговый) фильтр, его применение важно при построении реальных АЦП.

Применение АЦП.

- В звукозаписи.
- Видео-АЦП используются в компьютерных ТВ-тюнерах, платах видеовхода, видеокамерах для оцифровки видеосигнала.
- АЦП являются составной частью систем сбора данных.
- АЦП последовательного приближения разрядностью 8-12 бит и сигма-дельта-АЦП разрядностью 16-24 бита встраиваются в однокристальные микроконтроллеры.
- Быстрые АЦП необходимы в цифровых осциллографах.
- Весы используют АЦП с разрядностью до 24 бит, преобразующие сигнал непосредственно от тензометрического датчика.
- АЦП входят в состав радиомодемов и других устройств радиопередачи данных, где используются совместно с процессором в качестве демодулятора.
- Сверхбыстрые АЦП используются в антенных системах базовых станций (в так называемых SMART-антеннах) и в антенных решётках РЛС.

Параллельные АЦП.

В качестве пороговых устройств параллельного АЦП используются интегральные компараторы.



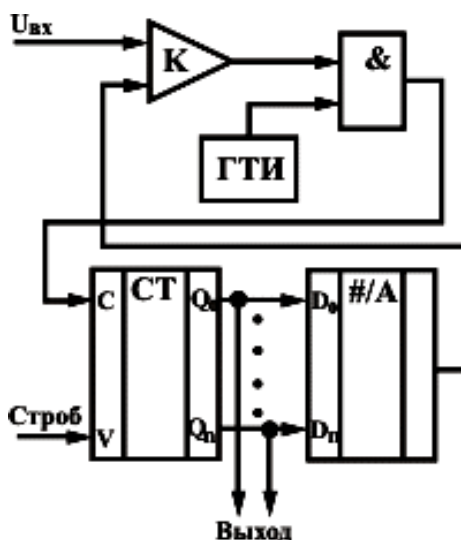
Число компараторов DA выбирается с учетом разрядности кода. Например, для двух разрядов понадобится три компаратора, для трех - семь, для 4-х - 15. Опорные напряжения задаются с помощью резистивного делителя. Входное напряжение $U_{вх}$ подается на вход компараторов и сравнивается с набором опорных напряжений, снимаемых с делителя. На выходе компаратора, где входное напряжение больше соответствующего опорного, будет лог. 1, на остальных - лог. 0. Естественно, при входном напряжении равном 0 на выходах компараторов будут нули. При максимальном входном напряжении на выходах компараторов будут лог. 1. Шифратор предназначен для преобразования полученной группы нулей и единиц в "нормальный" двоичный код.

Параллельный АЦП является самым быстродействующим из всех, поскольку компараторы работают одновременно. Но есть весьма существенный недостаток. Но

разрядность такого АЦП определяется числом компараторов. Например, для 10-ти разрядного АЦП понадобится $2^{10} - 1 = 1023$ штук. Отсюда высокая стоимость параллельных АЦП. Подбором сопротивлений резисторов можно выбрать закон преобразования - линейный, логарифмический.

Последовательные АЦП.

Последовательные АЦП бывают последовательного счета и последовательного приближения.



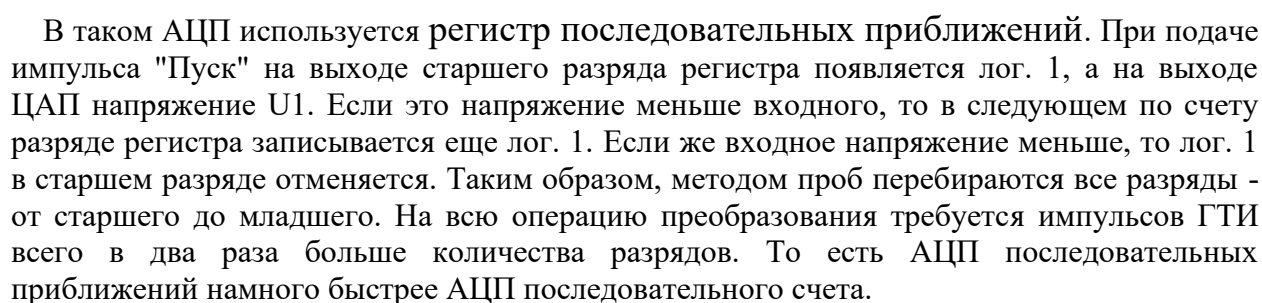
АЦП последовательного счета

К - компаратор, & - схема "И", ГТИ - генератор тактовых импульсов, СТ - счетчик, #/А - ЦАП.

