

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

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

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО УЧЕБНОЙ
ДИСЦИПЛИНЫ**

ОП.04 ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

для студентов специальности

11.02.06 Техническая эксплуатация транспортного радиоэлектронного
оборудования (по видам транспорта)

Саратов 2023

РАССМОТРЕНО

на заседании методического совета
Протокол № 1 от «21» 09 2023 г.

СОГЛАСОВАНО

Протокол № 1 от « 31» 08 2023г.
Председатель ЦМК 11.02.06 Техническая эксплуатация транспортного радиоэлектронного оборудования (по видам транспорта)

_____/Ю.А. Солдатенко/

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по учебной работе

_____/С.А. Крижановский/

Автор (составитель):

Солдатенко Ю.А – преподаватель первой квалификационной категории
филиала СамГУПС в г. Саратове

Лабораторная работа № 1

Тема: Исследование работы длинной линии при согласованной нагрузке

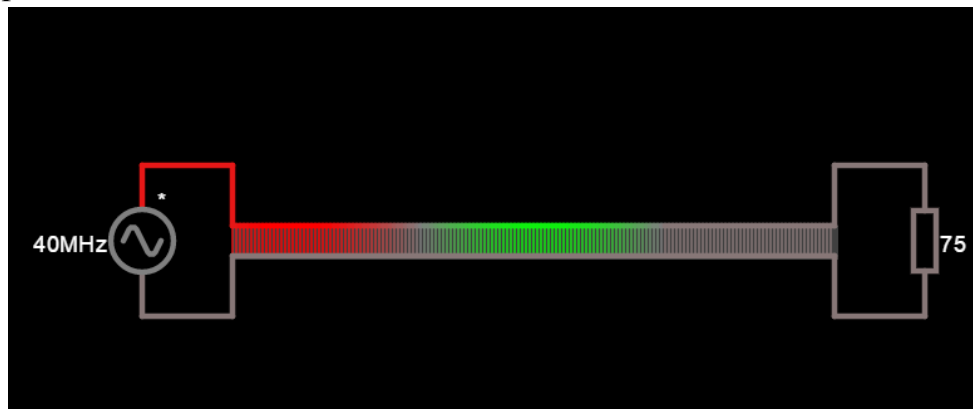
Цель: опытным путем исследовать влияние длины линии на выходное напряжение и время задержки сигнала

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: ПО CircuitSimulator

Ход работы:

1. Открыть схему: *схемы-линии электропередачи-простая линия передачи*



2. Схема включает в себя: источник напряжения, двухпроводную линию, и нагрузку Z_n . Двухпроводная линия обладает индуктивностью L , активным сопротивлением R и емкостью C , проводимость утечки через изоляцию G . (погонные параметры)

Зарисовать полученные осциллограммы и подписать их.

3. Если в линии $Z_v = Z_n$, такая линия называется **согласованной** (согласованно нагруженная) **линией**. Режим бегущей волны возникает, когда сопротивление нагрузки Z_n и волновое сопротивление линии Z_v равны и отражения от конца линии не возникает.

Доказать, что данная линия является согласованной и нагрузка сможет полностью поглотить энергию падающей волны.

Пример: $Z_v = 100 \text{ Ом}$, $U_{\text{ист}} = 100 \text{ В}$, найдем ток падающей волны

$$I_{\text{пад.в}} = U_{\text{ист}} / Z_v = 100 / 100 = 1 \text{ А}$$

Предположим, что сопротивление нагрузки $Z_n = 200 \text{ Ом}$, тогда такой ток не сможет пройти через нагрузку при напряжении 100В, т.к

$$U_{\text{ист}} / Z_n = 100 / 200 = 0,5 \text{ А}$$

В линии образуется обратная отраженная волна с непоглощенным током 0,5

А. Вывод: Такая линия не является согласованной.

4. Изменить $Z_v = 20 \text{ Ом}$. Зарисовать полученные осциллограммы и пояснить их.

Доказать, что данная линия не является согласованной и нагрузка не сможет полностью поглотить энергию падающей волны.(использовать пример выше).

5. Рассчитать время задержки сигнала t_3 при прохождении по линии

$$t_3 = \frac{l}{c}$$

Где l — длина линии,м; c — скорость света, м/с.

6. Измерить амплитуду на выходе сигнала $U_{m\text{вых}}$

7. Измерить время задержки сигнала t_3 при прохождении сигнала по линии

$$t_3 = T_2(\text{ист. сигн}) - T_1(Z_n)$$

Для измерения необходимо установить флаг на синусоидальный сигнал в программе он покажет значение в микросекундах μs или наносекундах (ns).

8. Вычислите коэффициент отражения по формуле.

$$p = \frac{Z_n - Z_B}{Z_n + Z_B}$$

9. Определите выходное напряжение по формуле:

$$U_{\text{км}} = U_{\text{вх}} \sqrt{2} U_{\text{нм}} (1 + p)$$

где $U_{\text{нм}} = U_{\text{вх}} \sqrt{2}$ — амплитуда напряжения на входе линии, В; $U_{\text{вх}}$ — действующее значение входного напряжения, В (устанавливается на источнике переменного напряжения)

Результат вычисления p и $U_{\text{км}}$ запишите в таблицу 3 в графу «Вычислено».

Измерьте значение выходного напряжения $U_{\text{км}}$ по осциллографу. Результат измерения $U_{\text{км}}$ запишите в таблицу 3 в графу

Результаты исследования длинной линии при несогласованной нагрузке

Номер опыта	Значение Z_n , Ом	Вычислено		Измерено
		p	$U_{\text{км}}, \text{В}$	$U_{\text{км}}, \text{В}$
I	10			
2	50			
3	75			
4	130			

10. Постройте графики зависимости параметров линии (коэффициента отражения ρ и выходного напряжения $U_{\text{км}}$) от величины сопротивления нагрузки и проанализируйте измеренные и вычисленные значения.
11. Сделайте вывод о влиянии величины сопротивления нагрузки на параметры линии.

Содержание отчета:

1. Отметка о выполнении практической части
2. Схема простой линии с обозначениями, схема участка длинной линии с погонными параметрами
3. Осциллограммы с пояснениями
4. Пункты с 3 по 10 включительно
5. Вывод

Лабораторная работа № 2

Тема: Исследование работы длинной линии при рассогласованной нагрузке

Цель: исследовать работу длинной линии при рассогласованной нагрузке.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: ПО CircuitSimulator

Ход работы:

Режим несогласованной линии характеризуется тем, что на ее выходе включено сопротивление Z_H не равное волновому Z_B . Наиболее ярко этот режим проявляется при разомкнутой ($Z_H = \infty$) или замкнутой ($Z_H = 0$) линии.

Рассмотрим случай, когда линия разомкнута на конце, т. е. когда нагрузочное сопротивление бесконечно велико. Бегущая волна, дойдя до конца разомкнутой линии, отражается и двигается обратно к генератору. Таким образом, в линии распространяются две бегущие волны: одна — падающая — движется от генератора к концу линии, а другая — отраженная — движется в обратном направлении. В результате взаимодействия падающих и отражённых волн в линии образуются *стоячие волны*. Эти волны проявляются наличием в линии максимумов (пучностей) напряжения и тока, а также их нулевых значений (узлов), сдвинутых по фазе относительно друг друга.

При разомкнутой линии $Z_H = \infty$ и $\rho = 1$. При этом в конце линии амплитуды напряжения U_{km} и тока I_{km} определяются выражениями:

$$\begin{aligned}U_{km} &= U_{nm} (1 + \rho) = 2 U_{nm}; \\I_{km} &= I_{nm} (1 - \rho) = 0.\end{aligned}$$

Следовательно, при разомкнутой линии ток в ее конце равен нулю, а амплитуда напряжения равна двойной амплитуде падающей волны U_n . При этом падающие и отраженные волны напряжения имеют одинаковую фазу, а волны тока I — противоположную.

При замкнутой линии $Z_H = 0$ и, как следует, $\rho = -1$. При этом в конце линии амплитуды напряжения и тока определяются выражениями:

$$\begin{aligned}U_{km} &= U_{nm} (1 + \rho) = 0; \\I_{km} &= I_{nm} (1 - \rho) = 2 I_{nm}.\end{aligned}$$

Следовательно, при замкнутой линии напряжение на ее конце равно нулю, а амплитуда тока равна двойной амплитуде падающей волны I_{nm} . При этом падающие и отраженные волны тока имеют одинаковую фазу, а волны напряжения — противоположную.

Для характеристики степени согласования линии с нагрузкой Z_H используются коэффициенты бегущей волны $K_{бв}$ и стоячей волны $K_{св}$:

$$K_{бв} = (1 - \rho)/(1 + \rho);$$

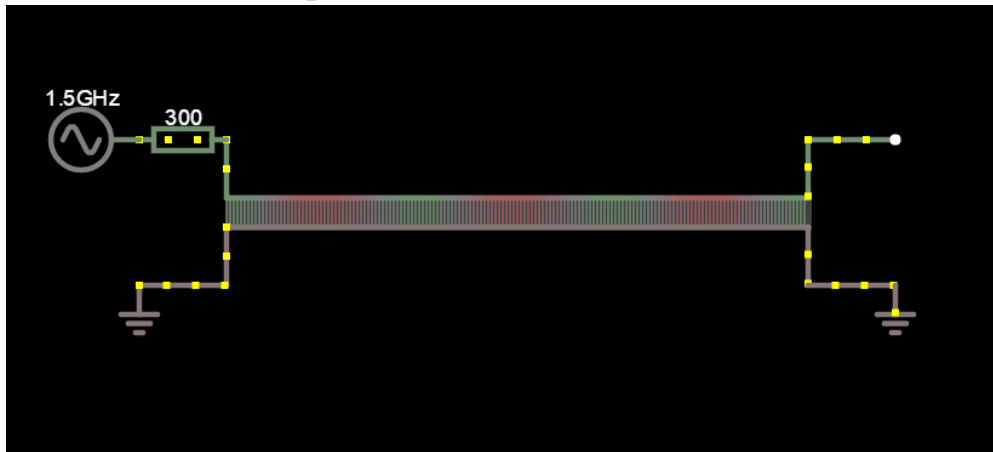
$$K_{бв} = Z_B/Z_H \text{ при } Z > Z_B \text{ и}$$

$$K_{бв} = Z/Z_B \text{ при } Z < Z_B;$$

$$K_{св} = 1/K_{бв}.$$

1. Исследуйте работу длинной линии, разомкнутую на конце (режим холостого хода).

Откройте схему: схема – линии электропередачи-стоячая волна. Сделайте линию в режиме холостого хода ($Z_H = \infty$)



Найдите на схеме следующие параметры:

$U_{вх} = ?$ В

$R(Z_B) = ?$ Ом

2. Определите выходное напряжение по формуле

$$U_{к м} = U_{н м} (1 + \rho) = 2 U_{н м},$$

где $U_{н м} = U_{вх} \sqrt{2}$ — амплитуда напряжения на входе линии, В; $U_{вх}$ — действующее значение входного напряжения, В (устанавливается на источнике переменного напряжения). Результаты вычисления запишите в таблицу 1 в графу «Вычислено».

3. Измерьте значение выходного напряжения по осциллографу. Результаты измерения запишите в таблицу 1 в графу «Измерено».

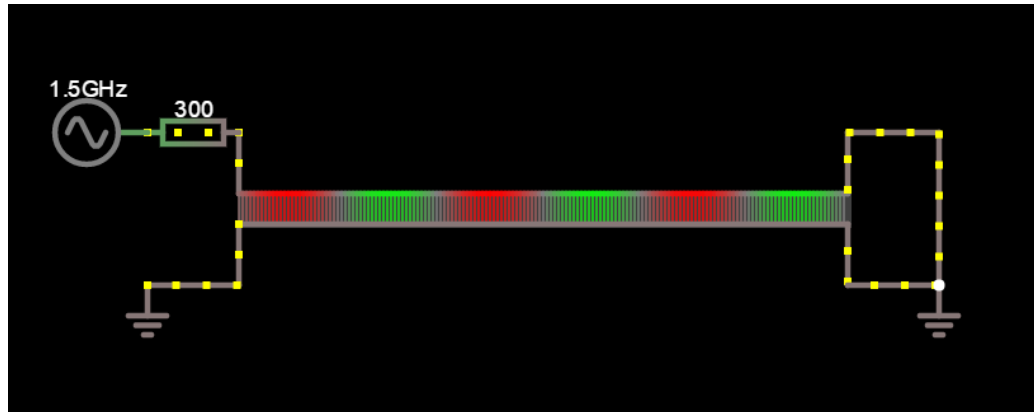
Результаты исследования работы длинной линии

Номер опыта	Значение $U_{вх}$, В	Вычислено	Измерено
		$U_{к м}$, В	$U_{к м}$, В
1	2	3	4
1	1		

2	1,5		
3	2		
4	2,5		

4. Исследуйте работу длинной линии «в режиме к.з.» при $Z_H = 0$

Откройте схему: схема – линии электропередачи-стоячая волна.



Зарисуйте осциллограмму.

5. Рассчитайте значение выходного тока $I_{км}$ при замкнутой линии $Z_H = 0$

$$U_{км} = U_{нм} (1 + p) = 0;$$

$$I_{км} = I_{нм} (1 - p) = 2 I_{нм}.$$

где $I_{нм} = I_{вх} \sqrt{2}$ — амплитуда тока на входе линии, В; $I_{вх}$ — действующее значение входного тока, А (устанавливается на источнике).

6. Рассчитать коэффициенты бегущей волны $K_{бв}$ и стоячей волны $K_{св}$:

$$K_{бв} = (1 - p)/(1 + p);$$

$$K_{бв} = Z_B/Z_H \text{ при } Z > Z_B \text{ и}$$

$$K_{бв} = Z/Z_B \text{ при } Z < Z_B;$$

$$K_{св} = 1/K_{бв}.$$

7. Сделать вывод

Содержание отчета:

1. Отметка о выполнении практической части
2. Выполнение пунктов с 1-7
3. Выводы

Лабораторная работа № 3

Тема: Исследование работы LC автогенератора

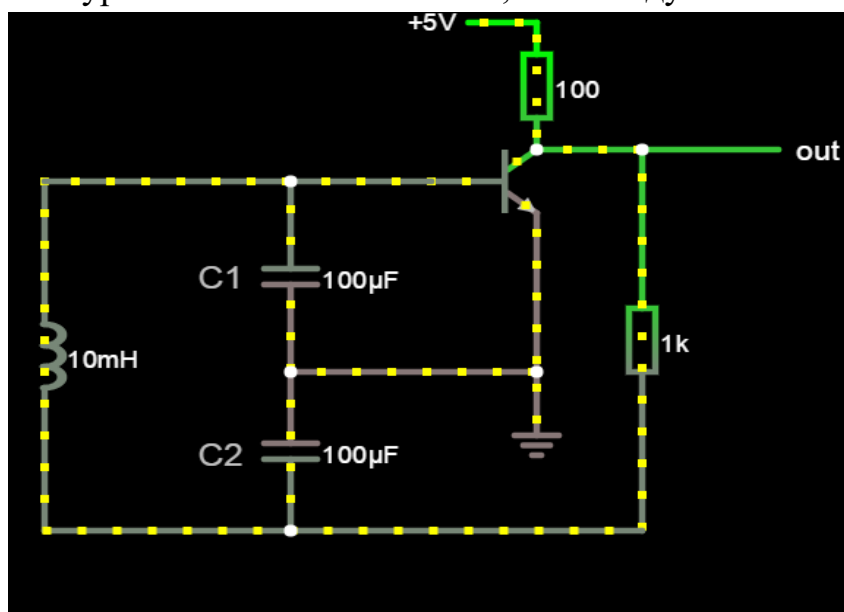
Цель: проанализировать влияние значения емкости и напряжения источника питания на параметры генерируемых колебаний.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: ПО CircuitSimulator

Ход работы:

Для проведения исследования необходимо открыть схему: схемы- биполярные транзисторы- генераторы- генератор Колпитца. Основой генератора Колпитца является параллельный резонансный LC-контур. Он обычно включается в цепь базы и на резонансной частоте представляет собой активное сопротивление. На частотах, отличных от резонансной, сопротивление контура имеет либо емкостной, либо индуктивный характер.