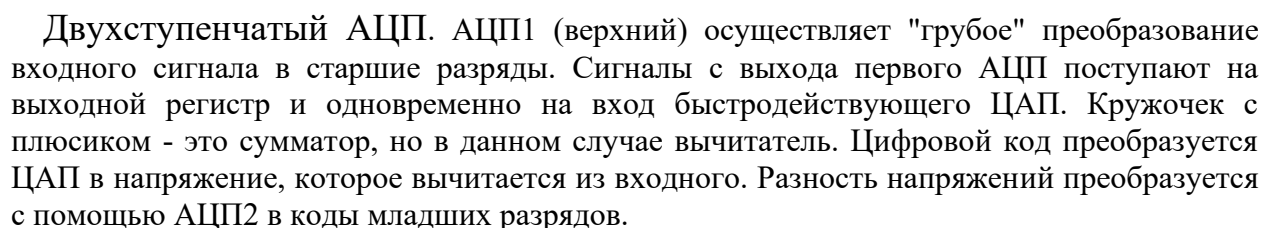
На один вход компаратора подается входное напряжение, на второй - напряжение с выхода ЦАП. В начале работы счетчик устанавливается в нулевое состояние, напряжение на выходе ЦАП при этом равно нулю, а на выходе компаратора устанавливается лог. 1. При подаче импульса разрешения "Строб" счетчик начинает считать импульсы от генератора тактовых импульсов, проходящих через открытый элемент "И". Напряжение на выходе ЦАП при этом линейно нарастает, пока не станет равным входному. При этом компаратор переключается в состояние лог. 0 и счет импульсов прекращается. Число, установившееся на выходе счетчика и есть пропорциональный входному напряжению цифровой код. Выходной код остается неизменным пока длится импульс "Строб", после снятия которого счетчик устанавливается в нулевое состояние и процесс преобразования повторяется.

Такие АЦП имеют низкое быстродействие. Достоинство - простота построения.

Более быстродействующим являются АЦП последовательного приближения, называемый также АЦП с поразрядным уравниванием. В основе работы таких преобразователей лежит принцип дихотомии - последовательного сравнения измеряемой величины с $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ (и т. п). от возможного максимального значения.

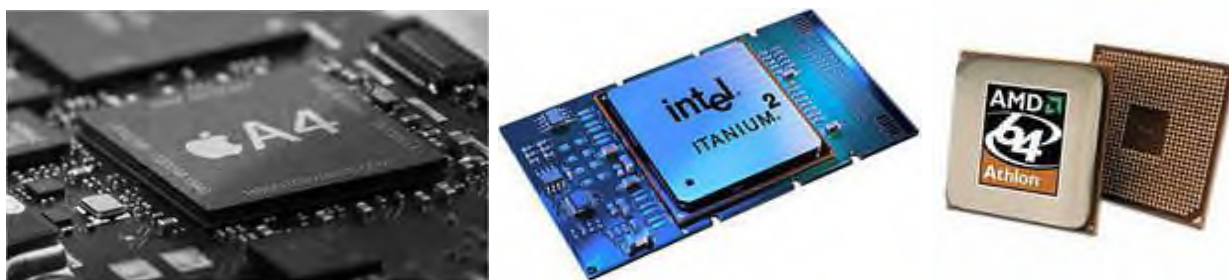


Последовательно-параллельные АЦП - это компромисс между параллельными и последовательными АЦП, т. е. желание получить максимально возможное быстродействие при минимальных затратах и сложности.



Многотактные АЦП работают с различным шагом квантования, т. е. в преобразователе процесс преобразования разделен во времени. В один момент времени формируются старшие разряды, в другой момент времени шаг квантования уменьшается и формируются младшие разряды.

5.6. Структура процессора, назначение структурных блоков.

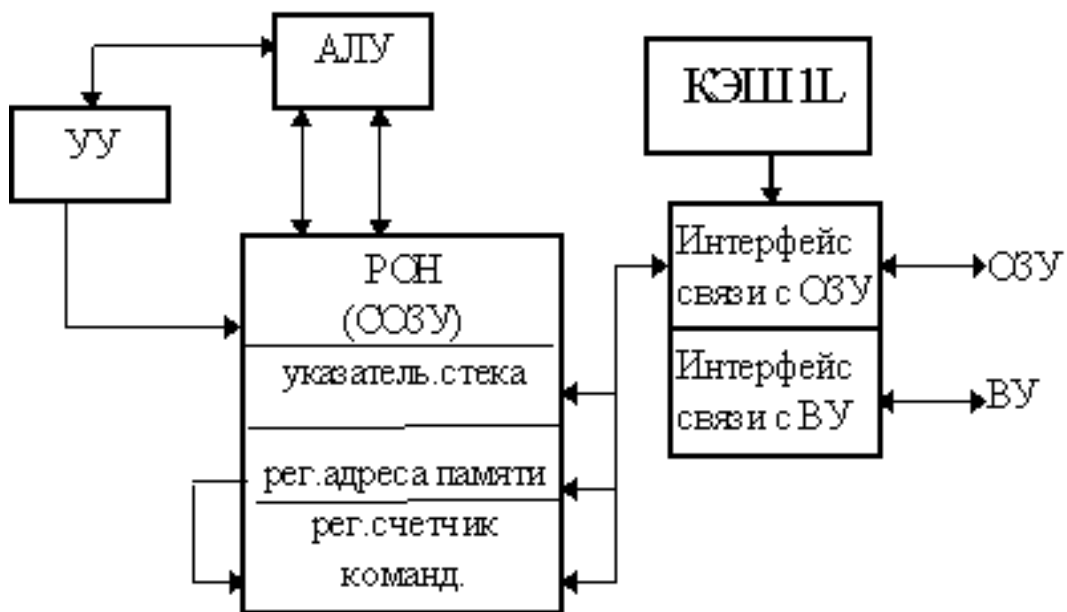


Процессор - основная часть компьютера, осуществляющая управление (эти возможности реализуются при помощи логических операций) и обработку данных.

Переход от первых процессоров, имевших простую архитектуру и работавших на частотах 2,5 - 4 МГц к современным процессорам, выполненным на СБИС, включающих в себя десятки миллионов транзисторов (, работающих на частотах 200 - 500 МГц, сопровождается переходом к более совершенным и мощным компьютерам. Процессор предназначен для выполнения последовательности команд, записанных в оперативной памяти компьютера.

Структура процессора включает в себя:

- устройство управления (УУ), дешифрирующее команды и вырабатывающее сигналы управления для блоков, выполняющих эти команды;
- арифметико - логическое устройство (АЛУ), выполняющее арифметические и логические операции;
- блок регистров общего назначения (РОН), позволяющий выполнять операции с предельно высокой скоростью;
- блоки сверхоперативной памяти (Кэш 1-го уровня) для хранения команд и данных. Введение Кэш позволяет уменьшить количество обращений к оперативному запоминающему устройству компьютера для чтения последовательности команд и данных;
- блоки, осуществляющие интерфейс с памятью компьютера. Они обеспечивают связь с внешним оперативным запоминающим устройством или блоком быстрой памяти (Кэш 2-го уровня), устанавливаемым между процессором и оперативной памятью;
- системный интерфейс, который обеспечивает связь процессора с системными блоками компьютера и внешними устройствами (ВУ).



Структурная схема простейшего процессора.

Команда, считанная из ОЗУ, определяет вид действий над операндами, адреса операндов и адрес результата операции. Дешифрация команды в процессоре может быть сразу полной или частичной. При частичной дешифрации часть кода команды передаётся в АЛУ и дешифрируется при выполнении операции.

Алгоритм работы процессора:

Процессор обеспечивает выборку команды из памяти и её выполнение. Алгоритм работы процессора включает следующие шаги:

1. Определение адреса команды.

Адрес команды хранится в регистре счетчике команд и, в случае линейного выполнения программы, после выполнения каждой команды счетчик команд увеличивает содержимое на количество слов команды. В случае безусловного перехода в счетчик команд записывается адрес перехода. В современных процессорах выборка команд производится целым блоком, который записывается во внутренний КЭШ команд. Команды выполняются конвейером команд, таким образом, что одновременно может выполняться несколько команд на разных ступенях конвейера. Специальное устройство предсказывает последовательность выполнения команд, и производится опережающее выполнение тех команд, операнды которых на данный момент определены. Если действительный порядок выполнения команд отличается от предсказанного, последовательность команд выгружается из конвейера и производится загрузка конвейера новой последовательностью команд.

2. Выборка адреса команды.

Для чтения блока команд из оперативной памяти процессор устанавливает адрес блока команд на шине адреса и производит выборку.

3. Выборка команды.

Блок сопряжения выполняет ввод блока команд через интерфейс с памятью. Блок команд запоминается в КЭШ команд.

4. Дешифрация команды.

Если команда состоит из нескольких слов, то в дешифратор кода команды передается только первое слово команды, которое содержит код операции и признаки адресации. В этом случае по первому слову определяется длина команды и выбор следующих слов происходит по мере необходимости. Процесс дешифрации может быть разделен на первичную и вторичную. Первичная дешифрация определяет тип команды, ее цель - определяет к какой группе команд относится данная команда. Первичная дешифрация позволяет уменьшить объем алгоритма обработки программ за счет одинаковой обработки команд одного типа. Вторичная дешифрация выполняется на более поздних этапах, обычно после вычисления адресов операндов. Для команд арифметико-логической группы вторичная дешифрация может выполняться непосредственно в АЛУ;

5. Вычисление адресов операндов. Если команда адресная, то на следующем этапе вычисляются адреса операндов. Вычисление адреса и выборка для каждого операнда чередуются. Адрес операнда, если он является адресом ячейки ОЗУ, помещается в регистр адреса памяти;

6. Выборка операндов.

Выборка операндов производится для большинства адресных команд арифметико-логической группы. Содержимое ячейки памяти вводится в процессор для выполнения операции в АЛУ процессора. Если операнды размещаются во внутренних регистрах процессора, то операция выполняется значительно быстрее, чем при извлечении данных из памяти. Данные из оперативной памяти извлекаются блоками, которые помещаются в КЭШ данных внутри процессора.

7. Исполнение операции.

На этой стадии, если это необходимо, производится вторичная дешифрация команды непосредственно в АЛУ, где и выполняется операция над подготовленными заранее операндами. Кроме арифметических или логических операций могут выполняться операции по пересылке операндов, в этом случае операнд извлекается из соответствующего регистра и пересылается на место операнда-приемника. Если выполняется команда безусловного перехода, то вычисленный адрес перехода записывается в регистр - счетчик команд. Команды вызова подпрограмм требуют запоминания состояния вычислительного процесса. Для этого используется сохранение данных в стеке (области памяти, предназначенной для записи данных в определенной последовательности и их последовательного извлечения). Для записи данных в стек и их извлечения из стека используется специальный адресный регистр, автоинкрементно изменяющий адрес. Указатель стека всегда указывает на следующую после последнего обращения к стеку ячейку памяти.