Параметры схемы генератора заданы в таблице 1 по вариантам

Таблица 1 – Параметры схемы генератора по вариантам

Вариант	L1, мГн	C1=C2, мкФ	Вариант	L1, мГн	C1=C2, мкФ
1	10	10	9	30	82
2	10	20	10	30	100
3	10	42	11	30	10
4	10	82	12	30	20
5	10	100	13	50	42

6	20	10	14	50	82
7	20	20	15	50	100
8	20	42	16	50	10

Частота резонанса для генератора Колпитца определяется

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

1. Для указанных на схеме параметров элементов измерить с помощью осциллографа частоту и оценить форму колебаний. Зарисовать схему и осциллограмму.

$$f = \frac{1}{T}, \text{ МГц}$$

2. Исследовать влияние изменения величины индуктивности L1 (условие C1=C2 сохраняется). Результаты измерения частоты внести в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерения частоты

L1, мГн	0,8 L1	L1	1,2L1
C1=C2, нФ	C1=C2,	C1=C2,	C1=C2,
Частота, Гц			

3. Исследовать влияние изменения величины емкости C1 и C2 (условие C1=C2 сохраняется). Результаты измерения частоты внести в таблицу 3;

Таблица 3 – Результаты измерения частоты

L1, мГн	L1	L1	L1
C1=C2, нФ	0,8(C1=C2),	C1=C2	1,2(C1=C2),
Частота, Гц			

4. По полученным данным построить графики зависимости частоты от изменения индуктивности при заданном значении C1, C2 и от изменения емкости конденсаторов C1, C2 при заданном значении индуктивности L1.

Содержание отчета:

1. Отметка о выполнении практической части
2. Схема, с параметрами по вариантам.
3. Пункты 1-4
4. Вывод

Лабораторная работа № 4

Тема: «Исследование работы RC автогенератора»

Цель: исследовать влияние параметров фазосдвигающей RC- цепи на частоту генерируемых колебаний.

Оборудование: персональный компьютер.

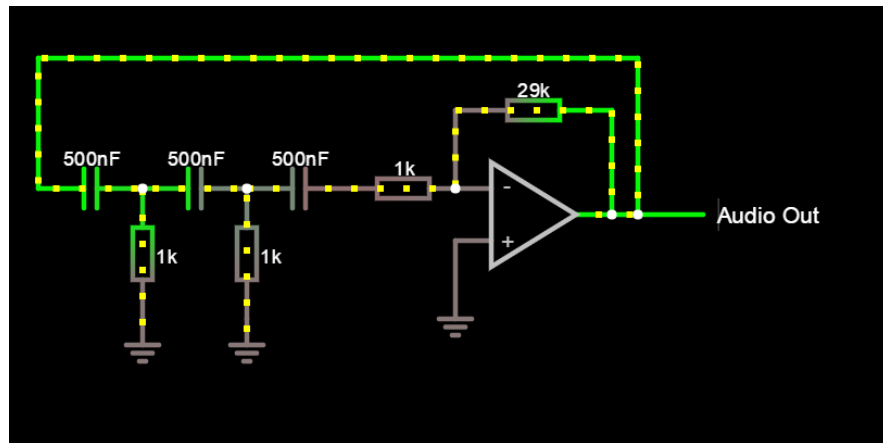
Программное обеспечение: ПО CircuitSimulator

Ход работы:

Три RC звена соединены последовательно, чтобы получить крутой наклон $d\phi/d\omega$, необходимый для стабильной частоты колебаний. Применение меньшего количества RC звеньев приводит к высокой частоте колебаний, ограниченной полосой пропускания ОУ.

1. Откройте схему для исследования RC автогенератора.

Схемы- операционные усилители- генераторы- генератор на сдвиге фаз.



2. Для значений емкости $C1 = C2 = C3 = 500$ нФ и сопротивлений резисторов $R1 = R2 = R3 = 1$ кОм, измерьте период колебаний T . Результат измерений запишите в таблицу 1.
3. Вычислите частоту колебаний по формуле $f = \frac{1}{T}$, результат занесите в таблицу 1.
4. Аналогично измерьте период и вычислите частоту при других значениях $C1 = C2 = C3$ и $R1 = R2 = R3$, указанных в таблице 1.
5. Начертите графики зависимости частоты выходного сигнала от параметров фазосдвигающей RC-цепи.
6. Сделайте выводы о влиянии параметров фазосдвигающей RC-цепи на частоту выходных колебаний.

Результаты исследования RC-генератора

Номер опыта	$R_1 = R_2 = R_3$, кОм	$C_1 = C_2 = C_3$, нФ	Измерено	Вычислено
			Период T, с	Частота f, Гц
1	2	3	4	5
1	1	500		
2		450		
3		400		
4		350		
5	0,3	500		
5	0,5			
7	1			
8	1,2			
9	1	500		
10	0,8	400		

Содержание отчета

1. Отметка о выполнении практической части
2. Схема и осциллограмма при начальных значениях
2. Результаты исследования RCавтогенератора (табл. 1).
3. Графики зависимости частоты выходного сигнала от параметров фазосдвигающей RC-цепи.
4. Выводы о проделанной работе.

Тема: Исследование работы умножителя частоты

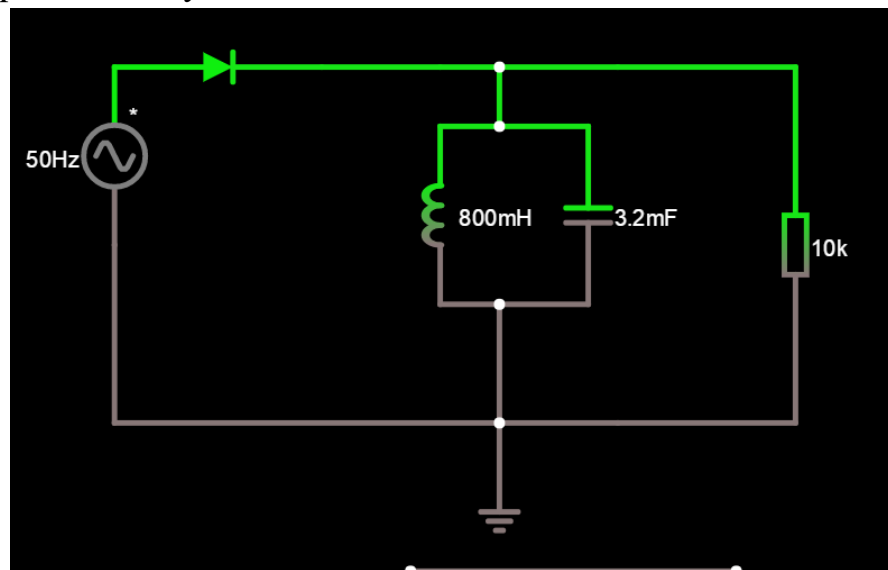
Цель: опытным путем проверить влияние параметров контура на амплитуду и частоту выходных колебаний диодного умножителя частоты.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: ПО CircuitSimulator

Ход работы:

1. Соберите схему, показанную на рисунке.
2. Выберите частоту входного сигнала $f = 50$ Гц,



3. Для умножения частоты выходного сигнала в два раза настройте контур LC на резонансную частоту $f_p = 2 f_1 = 100$ Гц. Для этого необходимо выполнить следующие действия:

- 3.1. Установите значение индуктивности, например, $L = 0,8$ мГн.
- 3.2. Определите значение емкости из формулы резонансной частоты контура:

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

3.3. Значения L и C задайте в схеме на рисунке.

4. Рассчитайте амплитуду напряжения основной гармоники U_m , если его действующее значение $U = 50$ В по формуле:

$$U_m = U\sqrt{2}$$

5. Рассчитайте амплитуду напряжения U_{m2} для гармоник с частотой $2\omega_1$ ряда Фурье, по формуле:

$$U_{m2} = \frac{2U_m}{\pi} \frac{1}{1.3} \cos 2\omega_1 t$$

Результаты расчетов запишите в графу «Вычислено» таблицы.

Результаты исследования умножителя частоты

Настройка частоты	Амплитуда выходного сигнала U_m , В	
	Измерено	Вычислено
1	2	3
$2f_1 = 100$ Гц		
$4f_1 = 200$ Гц		
$6f_1 = 400$ Гц		

6. Включить схему, в результате на осциллографе будет картина, зарисуйте ее *для трех случаев умножения частоты*. Измерьте амплитуду выходного сигнала. Результат измерения записать в графу «Измерено» таблицы.

7. Сделайте вывод по полученным осциллограммам.

Содержание отчета

1. Отметка о выполнении практической части
2. Схема для исследования диодного умножителя частоты.
3. Результаты исследования умножителя частоты (таблица) и расчеты.
4. Осциллограммы проведенных опытов (измерений)
5. Выводы о проделанной работе

Лабораторная работа № 6

Тема: Исследование работы делителя частоты

Цель: опытным путем проверить влияние параметров контура на амплитуду и частоту выходных колебаний делителя частоты.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: ПО CircuitSimulator

Краткие теоретические сведения:

Делитель частоты - устройство, которое при подаче на его вход периодической импульсной последовательности формирует на выходе такую же последовательность, но имеющую частоту повторения импульсов, в определенное число раз меньшую, чем частота повторения импульсов входной последовательности.

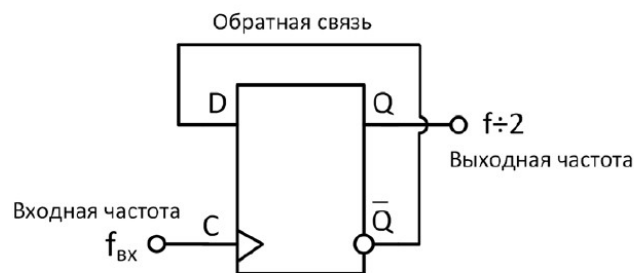
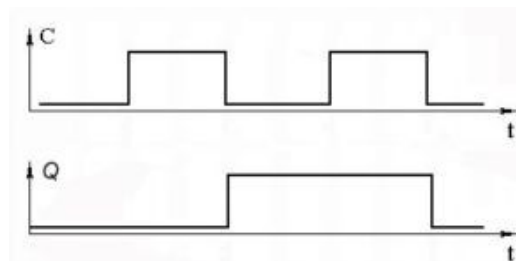


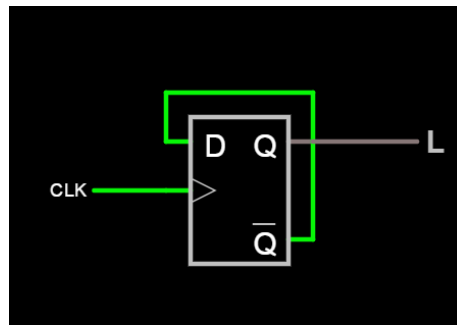
Рис. 1 – Блок-схема делителя частоты на 2

В исходном состоянии на прямом выходе схемы «0», на инверсном «1», значит и на входе D тоже «1». Подаем на вход C высокий уровень. Единица со входа переписывается в триггер, но на выходе еще не появляется (вспоминаем как работает такой тип триггера). Снимаем высокий уровень со входа C – единица появилась на прямом выходе, а значит на инверсном (и на входе D) установился ноль. Снова включаем синхронизацию и снова данные (на этот раз «0») записываются в триггер, но не появятся на выходе до тех пор, пока сигнал синхронизации не будет снят. На прямом выходе «0», на входе данных снова «1». Цикл деления закончится и выглядит он следующим образом:

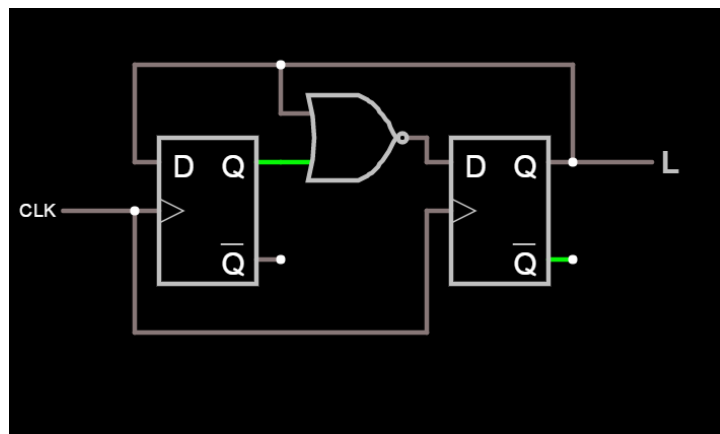


Ход работы:

1. Откройте схему для исследования Делителя частоты на 2
Схемы- последовательная логика-делитель на 2



2. Зарисовать полученные осциллограммы, отметить входной сигнал, и выходной сигнал, подписать частоту этих сигналов. Расставить 0 и 1. (рисунок осциллограммы должен содержать не менее 4 импульсов)
3. Прodelать аналогичную работу меняя входную частоту на 50 Гц, 150 Гц, 200 Гц, 500 Гц.
4. Принцип работы данного делителя.
5. Вывод
6. Откройте схему для исследования Делителя частоты на 3
Схемы- последовательная логика- делитель на 3



7. Зарисовать полученные осциллограммы, отметить входной сигнал, и выходной сигнал, подписать частоту этих сигналов. Расставить 0 и 1. (рисунок осциллограммы должен содержать не менее 4 импульсов)
8. Прodelать аналогичную работу меняя входную частоту на 50 Гц, 200 Гц, 500 Гц.
9. Принцип работы данного делителя.
10. Вывод

Содержание отчета:

1. Схемы с обозначениями входа, выхода, и элементов.
2. Осциллограммы с 0 и 1, для $f_{вх} = 50, 100, 500$ Гц делителя на 2
3. Осциллограммы с 0 и 1, для $f_{вх} = 50, 100, 500$ Гц делителя на 3
4. Принципы работы
5. Выводы

Лабораторная работа № 7

Тема: Исследование работы амплитудного модулятора и детектора

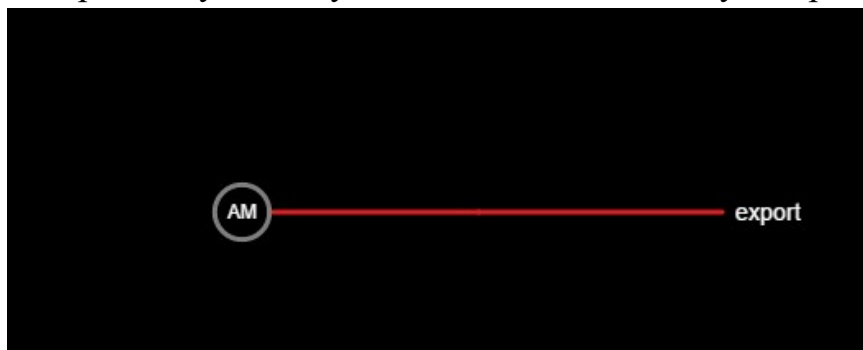
Цель: опытным путем проверить влияние значений входных сигналов на параметры амплитудно-модулированного колебания.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: ПО Circuit Simulator

Ход работы:

1. Соберите сокращенную схему для исследования Модулятора



2. Подключить к выходу осциллограф, записать параметры АМ источника, зарисовать осциллограмму.
3. Измерьте по осциллографу значение U_m . Для этого с помощью визирных линеек определите значения $U_{m1}(\max)$ и $U_{m2}(\min)$. Вычислите измеренное значение $U_{m\text{изм}} = (U_{m1} + U_{m2})/2$. Вычислите измеренное значение $E_{0\text{изм}} = (U_{m1} - U_{m2})/2$. Определите значение коэффициента модуляции m по формуле:

$$m = \frac{U_{m1} - U_{m2}}{U_{m1} + U_{m2}}$$

4. Аналогично проведите вычисления для всех параметров сигналов указанных в таблице

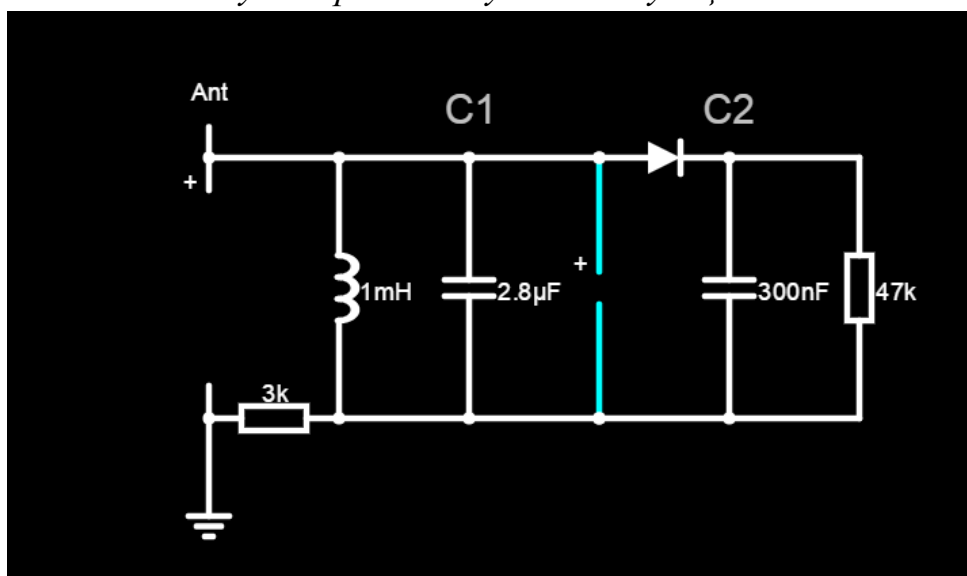
Результаты исследования работы амплитудного модулятора

№ опыта	Параметры сигналов E_0, E, A			Измерено и вычислено		
				$E_{0\text{изм}}, В$	$U_{m\text{изм}}$	m
	$E_0,$ В	$F_{\text{нес}},$ кГц	$F_{\text{сигн}},$ Гц			
1	4	1	20			
2	4	0,5	40			
3	5	1,5	40			

4	5	2	40			
5	6	1	50			
6	8	1	60			

5. Графики зависимости коэффициента модуляции от параметров входных сигналов (U_m и E_0).
6. Выводы о влиянии значений входных сигналов на параметры амплитудно-модулированного колебания.
7. Откройте схему для исследования Демодулятора

Схема-диоды-демодулятор амплитудной модуляции



8. Зарисовать полученные осциллограммы и подписать
9. Записать принцип работы схемы

Содержание отчета:

1. Схема модулятора, начальные параметры и осциллограмма
2. Таблица и расчеты
3. Графики зависимости коэффициента модуляции от параметров входных сигналов (U_m и E_0).
4. Вывод
5. Схема амплитудного детектора
6. Осциллограммы амплитудного детектора
7. Принцип работы амплитудного детектора.