8. Запись результата.

После выполнения команды результат операции обычно помещается в регистр аккумулятора. Затем он должен быть записан в оперативную память и, если это

необходимо, выведен на внешнее запоминающее устройство, на дисплей монитора или передано другому внешнему устройству. Ввод и вывод информации для освобождения центрального процессора производят специальные каналы ввода/вывода. При этом канал управляется процессором ввода/вывода, который анализирует ситуацию и осуществляет обмен.

Способ реализации команд зависит от архитектуры процессора. Традиционно, архитектура процессора развивалась в двух конкурирующих направлениях: с сокращенным набором команд - RISC (Reduced Instruction Set Computer) и с полным набором команд - CISC (Complex Instruction Set Computer).

Идея архитектуры RISC возникла в связи с развитием интеграции полупроводниковых схем и стремлением реализовать минимальными аппаратными средствами достаточно высокие вычислительные возможности. Задачи оптимизации структуры и технических возможностей реализовались в компьютерах с архитектурой фон - Неймана в идее Мини-ЭВМ, а в архитектуре процессора в идее RISC - архитектуры.

5.7. Архитектура процессоров. CISC-, RISC-, VLIW-процессоры.

CISC



CISC (англ. Complex instruction set computing, или англ. complex instruction set computer — компьютер с комплексным набором команд). Концепция проектирования процессоров, которая характеризуется следующим набором свойств:

- нефиксированное значение длины команды;
- арифметические действия кодируются в одной команде;
- небольшое число регистров, каждый из которых выполняет строго определённую функцию.

Типичными представителями являются процессоры на основе команд x86 (исключая современные Intel Pentium 4, Pentium D, Core, AMD Athlon, Phenom, которые являются гибридными и процессоры Motorola MC680x0).

Наиболее распространённая архитектура современных настольных, серверных и мобильных процессоров построена по архитектуре Intel x86 (или x86-64 в случае 64-разрядных процессоров). Формально, все x86-процессоры являлись CISC-процессорами, однако новые процессоры, начиная с Intel Pentium Pro, являются CISC-процессорами с RISC-ядром. Они непосредственно перед исполнением преобразуют CISC-инструкции процессоров x86 в более простой набор внутренних инструкций RISC.

В микропроцессор встраивается аппаратный транслятор, превращающий команды x86 в команды внутреннего RISC-процессора. При этом одна команда x86 может порождать несколько RISC-команд (в случае процессоров типа P6 — до четырёх RISC-команд в большинстве случаев).

Это потребовалось для увеличения скорости обработки CISC-команд, так как известно, что любой CISC-процессор уступает RISC-процессорам по количеству выполняемых операций в секунду. В итоге, такой подход и позволил поднять производительность CPU.

Недостатки CISC архитектуры

- высокая стоимость аппаратной части;
- сложности с распараллеливанием вычислений.

Методика построения системы команд CISC противоположна другой методике - RISC. Различие этих концепций состоит в методах программирования, а не в реальной архитектуре процессора. Практически все современные процессоры эмулируют наборы команд как RISC так и CISC типа.

В рабочих станциях, серверах среднего звена и персональных компьютерах используются процессоры с CISC. В микроконтроллерах различных устройств RISC используется в подавляющем большинстве случаев.

RISC.



RISC (англ. restricted (reduced) instruction set computer — компьютер с сокращённым набором команд) — архитектура процессора, в которой быстродействие увеличивается за счёт упрощения инструкций, чтобы их декодирование было более простым, а время выполнения — короче. Это облегчает повышение тактовой частоты и делает более эффективной суперскалярность (распараллеливание инструкций между несколькими исполнительными блоками).

Принципы архитектуры RISC:

- Применение упрощенного сокращенного набора команд одинаковой длины и структуры.
- Каждая команда набора выполняется за отрезок времени, равный одному такту.
- Любая сложная операция выполняется как набор простых команд.
- Обращение процессора к оперативной памяти происходит через команды загрузки в сверхоперативную память процессора и записи в ОЗУ.
- Ускоренное выполнение операций достигается за счет использования большого внутреннего СОЗУ (Кэш)

Наборы инструкций в более ранних архитектурах для облегчения ручного написания программ на языках ассемблеров или прямо в машинных кодах выполняли как можно больше работы. Нередко в наборы включались инструкции для прямой поддержки конструкций языков высокого уровня. Другая особенность этих наборов — большинство инструкций допускали все возможные методы адресации, к примеру, и операнды, и результат в арифметических операциях доступны не только в регистрах, но и через непосредственную адресацию, и прямо в памяти. Позднее такие архитектуры были названы CISC.

Однако многие компиляторы не задействовали все возможности таких наборов инструкций, а на сложные методы адресации уходит много времени из-за дополнительных обращений к медленной памяти. Было показано, что такие функции лучше исполнять последовательностью более простых инструкций, если при этом процессор упрощается и в нём остаётся место для большего числа регистров, за счёт которых можно сократить количество обращений к памяти. В первых архитектурах, причисляемых к RISC, большинство инструкций для упрощения декодирования имеют одинаковую длину и похожую структуру, арифметические операции работают только с регистрами, а работа с памятью идёт через отдельные инструкции загрузки (load) и сохранения (store). Эти

свойства и позволили лучше сбалансировать этапы конвейеризации, сделав конвейеры в RISC значительно более эффективными и позволив поднять тактовую частоту.