Лабораторная работа № 8

Тема Исследование работы частотного модулятора и детектора

Цель: опытным путем проверить влияние параметров частотно-модулированного колебания на его вид.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: ПО CircuitSimulator

Порядок выполнения

1. Соберите схему, показанную на рисунке



2. Установите, следующие параметры частотно-модулированного генератора:
амплитуда несущей — 5 В,
частотанесущей — 1000 Гц,
индекс частотной модуляции (М) — 5;
частота модулирующего сигнала - 100 Гц,
3. Изменяя, в соответствии с таблицей значение частоты модулирующего сигнала F наблюдайте изменение формы ЧМ-сигнала и зарисуйте их таблицу.
4. Рассчитайте ширину спектра ЧМ сигнала при частотах модулирующего сигнала F, указанной в таблице и занесите их в данную таблицу

$$\Delta f = 2(M_{чм} + 1)F$$

5. Вычертите графики зависимости ширины спектра ЧМ сигнала от частоты модулирующего сигнала
6. Сделать выводы о влиянии частоты модулирующего сигнала F на спектральный состав частотно-модулированного сигнала и ширину его спектра.

Результаты исследования частотного модулятора

№	Частота модулирующего	Ширина	Вид ЧМ-сигнала
---	-----------------------	--------	----------------

опыта	сигнала F , Гц	спектра ЧМ сигнала		
1	100		$u_{\text{ЧМ}}(t)$	
2	75		$u_{\text{ЧМ}}(t)$	
3	50		$u_{\text{ЧМ}}(t)$	
4	250		$u_{\text{ЧМ}}(t)$	
5	600		$u_{\text{ЧМ}}(t)$	

Содержание отчета

1. Отметка о выполнении практической части
2. Схема для исследования частотного модулятора.
3. Результаты исследования частотного модулятора (табл.).
4. Графики зависимости ширины спектра ЧМ сигнала от частоты модулирующего сигнала
5. Выводы о проделанной работе.

Тема: «Снятие диаграммы направленности антенны»

Цель: исследовать влияние частоты и высоты установки антенны на вид диаграммы направленности.

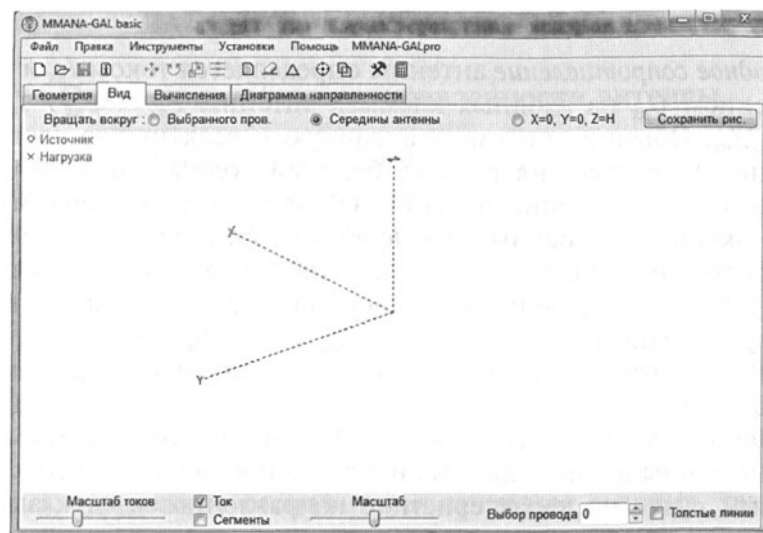
Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: MMAMA-GAL Basic.

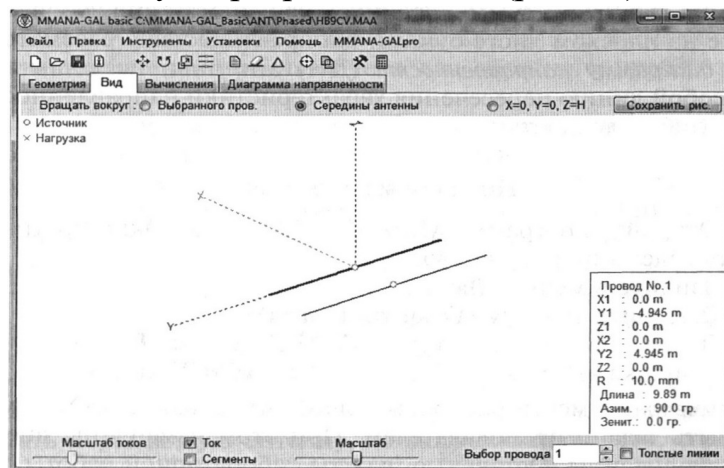
Порядок выполнения

1. Откройте программу MMAMA-GAL Basic.
2. Зайдите в меню «Файл».
3. Выберите вкладку «Открыть (*.maa)».
4. Далее по пути: папка «MMAMA-GAL_Basic» - папка «ANT» - папка «Phased» выберите файл «HB9CV.MAA».

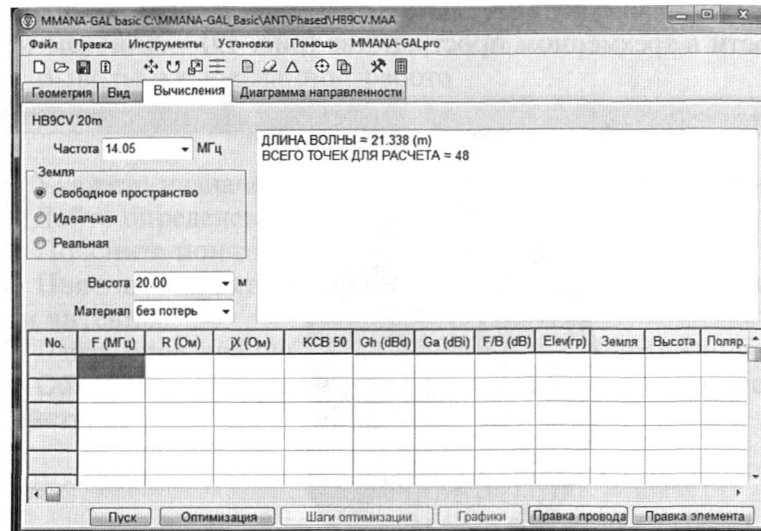
Примечание: место расположения файла в папке «ANT» может быть задано преподавателем. При этом изменяется внешний вид антенны. Остальные пункты лабораторной работы для другого файла (вида антенны) будут выполняться аналогично.



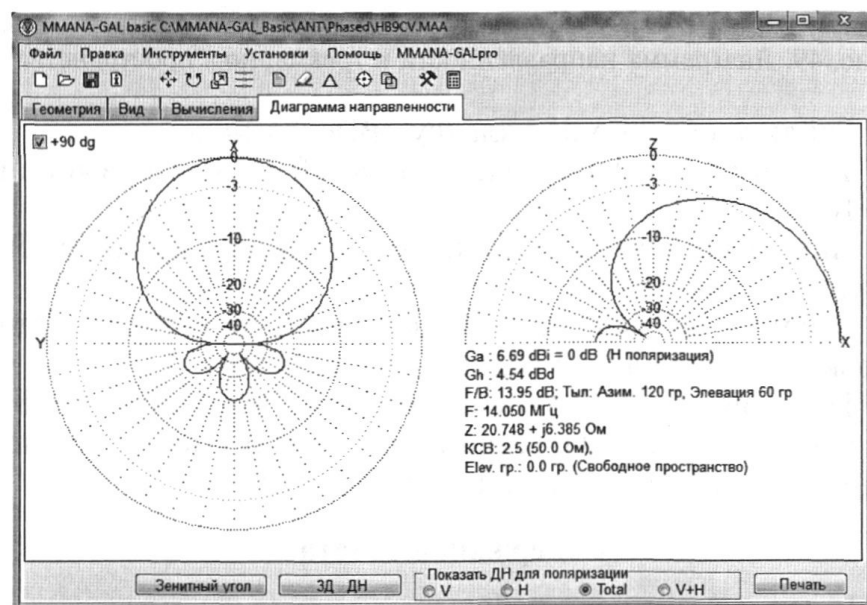
6. Перейдите во вкладку в программе «Вид» (рис. 46).



6. Перерисуйте внешний вид антенны в трехмерной плоскости в отчет (рис. 2).
7. Перейдите во вкладку в программе «Вычисления»



8. Нажмите кнопку в окне программы «Пуск».
9. После расчетов перейдите во вкладку программы «Диаграмма направленности»



Содержание отчета:

1. Внешний вид антенны в трехмерной плоскости
2. Диаграмма направленности с пояснениями и расчетами.

Практическое занятие № 1

Тема: Расчет первичных и вторичных параметров длинной линии

Цель: Рассчитать вторичные и первичные параметры линии, фазовую скорость распространения и длину волны.

Исходные данные

I. Исходные данные выписать из таблицы 1.

Вариант = последняя цифра студенческого.

Длина линии $L =$ км;

Материал: медь.

Диаметр проводов $d =$ мм;

Рабочая частота $f_{\text{раб}} =$ кГц;

Температура окружающей среды: $t =$ °C

Нагрузка $Z_{\text{н}} =$ кОм ; $\varphi_{\text{н}} =$ град;

Генератор $Z_{\text{г}} =$ кОм; $\varphi_{\text{г}} =$ град;

Расстояние между проводами $a =$ м;

Магнитная проницаемость $\mu =$;

Диэлектрическая проницаемость $\varepsilon_1 =$;

Действительное значение напряжения на нагрузке на $f_{\text{раб}}$ $U =$ В.

№ вар	L	d	$f_{\text{раб}}$	t	$Z_{\text{н}}; \varphi_{\text{н}}$	$Z_{\text{г}}; \varphi_{\text{г}}$	a	μ	ε_1	U
0	1,6	4	50	30	1;20	0,5;0	0,7	1	1	10
1	2,3	5	60	15	2,30	1; 20	0,2	1	1	20
2	3,4	6	75	30	2,10	1,5;5	0,3	1	1	30
3	1,5	10	55	12	3;20	2;0	0,1	1	1	10
4	0,7	4,5	40	10	0,5;0	0,5;0	1,2	1	1	40
5	3,5	4	30	5	6;40	5;15	0,6	1	1	35
6	4,0	5,5	25	3	6;10	1;10	0,8	1	1	20
7	1,3	7	34	0	1;0	0,5;10	1,5	1	1	60
8	2,7	3	70	-5	1;30	3;20	0,5	1	1	45
9	3,0	2,5	45	-10	3;0	0,5;0	1	1	1	70

II. Рассмотреть пример расчетов и рассчитать свои параметры.

Пример расчета.

1. Найдем удельное сопротивление алюминиевого провода при температуре 25°C

$$\rho = 0.0323 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

2. Находим сопротивление проводов двухпроводной линии при постоянном токе на единицу длины

$$R_{20} = \rho \cdot \frac{2550}{d^2} = 0.0323 \cdot \frac{2550}{4^2} = 5.148 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

3. Температурный коэффициент сопротивления для алюминия

$$\alpha_R = 0.0037$$

4. Находим сопротивление единицы длины линии на постоянном токе при температуре t

$$R_t = R_{20} \cdot [1 + \alpha_R \cdot (t - 20)] = 5.148 \cdot [1 + 0.0037 \cdot (25 - 20)] = 5.243 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

$$x = 7.09 \cdot \sqrt{\frac{f_{\text{рас}} \cdot \mu}{10^4 \cdot R_t}} = 7.09 \cdot \sqrt{\frac{45000 \cdot 1}{10^4 \cdot 5.243}} = 6.568$$

5. Поправочный коэффициент F(x) равен:

$$F(x) = 1.743$$

6. Находим резистивное сопротивление единицы длины линии при переменном токе:

$$R_\phi = R_t \cdot [1 + F(x)] = 5.243 \cdot [1 + 1.743] = 14.382 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

7. Радиус проводов:

$$r = \frac{d}{2} = \frac{4}{3} = 3.33 \text{ мм}$$

8. Коэффициент учитывающий внутреннюю индуктивность линии:

$$Q(x) = 0.4$$

9. Находим индуктивность двухпроводной линии на единицу длины при переменном токе:

$$L_\phi = \left(4 \cdot \ln\left(\frac{a \cdot 1000}{r}\right) + Q(x) \cdot \mu\right) \cdot 10^{-4} = \left(4 \cdot \ln\left(\frac{0.6 \cdot 1000}{3}\right) + 0.4 \cdot 1\right) = 2.322 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Гн}}{\text{км}}$$

10. Находим емкость двухпроводной линии на единицу длины при переменном токе:

$$C_\phi = 1.05 \cdot \frac{1}{36 \cdot \ln\left(\frac{a \cdot 1000}{r}\right)} \cdot 10^{-6} = 1.05 \cdot \frac{1}{36 \cdot \ln\left(\frac{0.6 \cdot 1000}{3}\right)} \cdot 10^{-6} = 5.114 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ф}}{\text{км}}$$

11. Проводимость изоляции двухпроводной линии при постоянном токе:

$$G = 0.5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{См}}{\text{км}}$$

12. Коэффициент диэлектрических потерь в изоляторах:

$$n = 0.25 \cdot 10^{-9}$$

13. Находим проводимость изоляции двухпроводной линии:

$$G_0 = G + n \cdot f_{\text{раб}} = 0.5 \cdot 10^{-6} + 0.25 \cdot 10^{-9} \cdot 45000 = 1.175 \cdot 10^{-5} \frac{\text{См}}{\text{км}}$$

14. Находим вторичные параметры линии:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_{\text{раб}} = 2 \cdot 3.14 \cdot 45000 = 282743 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

15. Находим волновое сопротивление линии

$$Z_s = \sqrt{\frac{R_0 + j \cdot \omega \cdot L_0}{G_0 + j \cdot \omega \cdot C_0}} = \sqrt{\frac{14.382 + j \cdot 282743 \cdot 2.322 \cdot 10^{-3}}{1.175 \cdot 10^{-5} + j \cdot 282743 \cdot 5.114 \cdot 10^{-9}}} = -4.643j + 673.842 \Omega;$$

16. Находим постоянную распространения линии

$$\gamma = \sqrt{(R_0 + j \cdot \omega \cdot L_0) \cdot (G_0 + j \cdot \omega \cdot C_0)} = \sqrt{(14.382 + j \cdot 282743 \cdot 2.322 \cdot 10^{-3}) \cdot (1.175 \cdot 10^{-5} + j \cdot 282743 \cdot 5.114 \cdot 10^{-9})} = 0.974j + 0.015 \frac{1}{\text{км}};$$

17. Километрический коэффициент затухания линии равен:

$$\alpha = \text{Re}(\gamma) = 0.015 \frac{\text{Нп}}{\text{км}};$$

18. Километрический коэффициент фазы линии равен

$$\beta = \text{Im}(\gamma) = 0.974 \frac{\text{рад}}{\text{км}};$$

19. Находим фазовую скорость распространения волны

$$V_{\varphi} = \frac{\omega}{\beta} = \frac{282743}{0.974} = 290230 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

20. Находим длину волны

$$V_{\varphi} = \frac{\omega}{\beta} = \frac{282743}{0.974} = 290230 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

Содержание отчета:

1. Выписанные данные по вариантам
2. Расчет согласно примеру
3. Вывод

Практическое занятие № 2

Тема: Расчет затухания в световодах

Цель: Привести подробный расчет параметров волоконногосветовода с указанием всех промежуточных значений и обоснованием используемых в расчетах показателей.