Поскольку многие реальные программы тратят большинство своего времени на выполнение простых операций, многие исследователи решили сфокусироваться на том, чтобы сделать эти операции максимально быстрыми. Тактовая частота процессора ограничена временем, которое процессор тратит на выполнение наиболее медленных шагов в процессе обработки любой инструкции. Фокусирование на простых инструкциях и ведёт к архитектуре RISC, цель которой — сделать инструкции настолько простыми, чтобы они, тратили не более одного такта на каждом шаге.

Развиваясь, каждая из рассмотренных архитектур, "отказавшись" от своих черт - CISC от скалярности вычислений, RISC от "простоты" системы команд, приобрела лучшие черты конкурента, что повысило характеристики её представителей.

VLIW.



За годы после появления архитектуры RISC были реализованы и другие альтернативы — например, VLIW, MISC, OISC.

Процессор Itanium 2 в корпусе PAC — один из представителей VLIW-архитектур

VLIW (англ. very long instruction word — «очень длинная машинная команда») — архитектура процессоров с несколькими вычислительными устройствами. Характеризуется тем, что одна инструкция процессора содержит несколько операций, которые должны выполняться параллельно. Фактически это «видимое программисту» микропрограммное управление, когда машинный код представляет собой лишь немного свёрнутый микрокод для непосредственного управления аппаратурой.

VLIW можно считать логическим продолжением идеологии RISC, расширяющей её на архитектуры с несколькими вычислительными модулями. Так же, как в RISC, в инструкции явно указывается, что именно должен делать каждый модуль процессора.

Рассмотрим работу модельного VLIW-процессора с двумя арифметическо-логическими устройствами (АЛУ). Пусть нам надо сложить четыре числа, находящиеся в регистрах R1, R2, R3 и R4. Тогда псевдокод может выглядеть так:

$R5 = R1 + R2$, $R6 = R3 + R4$; каждое АЛУ складывает свою пару чисел

$R0 = R5 + R6$.

Преимущества и недостатки

Подход VLIW сильно упрощает архитектуру процессора. Поскольку отсутствуют большие и сложные узлы, сильно снижается энергопотребление.

Архитектура VLIW выглядит экзотической и непривычной для программиста. Из-за сложных внутренних зависимостей кода, программирование на уровне машинных кодов для VLIW-архитектур человеком вручную является достаточно сложным.

Одни из первых VLIW-процессоры появились в конце 1980-х и были разработаны компанией Cydrome. В чистом виде архитектуру VLIW имеют процессоры TriMedia фирмы Philips и семейство DSP C6000 фирмы Texas Instruments.

Многопроцессорный вычислительный комплекс «Эльбрус-3» и микропроцессоры серии «Эльбрус» («Эльбрус 2000», «Эльбрус S») являются VLIW-процессорами.

5.8. Микропроцессоры, разновидности, применение. Цифровые сигнальные процессоры, применение.

Микропроцессор (МП) - функционально законченный процессор ЭВМ реализованный в виде одной или нескольких БИС и предназначен для обработки цифровой информации по заданным программам.

Микропроцессорный контроллер (МПК) – функционально законченная микро-ЭВМ, предназначенная для целей контроля и управления.

МПК может реализовываться на следующей элементной базе:

- однокристальных микропроцессорах (ОМП);
- секционных (многокристальных) МП;
- однокристальных микроконтроллерах (ОМК);
- сложных матричных программируемых логических схемах (ПЛИС, PLD, CPLD и др.).

Наибольший эффект от внедрения микропроцессоров достигается в устройствах и системах локальной автоматики, системах измерения, контроля и других областях, в которых применение средств цифровой обработки данных до появления микропроцессоров было нерентабельным. Микропроцессор является удобным средством для построения контроллеров, предназначенных для контроля и управления технологическими процессами.

ОМК – функционально законченный МПК, реализованный в виде одной СБИС (сверх-БИС). ОМК включает в состав: процессор, ОЗУ, ПЗУ, порты ввода/вывода для подключения внешних устройств, модули ввода аналогового сигнала АЦП, таймеры, контроллеры прерывания, контроллеры различных интерфейсов и т.д.

Классификация микропроцессорных систем (по назначению, по разрядности, по способу управления, по конструктивно-технологическим признакам).

1) Периферийные (интерфейсные) ОМК предназначены для реализации простейших МП систем управления. Имеют малую производительность. В частности может использоваться периферийными устройствами ЭВМ (клавиатура, мышь и т.п.) К ним относятся: PIC – Micro Chip, VPS – 42 (Intel).

2) Универсальные 8–разрядные ОМК предназначены для реализации МП систем малой и средней производительности. Имеют простую систему команд и большую номенклатуру встроенных устройств. Основные типы: MSC – 51 (Intel) Motorola HC05 – HC012 и др.

3) Универсальный 16–разрядный ОМК. Предназначен для реализации систем реального времени средней производительности. Структура и система команд нацелены на

скорейшую реакцию на внешние события. Наибольшее использование имеют в системах управления электродвигателями (мехатронные системы).

4) Специализированные 32-разрядные ОМК реализуют высокопроизводительную архитектуру и предназначены для систем телефонии, передачи информации, телевидения и других, требующие высокоскоростной обработки информации. К типовым 16-разрядным ОМК относятся: MSC96/196/296 (Intel), C161–C167 (Siemens, Infineon), HC16 Motorola и др.

5) Цифровые сигнальные процессоры (DSP – Digital Signal Processor) предназначен для сложной математической обработки измеряемых сигналов в режиме реального времени. Широко используются в телефонии и связи. Основные отличия DSP: повышенная разрядность обрабатываемых слов (16,32,64 бита) и высокая скорость в формате с плавающей точкой (16 flops). Производители: Texas Instruments (TMS 320 и др.), Analog Device (ADSP 2181 и др.).

По области применения определилось три направления развития микропроцессоров.

- микроконтроллеры
- универсальные микропроцессоры
- сигнальные микропроцессоры

Применение микропроцессорных систем.



Сама МПС, будучи оснащенной разнообразными устройствами ввода - вывода (УВВ) информации, может применяться в качестве законченного изделия. Однако часто к МПС необходимо подавать сигналы от множества измерительных датчиков и исполнительных

механизмов какого - либо сложного объекта управления или технологического процесса. В этом случае уже образуется сложная вычислительная система, центром которой является МП. Простые в архитектурном исполнении микропроцессоры применяются для измерения временных интервалов, управления простейшими вычислительными операциями (в калькуляторах), работой кино-, фото-, радио- и телеаппаратуры. Они используются в системах охранной и звуковой сигнализации, приборах и устройствах бытового назначения.

Бурно развивается производство электронных игр с использованием микропроцессоров. Видеоигры можно отнести к приложениям, требующим использования компьютеров с ограниченным набором функций. Сегодня игровые приставки потребляют наибольшее количество, если не считать ПК, 32 - разрядных микропроцессоров. Наибольшее применение здесь получили МП Intel, Motorola. В устройстве PlayStation фирмы Sony используется 32 - разрядный процессор MIPS, а в видеоприставке Nintendo 64 — даже 64 - разрядный чип8 того же производителя. Продукты компании Sega с видеоиграми Saturn и Genesis вывели RISC - процессоры серии SH фирмы Hitachi на третье место в мире по объему продаж среди 32 - разрядных систем.

Хорошие перспективы сулит 32 - разрядным процессорам рынок персональных электронных секретарей (PDA) и электронных органайзеров. Современные электронные органайзеры - яркий пример интегрированных приложений, ведь для них практически не существует независимых поставщиков программного обеспечения. С другой стороны, PDA типа Newton фирмы Apple, по сути, не что иное, как новая вычислительная платформа, будущее которой зависит от разработчиков программного обеспечения (ПО).

До настоящего времени успехом среди электронных органайзеров пользуются устройства с ограниченным набором функций. Тем не менее, дальнейшее совершенствование технологии может вывести эти «ручные» компьютеры в абсолютные лидеры, которые по объемам продаж в натуральном выражении должны обойти ПК.

Важной функцией МП является предварительная обработка информации с внешних устройств (ВУ), преобразования форматов данных, контроллеров электромеханических внешних устройств. В аппаратуре МП дает возможность производить контроль ошибок, кодирование - декодирование информации и управлять приемо-передающими устройствами. Их применение позволяет в несколько раз сократить необходимую ширину телевизионного и телефонного каналов, создать новое поколение оборудования связи. Использование МП в контрольно-измерительных приборах и в качестве контрольных средств радиоэлектронных систем дает возможность проводить калибровку, испытание и поверку приборов, коррекцию и температурную компенсацию, контроль и управление измерительными комплексами, преобразование и обработку, индикацию и представление данных, диагностику и локализацию неисправностей.

С помощью микропроцессорных средств можно решать сложные технические задачи по разработке различных систем сбора и обработки информации, где общие функции сводятся к передаче множества сигналов в один центр для оценки и принятия решения. Например, в бортовых системах летательных аппаратов за время полета накапливается большое количество информации от различных источников, требующих зачастую незамедлительной ее обработки. Это осуществляется централизованно с помощью вычислительной системы на основе бортовой МПС.

5.9. Тесты для самоконтроля по разделу 5.