Исходные данные

№ вариант а	Длина волны, мкм	Радиус сердечника световода, мкм	Кол-во стыков ОВ в муфте	Протяжено сть строительн ой длины ОК, км	Тип оптического волокна
1	0,85	50	3	167	Градиентное многомодовое
2	1,3	10	4	276	Ступенчатое одномодовое
3	1,55	50	3	134	Градиентное многомодовое
4	1,55	50	2	156	Градиентное многомодовое
5	0,85	50	3	178	Градиентное многомодовое
6	0,85	10	4	220	Ступенчатое одномодовое
7	1,3	50	5	190	Градиентное многомодовое
8	1,55	10	6	128	Ступенчатое одномодовое
9	0,85	50	3	123	Градиентное многомодовое
10	1,55	50	7	156	Градиентное многомодовое
11	1,3	10	5	138	Ступенчатое одномодовое
12	0,85	50	4	189	Градиентное многомодовое
13	1,3	50	5	192	Градиентное многомодовое
14	1,55	10	3	225	Ступенчатое одномодовое
15	0,85	10	4	250	Ступенчатое одномодовое

Ход работы:

Необходимо рассчитать следующие параметры волоконногосветовода:

- числовую апертуру;
- число мод в световоде;
- затухание световода;
- дисперсию световода.

1. Важной характеристикой световода является **числовая апертура NA**, представляющая собой синус максимального угла падения $\varphi_{\text{пад}}$ лучей на торец световода, при котором в световоде луч на границу "сердцевина-оболочка" падает под критическим углом $\varphi_{\text{кр}}$. Если значение угла падения $\varphi_{\text{пад}} < \varphi_{\text{кр}}$, то в световоде происходит полное внутреннее отражение луча. Следовательно:

$$NA = n_1 \cos \varphi_{\text{кр}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

где n_1 и n_2 показатель преломления соответственно сердцевины и оболочки (для многомодовогосветовода - 1.53 и 1.5 соответственно; для одномодовогосветовода - 1.46 и 1.457 соответственно).

2. **Число мод** определяет способность световода "принимать" свет. Чем больше мод, тем больше световой энергии можно ввести в световод от источника.

С увеличением числа мод полоса передаваемых частот снижается. Чем меньше мод, тем лучше качество связи, и можно организовать большее число каналов. Для расчета числа мод необходимо рассчитать **нормированную частоту**.

$$V = \frac{2\pi \times a}{\lambda} NA$$

где a - радиус сердечника световода, мкм (определяется по маркировке кабеля);

λ - длина волны, мкм;

NA - числовая апертура.

Общее число передаваемых мод в световодах может быть определено по формулам:

$$N = V^2 - \text{для ступенчатого профиля;}$$

$$N = V^2/2 - \text{для градиентного профиля}$$

3. Расчет затухания световодов.

Важнейшим параметром световода является **затухание передаваемой энергии**. Для заданных значений скорости передачи информации и вероятности ошибки мощность на входе фотодетектора должна быть больше некоторой определенной величины. Потери наряду с дисперсией определяют

длину ретрансляционного участка волоконно-оптической линии связи (ВОЛС), т.е. расстояние, на которое можно передавать сигнал без усиления. Существуют две главные причины собственных потерь в световодах: поглощение и рассеяние энергии. Затухание поглощения, связанное с потерями на диэлектрическую поляризацию, линейно растет с частотой и существенно зависит от свойств материала световода $\text{tg}\delta$.

Расчет затухания поглощения производят по формуле, дБ/км:

$$a_n = \frac{\pi \times n_1}{\lambda} \times \text{tg}\delta \times 8,69 \times 10^3$$

где λ - длина волны, м;

$\text{tg}\delta=10^{-11}$ - тангенс угла диэлектрических потерь в световоде.

4. **Потери на рассеяние** определяют нижний предел потерь, присущих волоконным световодам. Потери с увеличением длины волны уменьшаются. Рассеяние обусловлено неоднородностями материала волоконного световода, размеры которых меньше длины волны, а также тепловой флуктуацией преломления. Различают линейное и нелинейное рассеяние. При линейном рассеянии его мощность пропорциональна мощности падающей волны. В этом случае происходит частичное изменение потока энергии.

Потери на рассеяние, возникающие в результате флуктуации показателя преломления, называются рэлеевскими и определяются по формуле, дБ/км

$$a_p = \frac{R_p}{\lambda^4}$$

где λ - длина волны, мкм;

R_p - коэффициент рассеяния, равный для кварца 1 дБ/км*мкм⁴ для одномодового световода и 1.5 дБ/км*мкм⁴ для многомодового световода.

5. **Суммарное значение собственного затухания** оптического волокна в общем случае

$$a_c = a_n + a_p + a_{пк} + a_{пр},$$

где $a_{пк}$ - коэффициент затухания в инфракрасной области, расположенной в диапазоне длин волн свыше 1.6 мкм;

$a_{пр}$ - коэффициент затухания из-за наличия в материале волоконного световода посторонних примесей дБ/км (для многомодового и одномодового световодов приблизительно равен на $\lambda=0.85$ мкм - 0.3 дБ/км, на $\lambda=1.3$ мкм - 0.1 дБ/км, на $\lambda=1.55$ мкм - 0.04 дБ/км).

6. Следует учитывать также дополнительные **кабельные потери** a_k . Они связаны с непостоянством размеров поперечного сечения волокна, наличием макро- и микроизгибов из-за скрутки, конструктивных и технологических неоднородностей и других причин.

Приближенно a_k можно рассчитать по формуле, дБ/км

$$a_k = a_{\text{зв}} + \frac{A_M}{l_{\text{стр}}}$$

где $a_{\text{ГВ}}$ - дополнительное затухание за счет геометрии волокна (в среднем $0.15 \cdot a_c$), дБ/км;

A_M - потери и на стыке оптических волокон в муфте (0.3 - на стык, дБ);

$l_{\text{стр}}$ - протяженность строительной длины ОК, км.

7. Качество ввода зависит от соотношения площадей излучателя S_n и сердцевины световода S_c . **Потери энергии на вводе** вычисляются по формуле, дБ,

$$a_{\text{ВВ}} = 10 \lg \left| \frac{2 \times S_n}{m \times NA^2 \times S_c} \right|$$

где m - коэффициент, учитывающийся при расчете энергетического потенциала аппаратуры. Для расчетов могут быть приняты следующие данные: S_n - 3×50 мкм для лазера; 5×100 мкм для светодиода; $S_c = \pi \cdot a^2$ мкм, где a - радиус сердцевины световода, мкм; $m=2$ для светодиода; $m=10$ для лазера.

8. Учитывая дополнительные потери в разъёмных и неразъёмных соединениях на стыке аппаратуры и ОК, торцевые потери вычисляют:

$$a_T = q \cdot a_{\text{ВВ}},$$

где q - поправочный коэффициент, равный 0.2 для многомодового световода и 0.1 для одномодового световода.

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Исходные данные, согласно варианту.
3. Расчеты с пояснениями выбранных значений и исходными формулами.
4. Вывод о проделанной работе

Тема: Составление и расчет принципиальной схемы автогенератора

Цель: Выполнить энергетические расчеты для автогенератора и научиться строить схемы.

Ход работы:

Электрический расчёт автогенератора включает в себя энергетический расчёт и расчёт колебательной системы. Эта часть расчёта одинакова для всех схем автогенераторов.

Исходными данными для расчёта на заданную мощность являются активная составляющая мощности генератора $P_{\text{ак}}$ и частота колебаний f . Должны быть известны также статические характеристики транзистора.

Выписать исходные данные, после первого пункта заполнить строку выбранным транзистором.

Исходные данные LC автогенератора

№ вар	$P_{\text{ак}}, \text{Вт}$	$F, \text{МГц}$	q	$E_{\text{п}}, \text{В}$	Транзистор
1	2	300	70	5	
2	2	400	75	3	
3	3	50	80	5	
4	4	200	85	3	
5	5	300	65	8	
6	2	400	87	5	
7	1	100	92	8	
8	2	50	90	10	
9	4	100	80	5	
10	5	200	70	10	

1. Используя справочник по биполярным транзисторам выбрать соответствующий согласно следующим условиям.

Рабочая частота f должна выбираться в пределах $(0,2 - 0,3)f_{\text{б}}$, граничная частота, при которой модуль коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером равен 0,7.

Пример:

Определяем граничную частоту транзистора:

$$f = \frac{f_{\text{б}}}{0,3} = \frac{300 \cdot 10^6}{0,2} = 1500 \text{ МГц}$$

Модуль коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером $|h_{21}| = 0,7$

Исходя из этих данных я выбираю транзистор: **КТ 301**

2. Выписать согласно справочной информации параметры транзистора
Параметры транзистора:

Ток базы: $I_{\text{б}} = 85 \text{ мкА}$

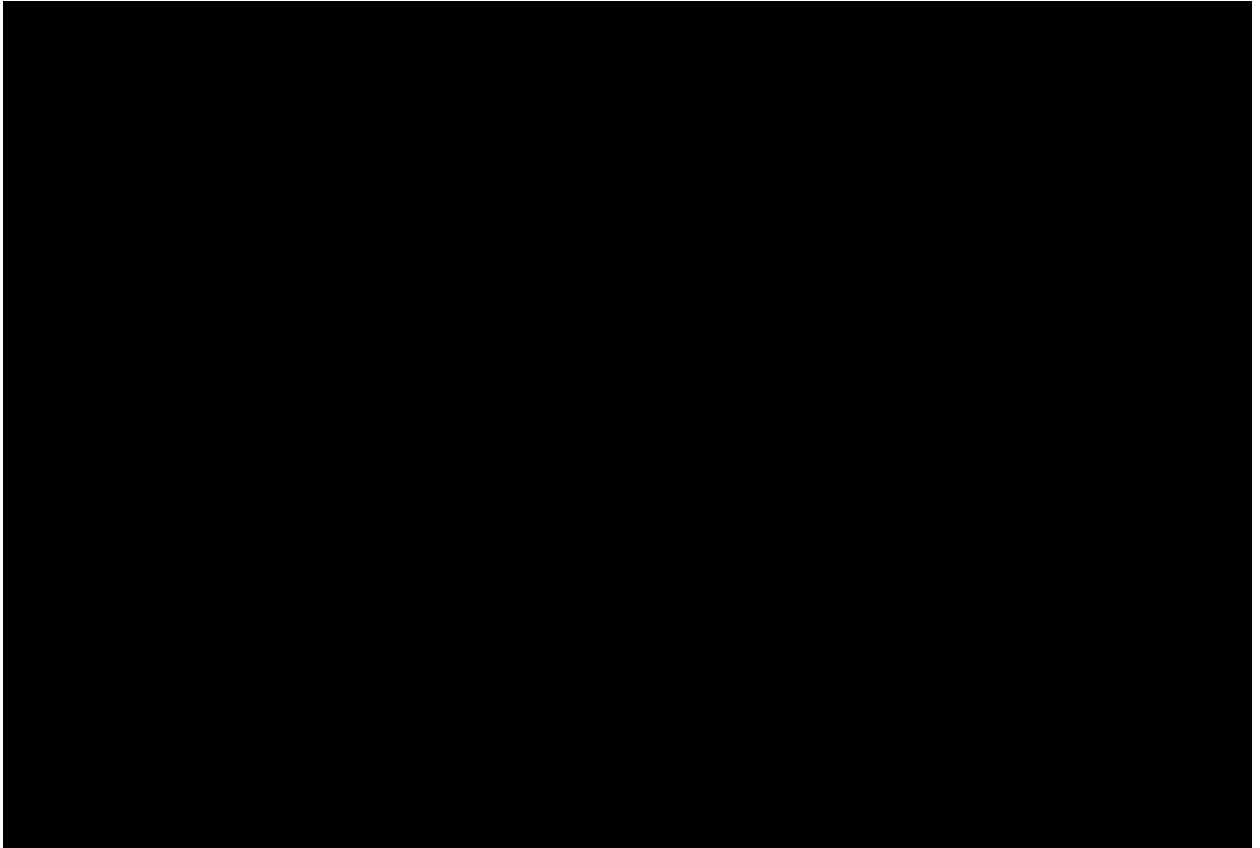
Допустимая мощность рассеяния на коллекторе: $P_{\text{доп}} = 1,5 \text{ Вт}$

3. Выбор угла отсечки коллекторного тока q :

При проектировании генераторов идут на компромисс, ограничивая область используемых углов отсечки узкой полосой в пределах $70^\circ < q < 90^\circ$

Выбираем $q = 80^\circ$

4. Нахождение коэффициентов по таблице Берга:



$$a_0 = 0,286$$

$$a_1 = 0,472$$

$$\cos q = 0,174$$

5. Выбор источника питания:

Так как выбранный мною транзистор является маломощным, следовательно источник питания не должен выдавать большое напряжение. Выбираем:

$$E_{\text{п}} = 5 \text{ В}$$

6. Расчет коэффициента использования источника питания:

$$\xi_{\text{кр}} = 1 - 2 \cdot P_{\text{ас}} \cdot (E_{\text{п}}^2 \cdot S_{\text{кр}} \cdot \alpha_1)$$

где $S_{\text{кр}}$ - крутизна линии критического режима, выходных характеристик транзистора.

$$S_{\text{кр}} = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta U_{\text{кэ}}} = \frac{(1,5 - 1) \times 10^{-3}}{0,9 - 0,8} = 0,005$$

$$\xi_{\kappa p} = 1 - 2 \cdot 1 \cdot (5^2 \cdot 0,005 \cdot 0,472) = 0,882$$

Екр близок к единице, следовательно, Еп выбрано верно.

8. Определение амплитуды напряжения на нагрузке коллекторной цепи:

$$U_{\kappa p} = \xi_{\kappa p} \times E_n$$

$$U_{\kappa p} = 0,882 \times 5 = 4,41 \text{ В}$$

9. Определение амплитуды первой гармоники тока коллектора:

$$I_{\kappa 1} = \frac{2P_{ac}}{U_{\kappa p}} = \frac{2 \cdot 1}{4,41} = 0,453 \text{ А}$$

10. Определение модуля эквивалентного сопротивления нагрузки генератора в критическом режиме:

$$Z_{\kappa p} = \frac{U_{\kappa p}}{I_{\kappa 1}} = \frac{4,41}{0,453} = 10 \text{ Ом}$$

11. Определение амплитуды импульса тока коллектора:

$$I_{\kappa, \text{max}} = \frac{I_{\kappa 1}}{\alpha_0} = \frac{0,453}{0,286} = 1,5 \text{ А}$$

12. Расчет постоянной составляющей тока коллектора:

$$I_{\kappa 0} = \zeta_{a0}(q) \times I_{\kappa, \text{max}}$$

$$I_{\kappa 0} = \zeta_{0,286} \times 1,5 = \zeta_{0,429} \text{ А}$$

13. Расчет мощности, потребляемой от источника:

$$P_n = I_{\kappa 0} \times E_n$$

$$P_n = 0,429 \times 5 = 2,1$$

14. Расчет мощности, рассеиваемой на коллекторе:

$$P_{\kappa} = P_n - P_{a\Gamma} = 2,1 - 1 = 1,1 \text{ Вт ,}$$

$$P_{\text{доп}} = 1,5 \text{ Вт}$$

$P_{\kappa} < P_{\text{доп}}$,следовательно, транзистор выбран верно

15. Нахождение средней крутизны проходной характеристики транзистора:

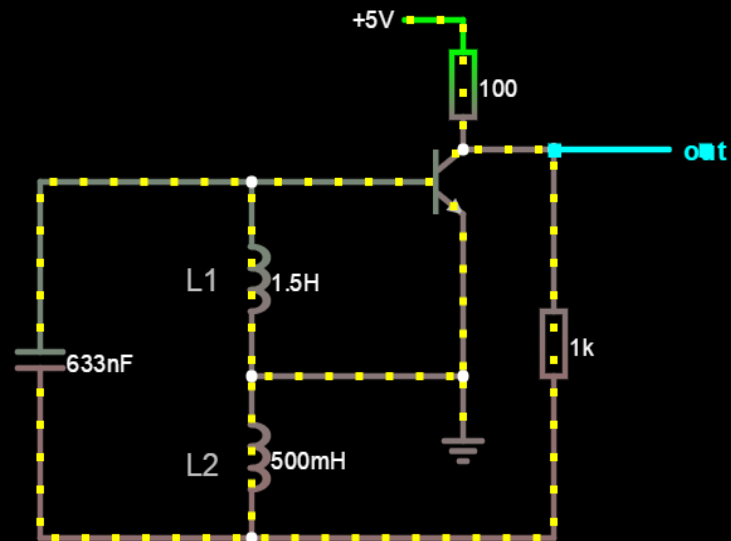
$$S_{cp} = \frac{I_{\varepsilon}}{U_{\varepsilon p}} = \frac{(0,5 - 0,4) \cdot 10^{-3}}{0,9 - 0,85} = 0,002$$

Это значение совпадает с расчетным, следовательно вычисления проведены верно.

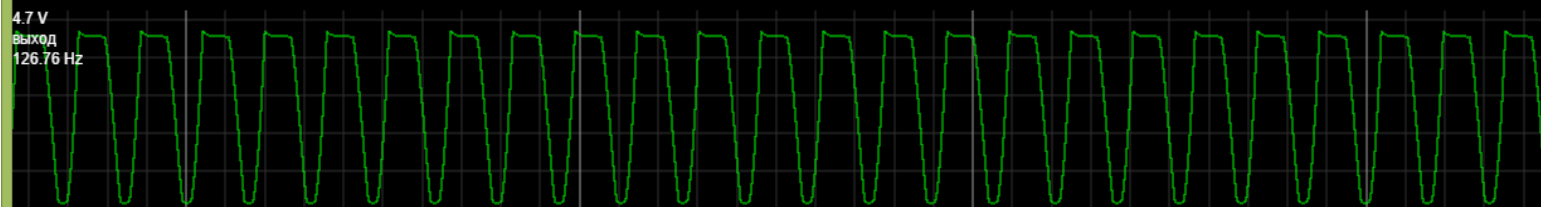
16. Зарисовать макет генератора Хартли и его осциллограммы

Содержание отчета:

1. Исходные данные
2. Расчеты с пояснениями и выводами
3. Схема автогенератора и его осциллограммы



4.7 V
Выход
126.76 Hz



Выход
V = 160.49 mV

Restart START/stop

Скорость симуляции
< [Slider] >

Скорость тока
< [Slider] >

Яркость мощности
< [Slider] >

Текущая схема:
Генератор Хартли

Basic keys:

SPACE or Esc
Select/Drag sel

W Add Wire

R Add Resistor

C Add Capatitor

SHIFT + L
Add Inductor

S Add Switch

SHIFT + S
Add SPDT Switch

G Add Ground

V Add Voltage Soorse
(2-terminal)

SHIFT + S
Add Voltage Soorse (1-
terminal)

L Add LED

T Add Text

D Add Diode

Практическое занятие № 4

Тема: Сравнительный анализ различных видов импульсной модуляции

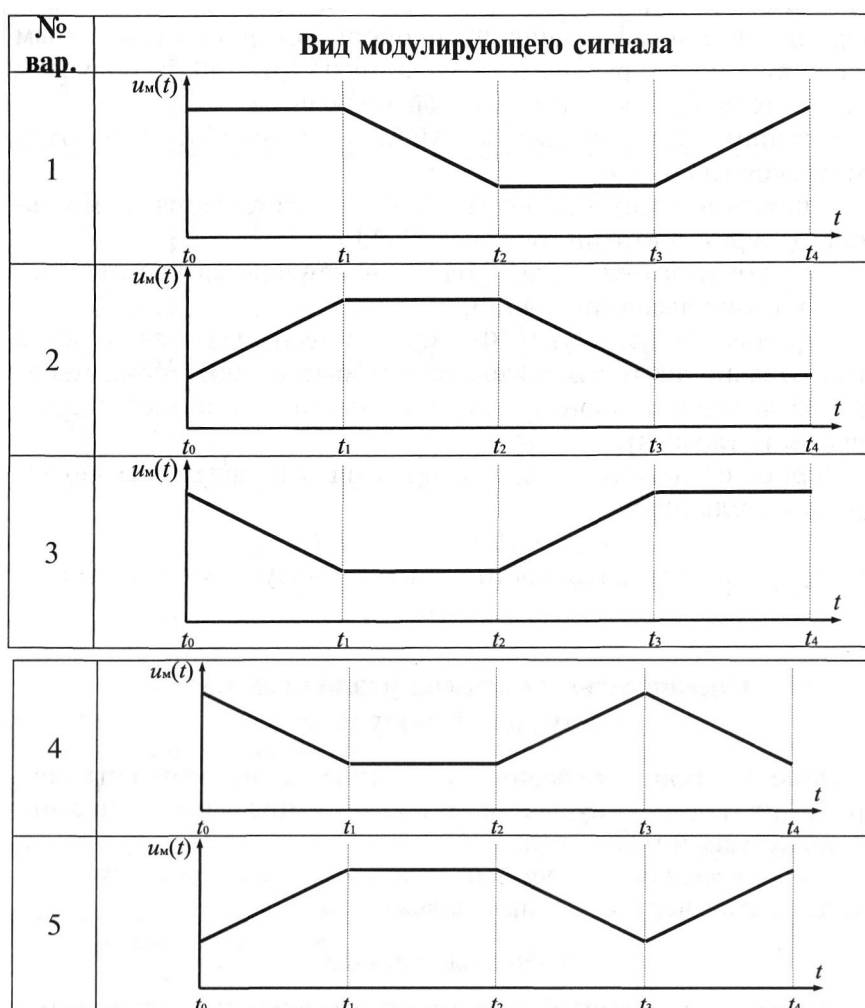
Цель: построить и сравнить временные диаграммы сигналов при амплитудно-импульсной, широтно-импульсной и частотно-импульсной модуляции.

Оборудование и раздаточные материалы, таблица с исходными данными, чертежные принадлежности.

Исходные данные

Исходные — диаграммы модулирующего сигнала для заданного варианта приведены в таблице 16.

Исходные диаграммы



Спектр при импульсных видах модуляции зависит от спектра модулирующего сигнала $F_u(Q)$, вида и параметров модуляции. Следовательно, для импульсных видов модуляции (кроме ШИМ) ширина спектра не зависит ни от вида модуляции и ее параметров, ни от модулирующего сигнала, ни от периода следования импульсов, а

определяется только длительностью импульса несущей и обратно пропорциональна длительности импульса несущей $t_{\text{импн}}$.

Самый короткий импульс имеет наиболее широкий спектр.

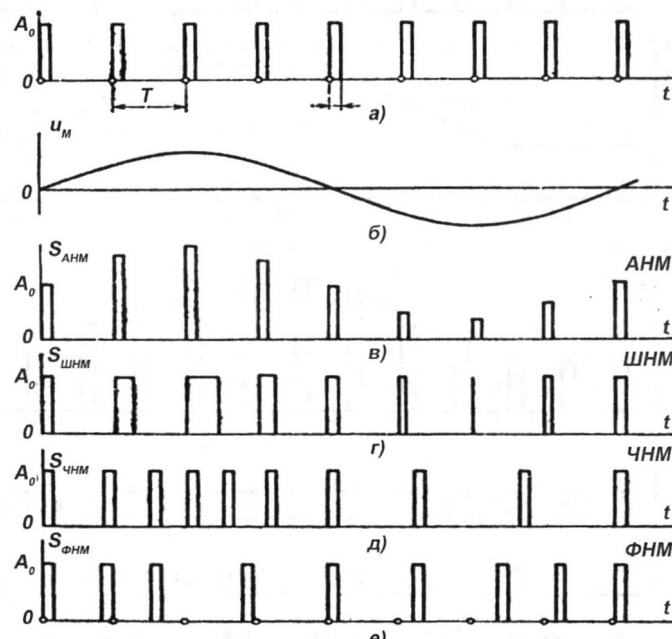


Рис. 40. Виды импульсной модуляции

***в* — амплитудно-импульсную (АИМ); *г* — широтно-импульсную (ШИМ); *д* — частотно-импульсную (ЧИМ); *е* — фазово-импульсную (ФИМ)**

Порядок выполнения

Порядок выполнения рассмотрим на примере.

Пример. Не соблюдая масштаба, постройте графики амплитудно-импульсной, широтно-импульсной и частотно-импульсной модуляции при заданном модулирующем сигнале. Ход построения пояснить.

Графики амплитудно-импульсной, широтно-импульсной и частотно-импульсной модуляции при заданном модулирующем сигнале представлены на рисунке 41.

1. Постройте периодическую последовательность прямоугольных импульсов одинаковой формы несущего сигнала (на рис. 41 обозначен как $u(t)$).

2. Изобразите модулирующий сигнал, заданный в варианте (на рис. 41 обозначен как $u_M(t)$).

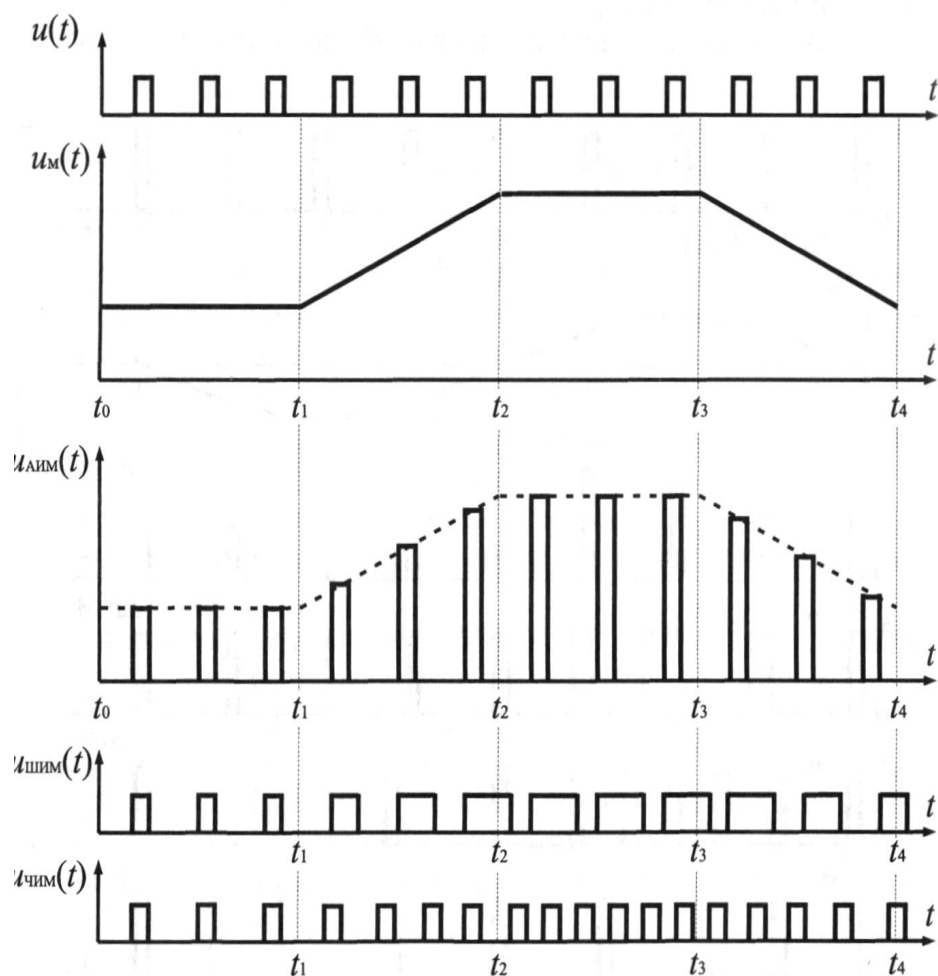


Рис. 41. Построение графиков АИМ-, ШИМ- и ЧИМ-сигналов

3. Постройте график АИМ-сигнала (на рис. 41 обозначен как $u_{\text{АИМ}}(t)$).

3.1. На интервале t_0 - t_1 амплитуда модулирующего сигнала постоянная. Поэтому амплитуда импульсов модулированного сигнала тоже постоянна и повторяет амплитуду модулирующего сигнала.

3.2. На интервале t_1 - t_2 амплитуда модулирующего сигнала линейно возрастает. Поэтому аналогично возрастает и амплитуда импульсов модулированного сигнала.

3.3. На интервале t_2 - t_3 амплитуда модулирующего сигнала постоянна. Следовательно, амплитуда импульсов модулированного сигнала тоже постоянна и повторяет амплитуду модулирующего сигнала.

3.4. На интервале t_3 - t_4 амплитуда модулирующего сигнала линейно убывает. Поэтому убывает и амплитуда импульсов модулированного сигнала.

4. Постройте график ШИМ-сигнала (на рис. 41 обозначена как $u_{\text{ШИМ}}(t)$)- При широтно-импульсной модуляции (ШИМ) изменяется длительность (ширина) импульсов *периодической последовательности импульсов* модулированного сигнала.

4.1. На интервале t_0 - t_1 амплитуда модулирующего сигнала постоянная. Поэтому ширина импульсов модулированного сигнала постоянна.

4.2. На интервале t_1 - t_2 амплитуда модулирующего сигнала линейно возрастает. Поэтому линейно возрастает и ширина импульсов модулированного сигнала

4.3. На интервале t_2 - t_3 амплитуда модулирующего сигнала постоянная. Следовательно, ширина импульсов модулированного сигнала также не изменяется.

5. На интервале t_3 - t_4 амплитуда модулирующего сигнала линейно убывает. Поэтому линейно уменьшается и ширина импульсов модулированного сигнала.

6. Постройте график ЧИМ-сигнала (на рис. 41 обозначена как $u_{\text{ЧИМ}}(t)$). При частотно-импульсной модуляции (ЧИМ) изменяется частота следования импульсов.

6.1. На интервале t_0 - t_1 амплитуда модулирующего сигнала постоянная. Поэтому частота следования импульсов модулированного сигнала постоянна.

6.2. На интервале t_1 - t_2 амплитуда модулирующего сигнала линейно возрастает. Поэтому линейно возрастает и частота следования импульсов модулированного сигнала.

6.3. На интервале t_2 - t_3 амплитуда модулирующего сигнала постоянная. Следовательно, частота следования импульсов модулированного сигнала также не изменяется.

6.4. На интервале t_3 - t_4 амплитуда модулирующего сигнала линейно убывает. Поэтому линейно уменьшается и частота следования импульсов модулированного сигнала.

7. Проведите анализ каждого вида импульсной модуляции и сделайте соответствующие выводы.

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Исходные данные, согласно варианту
3. Графики сигналов при различных видах импульсных модуляций.
4. Описание построения графиков.
5. Вывод о проделанной работе.

Практическое занятие № 5

Тема: Сравнительный анализ различных видов цифровой модуляции

Цель: научиться осуществлять преобразование аналоговых сигналов в сигналы с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ) и дельта-модуляцией (ДМ).

Оборудование и раздаточные материалы: карта задание, шаблоны для графиков получения ИКМ-сигналов и ДМ-сигналов.