1. Отметить неправильное определение
 - А) ROM – постоянные запоминающие устройства
 - Б) PROM – программируемые постоянные запоминающие устройства
 - В) EPROM - перепрограммируемые постоянные запоминающие устройства с ультрафиолетовым стиранием
 - Г) EEPROM - перепрограммируемые постоянные запоминающие устройства без стирания информации

2. Отметить неправильное определение
 - А) RAM - оперативные запоминающие устройства
 - Б) SRAM - статические оперативные запоминающие устройства
 - В) DRAM - диэлектрическое оперативные запоминающие устройства
 - Г) нет неправильных определений

3. В динамическом ОЗУ элементом памяти является
 - А) резистор
 - Б) конденсатор
 - В) триггер
 - Г) сумматор

4. ER – вывод микросхемы для подачи сигнала
 - А) стирания
 - Б) записи
 - В) считывания
 - Г) выбора адреса

5. CAS – вывод микросхемы для подачи
 - А) тактового сигнала
 - Б) номера адреса строки
 - В) номера адреса столбца
 - Г) сигнала разрешения

6. Информацию периодически необходимо восстанавливать
 - А) в статическом ОЗУ
 - Б) в динамическом ОЗУ
 - В) в ПЗУ
 - Г) в перепрограммируемом ПЗУ

7. Какой внешней памяти не существует ?
- А) накопитель на жестких магнитных дисках
 - Б) накопитель на гибких магнитных дисках
 - В) накопитель на звуковых дисках
 - Г) накопитель на оптических дисках
8. Квантование - разбиение диапазона
- А) значений величины на конечное число интервалов
 - Б) значений величины на бесконечное число интервалов
 - В) преобразование непрерывной функции в дискретную
 - Г) преобразование дискретной функции в непрерывную
9. Разбиение диапазона значений на отрезки равной длины это
- А) нелинейная дискретизация
 - Б) нелинейное квантование
 - В) линейное квантование
 - Г) линейная дискретизация
10. Глубина дискретизации измеряется в
- А) вольтах
 - Б) амперах
 - В) тесла
 - Г) битах
11. Сигнал это
- А) параметр сообщения
 - Б) сообщение, параметр которого принимает последовательное во времени бесконечное число значений
 - В) сообщение, параметр которого принимает последовательное во времени конечное число значений
 - Г) сообщение, передаваемое с помощью носителя
12. Существуют следующие ЦАП (отметить лишнее)
- А) многоканальные
 - Б) синусоидальные
 - В) последовательные
 - Г) параллельные
13. К характеристикам ЦАП не относится
- А) разрядность
 - Б) монотонность
 - В) коэффициент стабилизации

Г) максимальная частота

14. По типу применяемых алгоритмов АЦП бывают (отметить лишнее)

- А) последовательные прямого перебора
- Б) последовательного приближения
- В) последовательные с сигма-дельта-модуляцией
- Г) последовательные с фазовой модуляцией

15. Структура процессора включает (отметить лишнее)

- А) блок стабилизации
- Б) АЛУ
- В) устройство управления
- Г) блок регистров общего назначения

16. Архитектура процессора развивалась в двух направлениях

- А) RISC и CISC
- Б) RISC и SISC
- В) VISC и SISC
- Г) VISC и CISC

17. Системный интерфейс обеспечивает

- А) выполнение арифметическо – логических операций
- Б) связь процессора с системными блоками и внешними устройствами
- В) задание тактовой частоты
- Г) защиту процессора от внешних электромагнитных полей

18. Устройство управления процессора обеспечивает

- А) защиту процессора от внешних электромагнитных полей
- Б) связь процессора с системными блоками и внешними устройствами
- В) дешифрирование команд и вырабатывание сигналов управления
- Г) хранения команд и данных

19. К недостаткам CISC архитектуры относятся (отметить лишнее)

- А) большое энергопотребление
- Б) высокая стоимость аппаратной части
- В) сложности с распараллеливанием вычислений

20. В состав функционально законченного микропроцессорного контроллера не входит

- А) ОЗУ
- Б) ПЗУ
- В) порты ввода / вывода
- Г) внешняя память

6. Ответы к тестам для самоконтроля.

К разделу 1

1.В); 2.В); 3.Б); 4.В); 5.Б); 6.Б); 7.Б); 8.Б); 9.В); 10.Б); 11.Б); 12.А); 13.Б); 14.В); 15.А); 16.А); 17.Г); 18.Б); 19.В); 20.А).

К разделу 2

1.А); 2.Б); 3.В); 4.Г); 5.А); 6.Б); 7.А); 8.Г); 9.А); 10.В); 11.А); 12.В); 13.Б); 14.Г); 15.В); 16.А); 17.Г); 18.Г); 19.Б); 20.Г).

К разделу 3

1.А); 2.А); 3.Б); 4.Б); 5.В); 6.В); 7.А); 8.Б); 9.Б); 10.А); 11.В); 12.А); 13.В); 14.Б); 15.А); 16.Г); 17.В); 18.Б); 19.Б); 20.Г).

К разделу 4

1.В); 2.А); 3.Б); 4.Г); 5.В); 6.Б); 7.А); 8.А); 9.Г); 10.Г); 11.В); 12.В); 13.А); 14.Г); 15.Б); 16.Б); 17.Б); 18.В); 19.Г); 20.А).

К разделу 5

1.Г); 2.В); 3.Б); 4.А); 5.В); 6.Б); 7.В); 8.А); 9.В); 10.Г); 11.Г); 12.Б); 13.В); 14.Г); 15.А); 16.А); 17.Б); 18.В); 19.А); 20.Г).

Экзаменационные вопросы и задания.

Вопросы.