Исходные данные

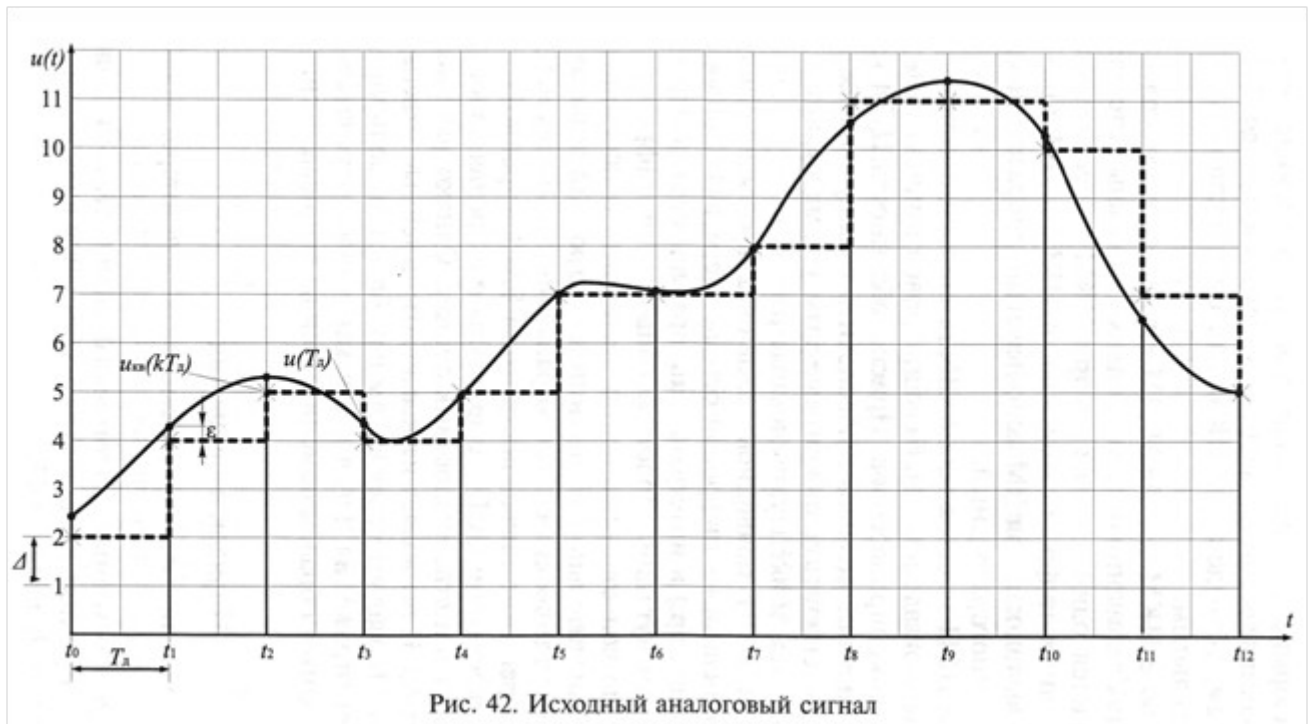
Преобразовать исходный аналоговый сигнал в ИКМ и ДМ- сигнал при различных значениях шага дискретизации. Определить погрешности квантования г. Кодовые комбинации представить в виде таблицы. По данной таблице восстановить примерный вид сигнала, дискретного по времени. Вид аналогового сигнала задает преподаватель произвольно в виде графика в системе координат (рис. 42).

Порядок выполнения

Порядок выполнения задания рассмотрим на примере.

Пример.

1. Преобразуйте исходный аналоговый сигнал в ИКМ-сигнал при различных значениях шага дискретизации Вид аналогового сигнала изображен на рисунке 42.



1.1. В процессе дискретизации непрерывного сигнала определите его отсчеты $u(kT_d)$ через интервал времени T_d (рис. 42).

1.2. В квантователе устанавливаются уровни, разрешенные для передачи. Разницу между двумя ближайшими уровнями называют *шагом*

квантования Δ . При квантовании отсчеты непрерывного сигнала $u(kT_d)$, попадающие в интервал между разрешенными уровнями, округлите до ближайшего разрешенного уровня. На рисунке 42 квантованные отсчеты $u_{kv}(kT_d)$ отмечены крестиками.

1.3. Определите погрешности квантования ε , возникающие из-за округления в процессе квантования

$$\varepsilon(kT_d) = u_{kv}(kT_d) - u(kT_d)$$

1.4. Кодер АЦП преобразует квантованные отсчеты в кодовые комбинации, обозначающие соответствующие уровни. Чаще всего кодирование сводится к записи номера уровня в двоичной системе счисления. Это будет так называемый натуральный двоичный код.

1.5. Результаты расчетов сведите в таблицу 17.

Результаты расчетов

Номер отсчета	$u(kT_d)$	$u_{kv}(kT_d)$	$\varepsilon(kT_d)$	Двоичный код
t_0	2,4	2,0	-0,4	0010
t_1	4,25	4,0	-0,25	0100
t_2	5,3	5,0	-0,3	0101
t_3	4,2	4,0	-0,2	0100
t_4	4,9	5,0	од	0101
t_5	7,0	7,0	0	0111
t_6	7,1	7,0	-0,1	0111
t_7	7,9	8,0	0,1	1000
t_8	10,6	11,0	0,4	1011
t_9	11,4	11,0	-0,4	1011
t_{10}	10,2	10,0	-0,2	1010
t_{11}	6,6	7,0	0,4	0111
t_{12}	5,0	5,0	0	0101

1.6. По данной таблице восстановите примерный вид сигнала, дискретного по времени по квантованным отсчетам $u_{kv}(kT_d)$.

1.7. Уменьшите шаг дискретизации исходного аналогового сигнала в 2 раза (рис. 43) и выполните пп. 1.1—1.6

1.8. Результаты расчетов сведите в таблицу 18.

Результаты расчетов

Номер отсчета	u (к Т _д)	укв (к Т _д)	ε (к Т _д)	Двоичный код
t_0	2,4	2,0	-0,4	0010
t_1	3,2	3,0	-0,2	0011
t_2	4,25	4,0	-0,25	0100
t_3	5,0	5,0	0,0	0101
t_4	5,3	5,0	-0,3	0101
t_5	5,1	5,0	-0,1	0101
t_6	4,2	4,0	-0,2	0100
t_7	4,1	4,0	-0,1	0100
t_8	4,9	5,0	0,1	0101
t_9	6,0	6,0	0,0	0100
t_{10}	7,0	7,0	0	0111
t_{11}	7,25	7,0	-0,25	0111
t_{12}	7,1	7,0	-0,1	0111
t_{13}	7,2	7,0	-0,2	0111
t_{14}	7,9	8,0	0,1	1000
t_{15}	9,4	9,0	-0,4	1001
t_{16}	10,6	11,0	0,4	1011
t_{17}	11,2	11,0	-0,2	1011
t_{18}	11,4	11,0	-0,4	1011
t_{19}	11,2	11,0	-0,2	1011
t_{20}	10,2	10,0	-0,2	1010

t_{21}	8,1	8,0	-0,1	1000
t_{22}	6,6	7,0	0,4	0111
t_{23}	5,3	5,0	-0,3	0101
t_{24}	5,0	5,0	0	0101

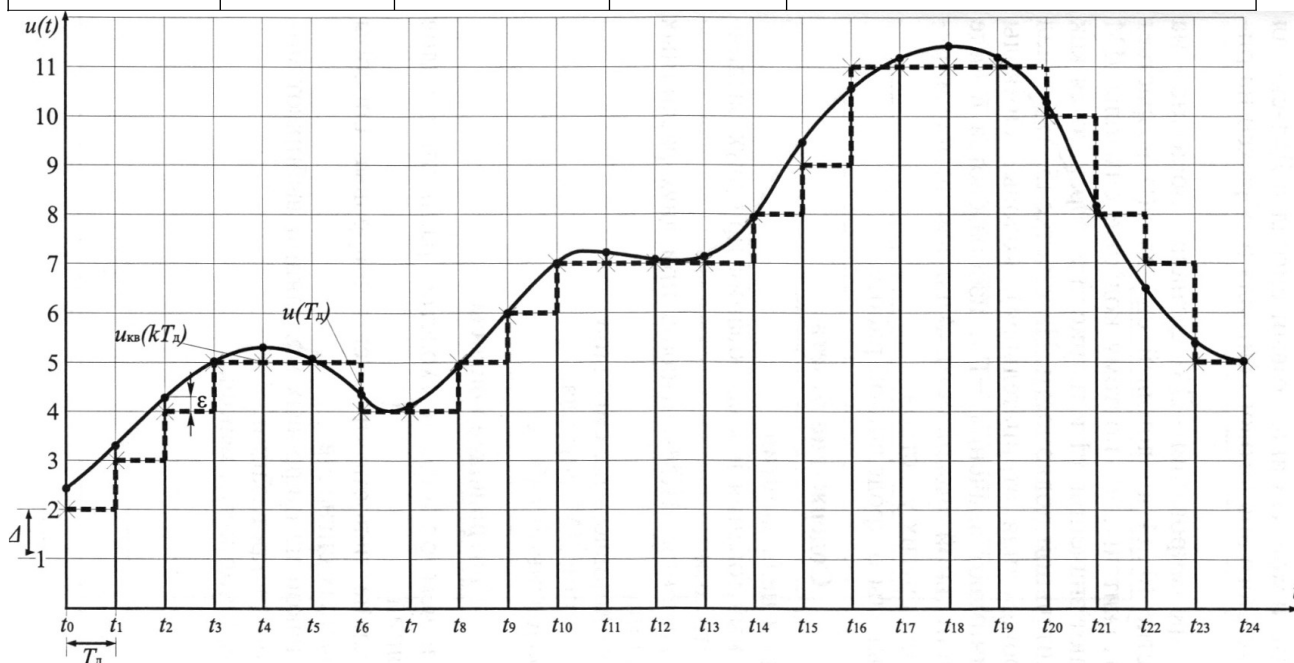


Рис. 43. Исходный аналоговый сигнал с уменьшенным в 2 раза шагом дискретизации

2. Преобразуйте исходный аналоговый сигнал в ДМ-сигнал (рис. 44). Вид исходного аналогового сигнала изображен на рисунке 42.

2.1. Правило формирования ДМ-сигнала показано на рис. 44. На участке $t_0 \dots t_4$ аналоговый сигнал $u(t)$ возрастает (производная положительная), поэтому кодовые символы ДМ сигнала принимают значения $+1$ и на рис. 3 изображаются как импульсы положительной полярности. На участке $t_5 \dots t_7$ сигнал $u(t)$ убывает (производная отрицательная), кодовые символы ДМ сигнала принимают значения -1 и изображаются в виде импульсов отрицательной полярности. Аналогично формируются сигналы и для других участков.

3. Сделайте выводы о проделанной работе.

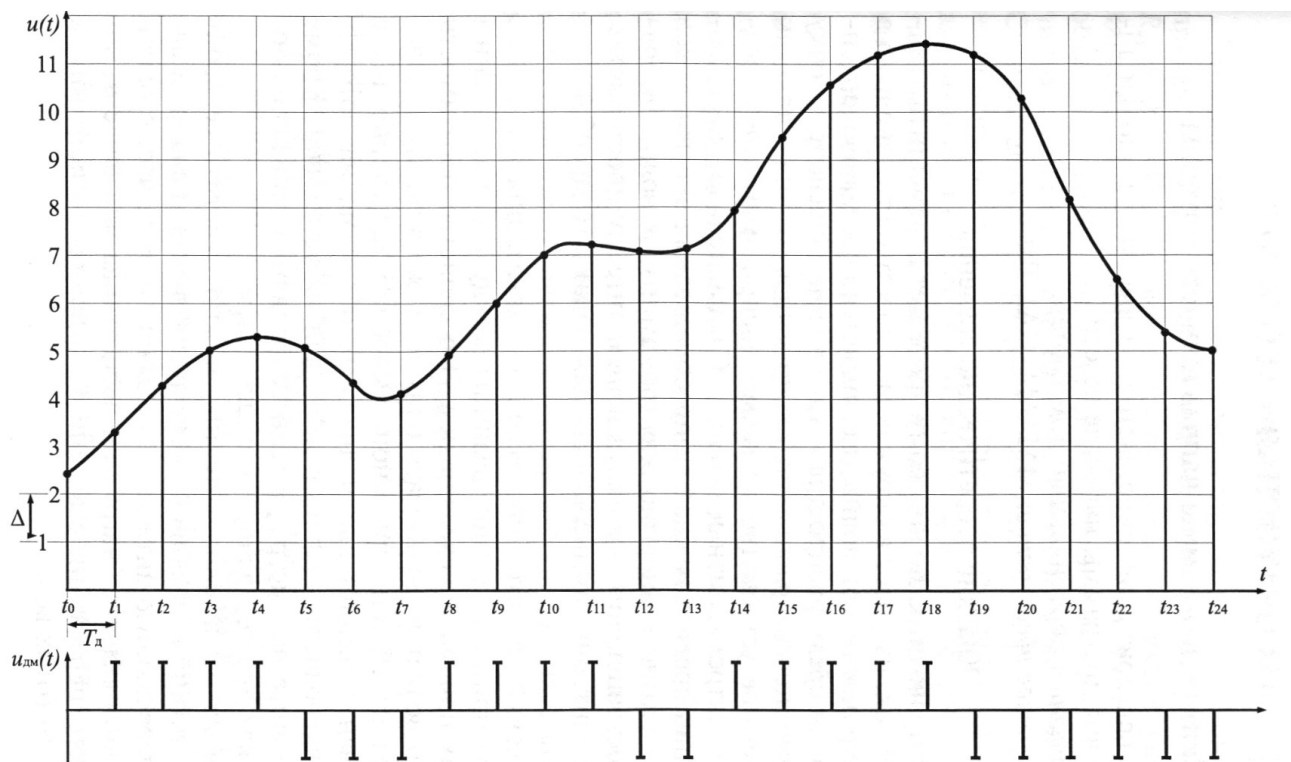


Рис. 44. Получение ДМ-сигнала

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Результаты квантования и кодирования при двух различных шагах дискретизации.
3. Графики получения ИКМ-сигналов при двух различных шагах дискретизации.
4. Графики восстановленных сигналов
5. График получения ДМ-сигнала.
6. Вывод о проделанной работе.

Практическое занятие № 6

Тема: Схемы формирования ИКМ сигналов.

Цель: Изучить цифровые коды ИКМ сигналов и научиться формировать линейные коды в цифровых системах передачи.

Ход работы:

Задание 1

Преобразовать заданный двоичный бинарный код в линейные коды ЧПИ (АМІ), МЧПИ (HDB-3), NRZ, CMI.

Исходные данные

№ вариант а	Заданный двоичный код	№ варианта	Заданный двоичный код
1	1100001000110000101010	14	0001101000011101000001
2	0010110000001101100010	15	0100100000110011100001
3	0000010101100001100100	16	1110010000000001011010
4	1001000000000101010110	17	1100100000010100110000
5	1110100000110010000011	18	1010010000110110000011
6	0001011000000001011010	19	0000011101000011100110
7	0000010111000001100111	20	0100110000000001101001
8	0101000000110010100001	21	1000011011000000001011
9	1011000000000010011100	22	1011101000000001101010
10	0100000110101000010111	23	1110010000010110100001
11	0000011001000010011001	24	0000001010110000011011
12	1101000001011010000101	25	1011001000001011000011
13	1011011000000000110011	26	0010100001100000010110

Краткие теоретические сведения

1. **ЧПИ.** Такой код называется кодом чередования полярности импульсов ЧПИ (англ. AMI): «1»- передается изменением полярности сигнала на каждой единице, «0» - передается отсутствием сигнала (формируется двухполярный трехуровневый код). В данном случае любая ошибка, появившаяся при передаче (например, + или – вместо нуля, пробел кодового импульса) вызывает нарушение закона чередования полярности и легко обнаруживается.



Рисунок - ЧПИ

2. **Модифицированный код ЧПИ (МЧПИ).** Если в двоичном сигнале появляется подряд множество символов 0, то на входе УВТЧ будет действовать длительная пауза, что может привести к срыву его работы. Суть модификации кода ЧПИ состоит в том, что в паузу, длина которой превышает n нулей, помещают балластные сигналы. Они препятствуют ухудшению работы УВТЧ, но в то же время легко могут

быть обнаружены и изъяты на приеме. В качестве примера рассмотрим получивший широкое распространение код высокой плотности следования единиц (КВП-3), у которого $n=3$. В качестве балластных используются два типа сигналов, имеющих условное обозначение 000V и B00V.

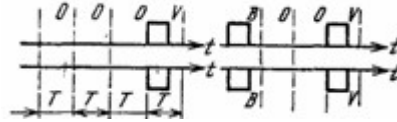


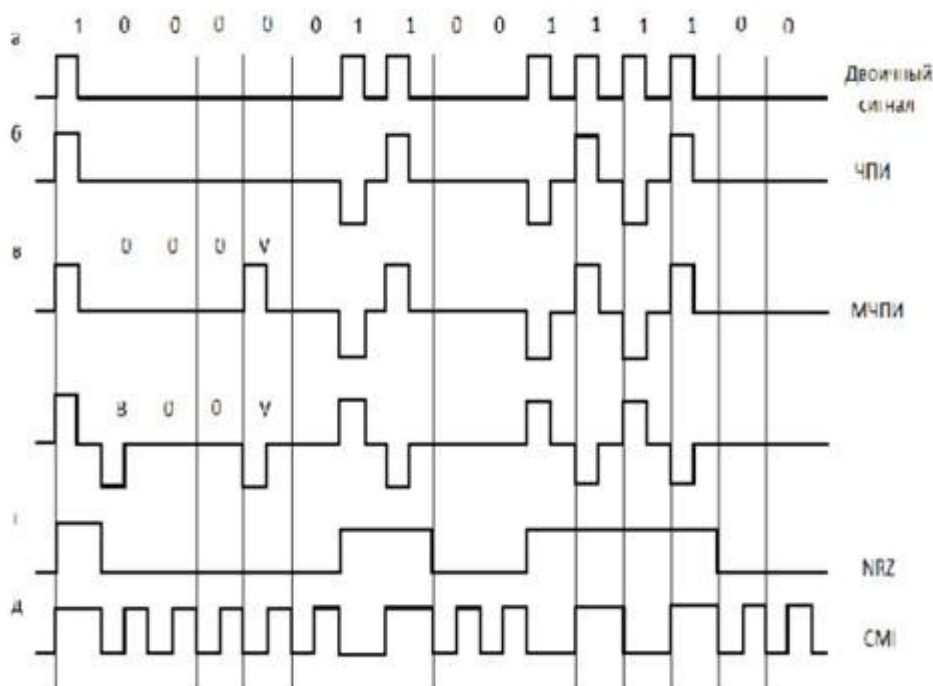
Рисунок – МЧПИ

- если между двумя соседними паузами в двоичном сигнале с числом нулей $n14$ и $n24$ четное число единиц, то заполнение второй паузы начинается с балластного сигнала B00V,
- если число единиц между двумя вышеупомянутыми паузами нечетное, то заполнение второй паузы начинается с балластного сигнала 000V.

3. Код NRZ (NonReturntoZero - без возврата к нулю) - это простейший код который представляет собой цифровой сигнал (рис. 8). Логической единице соответствует высокий уровень напряжения в кабеле, логическому нулю - низкий уровень напряжения (или наоборот).

4. Код СМІ или код с поочередной инверсией единиц. В коде СМІ нули передаются последовательно сменой нуля и единицы на одном тактовом интервале, а единицы - попеременным последовательным сочетанием двух нулей или двух единиц.

Пример преобразования сигналов



Задание 2 Определить величину ошибки в заданном коде в 1 разряде, 2 разряде, 5 разряде и 8 разряде.

Пример

Пусть ошибка произошла в старшем разряде кодовой комбинации, т.е. вместо 00111100 восстановлена последовательность 10111100

Исходный кодовой комбинации соответствует аналоговый сигнал:

$$0 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 60 \text{ мА.}$$

Восстановленной кодовой комбинации соответствует аналоговый сигнал:

$$1 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 188 \text{ мА.}$$

Величина ошибки в заданном коде:

$$188 \text{ мА} - 60 \text{ мА} = 128 \text{ мА}$$

Вывод: На передаваемый аналоговый сигнал наложится узкий импульс тока в 128 мА. Этот импульс вызовет прослушивание щелчка в телефонном аппарате т.к. его величина больше 60 мА.

Содержание отчета

1. Описание кодов ИКМ сигналов
2. Вариант и временные диаграммы преобразования сигналов
3. Расчет величины ошибки в заданном коде с выводом

Практическое занятие № 7

Тема: Составление структурной схемы радиопередатчика по заданным условиям

Цель: научиться строить структурную схему радиопередатчика. Оборудование и раздаточные материалы: карта-задание, типичная структурная схема передатчика.

Исходные данные

Построить структурную схему радиопередатчика согласно исходных данных приведенных в таблице 19.

Исходные данные

Параметры передатчика	Номер вариантов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мощность нагрузки P_n , Вт	10	12	15	16	16	15	12	10	10	12
Частота автогенератора, f_{ag} , МГц	5	10	5	8	5	8	5	10	5	10
Частота передатчика $f_{прл}$, 10^6 Гц	160	150	120	140	160	180	160	110	120	140
КПД промежуточного контура $\eta_{пк}$	0,8	0,9	0,95	0,8	0,84	0,92	0,86	0,94	0,95	0,8
КПД антенного контура $\eta_{ак}$	0,75	0,78	0,85	0,9	0,79	0,8	0,85	0,86	0,75	0,8
Коэффициент запаса K_3	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,1	1,2	1,3	1,2

Порядок выполнения

Порядок выполнения рассмотрим на примере.

Пример.

Постройте структурную схему радиопередатчика согласно следующих исходных данных:

$P_H = 15 \text{ Вт}$; $f_{ag} = 5 \text{ МГц}$; $f_{прд} = 160 \text{ МГц}$; $\eta_{пк} = 0,8$; $\eta_{ак} = 0,8$.

Зарисуйте типичную структурную схему передатчика, приведенную на рисунке 51:



Рис. 51. Типичная структурная схема передатчика

2. Рассчитайте коэффициент умножения и умножителя частоты

$$n = \frac{f_{прд}}{f_{ag}} \quad n = \frac{160}{5} = 32$$

3. Для обеспечения требуемого коэффициента умножения по частоте множитель частоты делают многокаскадным. Этот коэффициент умножения нужно распределить по каскадам умножения. Умножители частоты делают с коэффициентами умножения: 2 и 5. Разложите n на эти коэффициенты:

$$n = 2 * 2 * 2 * 2 * 2 = 32$$

Таким образом, согласно количеству множителей, в схему должно входить пять умножителей.

4. Начертите уточненную структурную схему передатчика (рис. 52).



Рис. 52. Уточненная структурная схема передатчика

5. Проведите расчет передатчика по мощности.

На выходе передатчика необходимо получить мощность 15 Вт. Выходным узлом передатчика является цепь согласования, КПД которой < 1 .

$$\eta_{ПК} = 0,8 \dots 0,95 \quad \eta_{АК} = 0,75 \dots 0,9$$

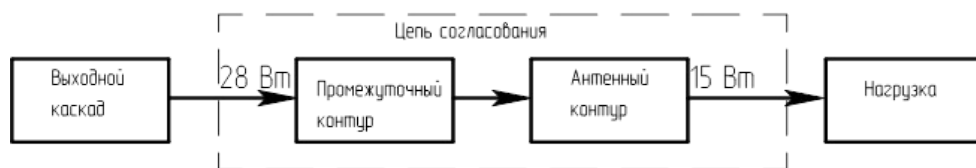
$$\text{Возьмём } \eta_{ПК} = 0,8 \quad \eta_{АК} = 0,8$$

С учётом потерь в цепи согласования, выходной каскад должен выдавать мощность:

$$P_{в\kappa} = \frac{P_H}{\eta_{ПК} \cdot \eta_{АК}} = \frac{15}{0,8 \cdot 0,8} = 23,4 \text{ Вт}$$

Для выходного каскада вводят коэффициент запаса $K_3 = 1,1 \dots 1,3$. Для определённости, возьмём $K_3 = 1,2$. В итоге мощность выходного каскада должна составлять

$$P_{в\kappa} = 23,4 \cdot 1,2 = 28 \text{ Вт}$$



6. В справочнике найдём подходящий по мощности и частоте ($P_K > P_{в\kappa}$, $f_{прд} < (0,4 \dots 0,5) \cdot f_H$) транзистор для выходного каскада.

Такой транзистор KT916A. Его характеристики приведены в таб.1.

Транзистор	P_n , Вт	f , МГц	U_{k0} , В	$I_{пр}$, МГц	$f_{прд}$, МГц	$K_{прд}$	$r_{k,om}$	$S_{кр}$, А/В	I_b , С	I_{k10}	$r_{k,om}$	$r_{k,om}$	E_b , В	$S_{кр,дф}$	$S_{кр,дф}$	$S_{кр,дф}$	$L_{э,дГ}$	$L_{б,дГ}$	$L_{к,дГ}$	$U_{б,макс}$, В	$I_{к,макс}$, А	$P_{макс}$, Вт
KT916A	20	600	28	1400	1000	2,5	0,5	0,67	125	40	0,5	0,15	0,8	14	130	4	0,35	1,00	0,6	3,5	4	30
2T913A	4	400	28	1500	1000	3,5			150	50	1,5	0,8		4	30		0,55	3,00	1,95	3,5	0,5	
2T951B	3	80	28	540	80	25			200	100				10	80		3,8	3,2	3,2	4	0,5	
2T962A	10	1000	28	1400	1000	5			160					15			1,43	0,23	1,55	4	1,5	
2T922A	5	175	28	300	175	20			160	70	2,0			10	75		1,7	2,9	2,4	4	0,8	

Таб.1. Параметры транзисторов

7. Рассчитаем схему без усилителя мощности.

С учётом того, что $K_p = 2,5$, мощность, подаваемая на вход **выходного каскада** равна:

$$P_{ум5} = P_{в\kappa} / K_{рв\kappa} = 28 / 2,5 = 11,2 \text{ Вт.}$$

Транзистор для умножителя частоты ум5 (рис.1): **2T962A**, характеристики которого даны в таб.1. $K_p = 5$ т.к. каскад работает в режиме удвоения частоты, то

$$K_{рум5} = K_p / 1,5 = 5 / 1,5 = 3,3$$

8. Мощность на выходе умножителя частоты ум4 должна быть:

$$P_{ум4} = P_{ум5} / K_{рум5} = 11,2 / 3,3 = 3,39 \text{ Вт,}$$

а максимальная частота работы ум4 составляет - 80 МГц

Транзистор для умножителя частоты ум4: **2T951B** ($K_p = 25$). Т.к. каскад работает в режиме удвоения частоты, то

$$K_{\text{рум4}} = K_p / 1,5 = 25 / 1,5 = 16,66$$

9. Аналогично мощность на выходе умножителя частоты **ум3** должна быть:

$$P_{\text{ум3}} = P_{\text{ум4}} / K_{\text{рум4}} = 3,39 / 16,66 = 0,2 \text{ Вт},$$

а максимальная частота работы ум3 составляет-40МГц.

Транзистор для умножителя частоты ум3: **2Т951В** ($K_p=25$). Т.к. каскад работает в режиме удвоения частоты, то

$$K_{\text{рум3}} = K_p / 1,5 = 25 / 1,5 = 16,66.$$

10. Аналогично мощность на выходе умножителя частоты **ум2** должна быть:

$$P_{\text{ум2}} = P_{\text{ум3}} / K_{\text{рум3}} = 0,2 / 16,66 = 0,012 \text{ Вт},$$

а максимальная частота работы ум2 составляет-20 МГц.

Транзистор для умножителя частоты ум2: **2Т951В** ($K_p=25$). Т.к. каскад работает в режиме удвоения частоты, то

$$K_{\text{рум2}} = K_p / 1,5 = 25 / 1,5 = 16,66.$$

11. Мощность на выходе умножителя частоты **ум1** должна быть:

$$P_{\text{ум1}} = P_{\text{ум2}} / K_{\text{рум2}} = 0,012 / 16,66 = 0,00072 \text{ Вт},$$

а максимальная частота работы ум1 составляет -10 МГц.

Транзистор для умножителя частоты ум1: **2Т951В** ($K_p=25$). Т.к. каскад работает в режиме удвоения частоты, то

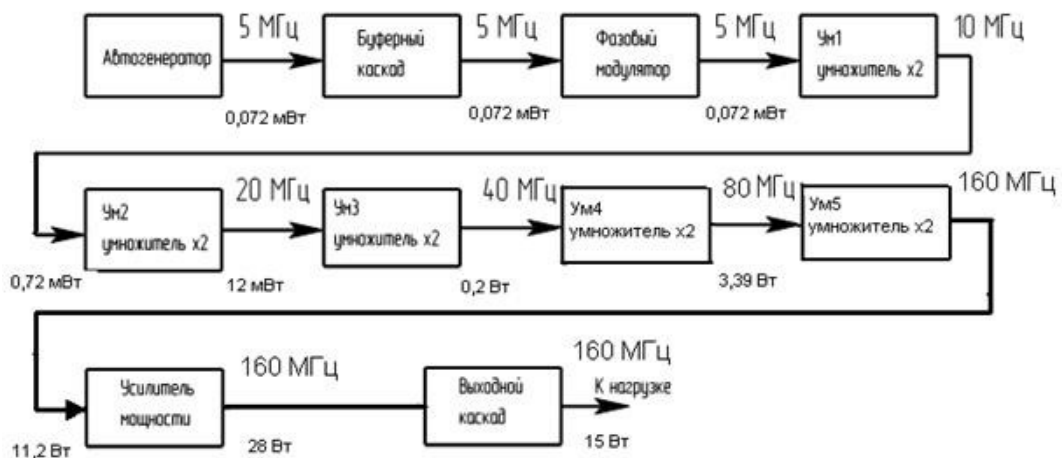
$$K_{\text{рум1}} = K_p / 2,5 = 25 / 2,5 = 10$$

12. Мощность на выходе фазового модулятора должна быть:

$$P_{\text{фм}} = P_{\text{ум1}} / K_{\text{рум1}} = 0,00072 / 10 = 0,000072 \text{ Вт}.$$

Если принять коэффициент передачи фазового модулятора равным единицы, то получается, что мощность автогенератора 0,000072 Вт.

13. Окончательная схема радиопередатчика



Содержание отчета:

1. Полный расчет по примеру со своими исходными данными
2. Вывод

Практическое занятие № 8

Тема: Составление структурной схемы радиоприемника по заданным условиям.

Цель: Составить и вычертить структурную схему радиоприемника

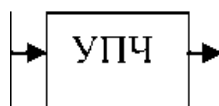
Ход работы:

Исходные данные

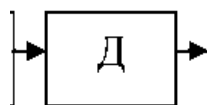
Задание 1

Составить схему радиоприемника соединив блоки в правильном порядке, записать назначение блоков радиоприемника.

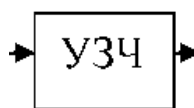
Усилитель промежуточной частоты (УПЧ)-Для усиления частот.



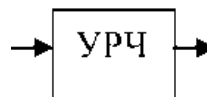
Детектор(Д)- служит для получения напряжения, изменяющегося в соответствии с законом изменения частоты входного сигнала.



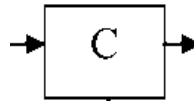
Усилитель звуковой частоты(УЗЧ)-предназначен для усиления звуковой частоты.



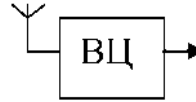
Усилитель радиочастоты (УРЧ) - предназначен для увеличения амплитуды мощности на несущей частоте.



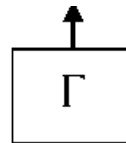
Смеситель (С) - в его основу входит не линейный элемент -при совместном действии сигнала станции и сигнала гетеродина на нелинейных элементах образуются сложные колебания.



Входная цепь (ВЦ) - выделяет заданный сигнал высокой частоты из всех сигналов поступающих из антенны.



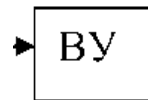
Гетеродин (Г) - это генератор синусоидальных колебаний с постоянной частотой и амплитудой.



Коррелятор(КОР) - производит управление системой бесшумной настройки.



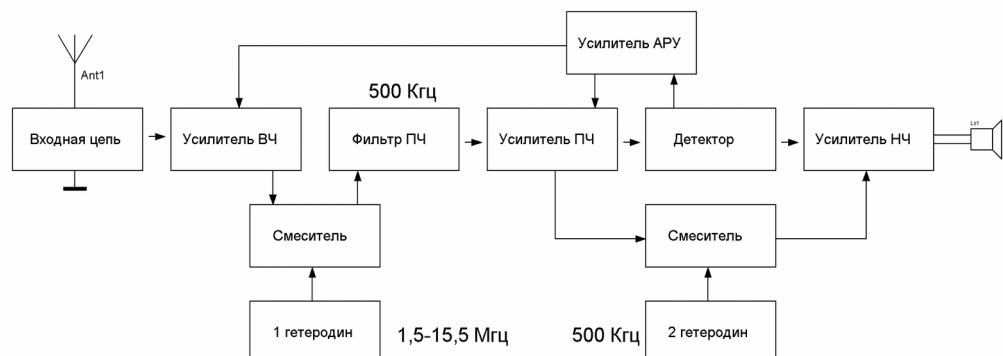
Воспроизводящее устройство(ВУ)-преобразует низкочастотный сигнал в информацию как правило понятную человеку.



Задание 2

Зарисуйте структурную схему радиоприемника Р-311-У.

Опишите принцип работы



Содержание отчета:

1. Задание 1
2. Задание 2

Практическое занятие № 9,10,11

Тема: Расчет дальности радиосвязи в диапазоне гектометровых, метровых и дециметровых волн.