1. История развития электроники.
2. Физические основы полупроводниковых приборов.
3. Полупроводниковый диод. Классификация.
4. Полупроводниковый диод. Типы пробоев диода.
5. Тиристоры. Классификация.
6. Тиристоры. Защита тириستоров.
7. Полупроводниковый транзистор. Классификация.
8. Полупроводниковый транзистор. Разновидности транзисторов.
9. Схемы включения транзисторов. Входная и выходная характеристика.
10. Основные параметры биполярных транзисторов.
11. Влияние температуры на характеристики и параметры транзисторов.
12. Режимы работы биполярных транзисторов.
13. Интегральные микросхемы. История создания. Перспективы развития.
14. Интегральные микросхемы. Технология изготовления. Классификация.
15. Элементы и компоненты гибридных интегральных микросхем.
16. Классификация микросхем по функциональному назначению.
17. Полупроводниковые фотоприборы.
18. Термисторы.
19. Электронные усилители. Каскады усиления.
20. Электронные усилители. Классификация.
21. Электронные усилители. Режимы работы усилительных каскадов.
22. Электронные усилители. Параметры и характеристики.
23. Электронные усилители напряжения, тока и мощности. Схемы усилителей.
24. Операционные усилители. Назначение. История создания. Классификация.
25. Электронные генераторы. Классификация. Автоколебания.
26. RC – генераторы.
27. Стабилизация частоты электронных генераторов.
28. Электрические сигналы (детерминированные, периодические).
29. Импульс. Классификация. Прямоугольный импульс.
30. Мультивибратор. Практическое применение.
31. ГЛИН (примеры схем).
32. Мультивибраторы на операционном усилителе. Практическое применение.
33. Выпрямители. Классификация. Применение.
34. Однофазный неуправляемый однополупериодный выпрямитель.
35. Однофазный неуправляемый двухполупериодный выпрямитель с средней точкой.
36. Однофазный неуправляемый мостовой выпрямитель.
37. Трёхфазный неуправляемый однополупериодный выпрямитель.
38. Трёхфазный неуправляемый двухполупериодный выпрямитель.
39. Однофазный управляемый однополупериодный выпрямитель.
40. Однофазный управляемый мостовой выпрямитель.
41. Трёхфазный мостовой управляемый выпрямитель.
42. Сглаживающие фильтры. Классификация.
43. RC и LC фильтры.

44. Активные фильтры. ТСФ.
45. Стабилизаторы напряжения и тока. Классификация. Стабилизирующие элементы.
46. Параметрические стабилизаторы.
47. Компенсационный стабилизатор напряжения.
48. Стабилизатор напряжения на интегральных микросхемах.
49. Компенсационный стабилизатор тока.
50. Импульсные стабилизаторы.
51. Цифровые коды.
52. Алгебра логики.
53. Логические элементы цифровой техники.
54. Логический базис.
55. Триггеры. Классификация. Входы.
56. RS триггер (синхронный, асинхронный), D – триггер.
57. T – триггер, JK триггер.
58. Параллельные регистры памяти.
59. Сдвигающие регистры.
60. Счётчики электрических импульсов.
61. Шифраторы и дешифраторы.
62. Мультиплексоры и демультиплексоры.
63. Сумматоры и полусумматоры.
64. Шинные формирователи.
65. АЛУ.
66. Запоминающие устройства. Классификация. Назначение выводов.
67. Статическое и динамическое ОЗУ.
68. ПЗУ. Специальные виды памяти.
69. Внешние запоминающие устройства.
70. Дискретизация и квантование.
71. Аналоговый и цифровой сигнал.
72. ЦАП
73. АЦП.
74. Структура процессора.
75. Алгоритм работы процессора.
76. Архитектура процессоров. CISC-, RISC-, VLIW-процессоры.
77. Три направления развития микропроцессоров.
78. Обратная связь в электронных схемах.

Задания.

1. Из трёх диодов найти пробитый с помощью мультиметра.
2. Определить назначение микросхемы по названию.
3. Определить анод и катод диода с помощью мультиметра.
4. Определить номинал резистора по обозначению.
5. Определить вывод «база» транзистора с помощью мультиметра.
6. Найти ошибку в предложенной схеме.
7. Показать управляющий электрод тиристора.
8. Определить частоту синусоидальных колебаний по изображению на осциллографе.
9. Определить максимальное напряжение по изображению на осциллографе.
10. Определить название схемы выпрямителя.
11. Определить сопротивление резистора с помощью мультиметра.
12. Определить длительность импульса с помощью осциллографа.

13. По заданной логической функции составить логическую схему.
14. Привести заданную логическую схему к определённому логическому базису.
15. Изменить коэффициент пересчёта счётчика, изменив схему.
16. Определить название и назначение предложенного элемента.
17. Перевести число из одной системы счисления в другую.
18. Определить частоту прямоугольных импульсов по изображению на осциллографе.
19. Определить номинал конденсатора по обозначению.

Список использованных источников.

3.2.1 Основные источники:

1. Фролов В. А. Электронная техника: учебник: в 2 ч. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. 532 с.

3.2.2 Дополнительные источники:

1. Асинхронный тяговый привод: учебное пособие/ А.А. Андрющенко, Ю.В. Бабков, А.А. Зарифьян и др., под ред. А.А. Зарифьяна. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013, – 413 с.
2. Электронные преобразователи вагонов: учебное пособие. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016, – 194 с.