Цель: научиться рассчитывать дальности радиосвязи в разных диапазонах волн.

Исходные данные

Рассчитать высоту установки стационарной антенны h_1 , м из условия обеспечения дальности связи r , км по данным, приведенным в таблице 20.

Исходные данные

Показатели	Вариант
1	2
Дальность связи r , км	Задается преподавателем из диапазона (8÷14) км
Тип трассы, a_t , дБ, K_m , дБ	Задается преподавателем из типов (1÷5) и для выбранного типа определяются a_t , K_m (табл. 3)
Направление распространения радиоволн с направлением трассы железной дороги:	Задается преподавателем для одного из случаев (рис. 55) 1. совпадает 2. не совпадает
Длина фидера стационарной антенны l_1 , м;	Задается преподавателем из диапазона (25-300) м
Длина фидера локомотивной антенны, l_1' , м	Для всех вариантов $l_1' = 5$ м
Вид тяги, $u_{\min}$, дБ	Задается преподавателем из табл. 4
Вид участка, K_{kc} , дБ	Задается преподавателем для одного из случаев: 1. однопутный, $K_{kc} = 1$ дБ 2. двухпутный, $K_{kc} = 2$ дБ
Постоянные затухания фидеров, $\alpha_1 = \alpha_2$, дБ/м	Для всех вариантов $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,1$ дБ/м
Тип стационарной радиостанции,	РС-46МЦ, $P_1 = 10$ Вт

мощность P_1 , Вт	
Тип антенны стационарной радиостанции, коэффициент усиления G_1 , дБ	Выбирается преподавателем из табл. 5
Тип антенны возимой радиостанции, коэффициент усиления G_2 , дБ	Для всех вариантов АЛП/2,3, $G_2 = 0$ дБ

Краткие теоретические сведения

В настоящее время для организации поездной радиосвязи (ПРС) используется гектометровые (2,13 и 2,15 МГц), метровые (151,775; 151,825; 151, 875 МГц) и дециметровые волны (330 МГц). При этом гектометровые и метровые волны при организации ПРС являются основным диапазоном.

Радиосети ПРС, организованные в гектометровом и метровом диапазонах, работают в симплексном режиме, в дециметровом — в дуплексном режиме. При оснащении диспетчерских участков радиостанциями трех диапазонов дециметровый и гектометровый диапазоны волн используются для организации линейных радиосетей, причем дециметровый диапазон волн используется как основной канал связи, а гектометровый — как резервный. Гектометровый диапазон применяется в линейных и зонных радиосетях для радиосвязи с локомотивами, которые не оборудованы радиостанциями дециметрового диапазона волн, метровый — в зонных.

Система ПРС организуется по диспетчерским участкам, протяженность которых может быть в пределах 80... 200 км.

В системе ПРС используется различная локомотивная и стационарная радиоаппаратура. Организация ПРС должна быть осуществлена в двух указанных выше диапазонах частот. В настоящее время нормированный уровень полезного сигнала на перегоне участка не должен быть ниже:

- 70 дБ (3160 мкВ) для возимой радиостанции и 64 дБ (1600 мкВ) для стационарной при электротяге постоянного тока;
- 72 дБ (4000 мкВ) для возимой и 70 дБ (3160 мкВ) для стационарной при электротяге переменного тока;
- 47 дБ (230 мкВ) для возимой 39 дБ (90 мкВ) для стационарной — при автономной (тепловозной) тяге.
- При скоростях более 140 км/час необходимо на входе возимой радиостанции увеличивать напряжение на 3,5 дБ (уровень 0 дБ соответствует 1 мкВ).

При этом обеспечивается нормальное функционирование систем ПРС и отношение сигнал/помеха не менее 2. Из этих соображений и необходимо рассчитывать дальность радиосвязи на перегоне в гектометровом диапазоне. Специалистами связи составлена новая редакция «Правил организации и

расчета сетей ПРС», а также разработана компьютерная программа расчета сетей радиосвязи. Эта программа позволяет рассчитывать дальность радиосвязи, требуемую высоту установки антенн, координационное расстояние, а также формировать частотно-территориальный план радиосетей с обеспечением защиты от помех. Программа расчета характеристик сетей технологической железнодорожной радиосвязи диапазона 160 МГц является приложением к новой редакции «Правил организации и расчета сетей радиосвязи», которая утверждена в ОАО «РЖД».

Обозначения, используемые в расчетах

E'_2 — уровень напряженности поля, отсчитываемый по соответствующей базовой кривой для заданного расстояния (рис. 55), В;

M — высотный коэффициент, который учитывает отличие произведения высот установки антенн от 100 м²; $M = 20 \lg (h_1 h_2 / 100)$, дБ;

B_M — коэффициент мощности, учитывается отличие мощности передатчика P от мощности $P_1 = 1$ Вт, $B_M = 10 \lg (P/P_1)$, дБ;

h_1 — высота установки стационарной антенны, м;

h_2 — высота установки антенны локомотивной радиостанции (РВ — радиостанция возимая), $h_2 = 5$ м;

h_2'' — высота антенны носимой радиостанции (РН — радиостанция носимая), $h_2 = 1,5$ м;

l_1 — длина фидера стационарной антенны, м;

l_2' — длина фидера локомотивной антенны, $l_2' = 5$ м;

l_2'' — длина фидера носимой радиостанции, м;

K_n — коэффициент, учитывающий наличие интерференционных волн в пространстве. В расчетах его значение рекомендуется принимать на вероятностном уровне 90 % с тем, чтобы обеспечить качество связи не хуже удовлетворительного ($K_n = 1,5$ дБ — для неэлектрифицированных участков, $K_n = 5$ дБ — для электрифицированных);

K_v — коэффициент, учитывающий колебания напряженности поля (суточные и сезонные) из-за изменения рефракции в тропосфере. В расчетах его значение рекомендуется принимать на вероятностном уровне 90 % с тем, чтобы обеспечить качество связи не хуже удовлетворительного ($K_v = 1,8$ дБ);

K_{kc} — коэффициент ослабления напряженности поля контактной сетью (для однопутного участка — $K_{kc} = 1$ дБ, для двухпутного — $K_{kc} = 2$ дБ);

K_s — коэффициент экранирования, учитывающий ослабление напряженности электрического поля, вызванное влиянием металлической крыши и наличием в месте возимой антенны различного оборудования. Значения K_s для антенны АЛП/2,3 приведены таблице 21.

Значения K для антенны АЛП/2,3

Подвижный объект	K , для антенны АЛП/2,3, дБ
Электровозы переменного тока	3
Электровозы постоянного тока	2
Тепловозы	0

g_2 — коэффициент, учитывающий преобразование напряженности поля ВЧ-сигнала в напряжение в точке соединения приемной антенны с фидером, $g_2 = 12$ дБ;

α_1, α_2 — постоянные затухания приемного кабеля в фидере, дБ/м.

a_t — коэффициент, учитывающий условия распространения радиоволн на конкретной трассе радиосвязи, дБ (табл. 22);

K_m — коэффициент, учитывающий медленные колебания напряженности поля вследствие изменения рельефа местности и зависящий от типа трассы, дБ (табл. 22)

Зависимости коэффициентов a_t и K_m от типа трассы

Тип трассы	1	2	3	4	5
a_t , дБ	3,4	0	-3,4	-6,8	-10,2
K_m , дБ	2	3	4	5	6

u_{2min} — минимальный уровень полезного сигнала, дБ (табл. 23)

Минимальный уровень полезного сигнала u_{2min}

Вид тяги	Минимальный уровень полезного сигнала u_{2min} входе приемника радиостанции РВ, дБ, (1 мкВ), для вероятности связи, равной 95 % по месту и времени
Автономная тяга	6
Электрическая тяга постоянного тока при скорости движения до 120 км/ч	8
Электрическая тяга переменного тока при автономной тяге	16

G_1 — коэффициент усиления передающей антенны, дБ и

G_2 — коэффициент усиления приемной антенны, дБ (табл. 24).

Коэффициент усиления ненаправленных антенн

Наименование стационарной антенны	Коэффициент усиления G , дБ
-----------------------------------	-------------------------------

АСП-1/160	0
АСП-2/160	4
АС П-4/160	6

$B_{рн}$ — коэффициент, учитывающий влияние трассы (табл. 25).

Значения коэффициентов $B_{рн}$

Участок	$B_{рн}$, дБ	
	Открытая трасса	Закрытая трасса
1	2	3
Неэлектрифицированный	4	10
Электрифицированный		
на постоянном токе	0	2
на переменном токе	0	0

Базовые кривые распространения радиоволн

Дальность связи между радиостанциями должна рассчитываться на основе базовых кривых распространения (рис. 57), представляющих собой графические зависимости медианного значения напряженности электрического поля E_2 от расстояния r между точкой приема и источником излучения на вероятностном уровне, превышаемом 50 % по месту и времени. Кривые приведены для следующих условий: $h_1/h_2 = 100 \text{ м}^2$ (кривые 1 и 2) — произведение высот установки стационарной и возимой антенн над поверхностью земли; $h_1/h_2 = 25 \text{ м}^2$ (кривая 3) — произведение высот установки возимых антенн; $P_1 = 1 \text{ Вт}$ — мощность передатчика. Расстояние r должно отсчитываться по прямой линии.

Кривая 1 соответствует случаю, когда направление распространения радиоволн совпадает с направлением трассы железной дороги. Кривая 2 соответствует случаю, когда направление связи не совпадает с трассой железной дороги. Кривая 3 используется при расчете дальности связи между локомотивами.

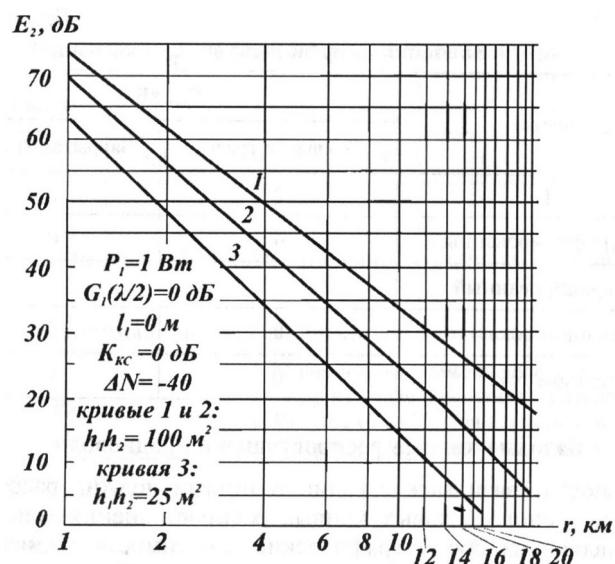


Рис. 57. Базовые кривые распространения

Порядок выполнения

Порядок выполнения задания рассмотрим на примерах.

1. Рассчитайте высоту установки стационарной антенны h_1 , м из условия обеспечения дальности связи r , км согласно следующих данных (табл. 26):

Исходные данные

Показатели	Вариант
Дальность связи r , км	12
Тип трассы, a_t , дБ, K_m , дБ	Тип трассы — 2 $a_t = 0$ дБ (по табл. 3) $K_m = 3$ дБ (по табл. 3)
Направление распространения радиоволн с направлением трассы железной дороги:	Совпадает (рис. 56, кривая 1)
Длина фидера стационарной антенны l_1 , м;	31
длина фидера локомотивной антенны, l_2 , м	5
Вид тяги, u_{2min} , дБ	Переменного тока при автономной тяге
Вид участка, K_{kc} , дБ	Двухпутный, $K_{kc} = 2$ дБ
Постоянные затухания фидеров, $\alpha_1 = \alpha_2$, дБ/м	$\alpha_1 = \alpha_2 = 0,1$ дБ/м
Тип стационарной радиостанции, МОЩНОСТЬ P_1 , Вт	РС-46МЦ, $P_1 = 10$ Вт
Тип антенны стационарной радиостанции,	АСП-1/160,

коэффициент усиления G_1 , дБ	$G_1 = 0$ дБ (по табл. 5)
Тип антенны возимой радиостанции, коэффициент усиления G_2 , дБ	АЛП/2,3, $G_2 = 0$ дБ

1.1. Из таблицы 23 определите минимальный уровень полезного сигнала $M_{2T|П.}$ для участка с электротягой переменного тока $\wedge 2 \min 16$ дБ.

1.2. Определите E_2 по кривой 2 — трасса железной дороги совпадает с направлением распространения радиоволн (рис. 57).

При $r = 12$ км $E_2 = 21,2$ дБ.

1.3. Из формулы

$$E_2 = u_2 - a_T - B_M - G_1 - G_2 - M + a_1 l_1 + a_2 l_2 + K_3 + K_{KC} + g_2 + K_{II} + K_B + K_M$$

выразите значение высотного коэффициента M при $u_2 = u_{2\min}$. $M = u_{2\min} - E_2 - a_T - B_M - G_1 - G_2 + a_1 l_1 + a_2 l_2 + K_3 + K_{KC} + g_2 + K_{II} + K_B + K_M$

По заданным условиям определите все необходимые поправочные коэффициенты, указанные в формуле п. 1.3.

1.4. Из таблицы 3 для трассы 2 значения $a_m = 0$ дБ; $K_M = 3$ дБ.

1.5. Коэффициент экранирования для электровазов переменного тока $K_3 = 0$ дБ (табл. 21).

1.6. Согласно обозначениям, используемым в расчетах, запишите значения:

- коэффициент ослабления напряженности поля контактной сетью $K_{KC} = 2$ дБ (участок двухпутный);
- коэффициент, учитывающий наличие интерференционных волн в пространстве $K_{II} = 5$ дБ (электрофицированная железная дорога);
- коэффициент, учитывающий колебания напряженности поля $K_B = 1,8$ дБ.
- коэффициент мощности B_M , учитывающий отличие мощности передатчика P_1 от мощности P_1' .

$$B_M = 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_1'} \right)$$

$$B_M = 10 \lg \left(\frac{10}{1} \right) = 10 \text{ дБ}$$

1.7. Зная все поправочные коэффициенты, вычислите значение высотного коэффициента M

$$M = 16 - 31,2 - 0 - 10 - 0 - 0 - 0,1 - 31 + 0,1 - 5 + 3 + 212 + 5 + 1,8 + 3 = 5,2 \text{ дБ}$$

1.8. Из формулы $M = 20 \lg \left(\frac{h_1 h_2}{100} \right)$ выразите h_1 :

$$h_1 = \frac{10^{\frac{M}{20}} \cdot 100}{h_2}$$

$$h_1 = \frac{1,82 \cdot 100}{5} = 36,4 \text{ м}$$

Результаты расчета показывают, что для обеспечения требуемой дальности радиосвязи на данном участке необходимо использовать направленную антенну, установленную на высоте $h_1 = 36,4$ м.

2. Определите дальность радиосвязи r , км между машинистами электровозов на участке по данным, приведенным в таблице 27.

Исходные данные

Показатели	Вариант
Тип трассы, a_t , дБ, K_m , дБ	Тип трассы — 1 $a_t = 3,4$ дБ (по табл. 3) $K_m = 2$ дБ (по табл. 3)
длина фидера локомотивной антенны, l_2' , м	Для всех вариантов $l_2 = 5$ м
Вид тяги, $u_{2\min}$, дБ	Электрическая тяга переменного тока
Постоянные затухания фидера, α_2 , дБ/м	Для всех вариантов $\alpha_2 = 0,1$ дБ/м
Тип антенны возимой радиостанции, коэффициент усиления G_2 , дБ	Для всех вариантов АЛП/2,3, $G_2 = 0$ дБ
Мощность возимой радиостанции P_1 , Вт	Для всех вариантов $P_1 = 10$ Вт

2.1. Из таблицы 23 определите $u_{2\min}$ для участка с электротягой переменного тока $u_{2\min} = 16$ дБ.

2.2. Рассчитайте E_2 при условии $u_2 = u_{2\min}$

$$E_2 = u_{2\min} - a_t - B_m - 2 G_2 + 2 \alpha_2 l_2 + 2 K_9 + g_2 + K_n + K_b + K_m$$

По заданным условиям определите все необходимые поправочные коэффициенты, указанные в формуле:

- из таблицы 22 для трассы 1 значения $a_t = 3,4$ дБ; $K_m = 2$ дБ;
- для электровозов переменного тока значение $K_9 = 3$ дБ (табл. 21).
- согласно обозначения, используемые в расчетах, $K_u = 5$ дБ

(электрифицированная железная дорога); $K_b = 1,8$ дБ.

$$B_m = 10 \lg\left(\frac{10}{1}\right) = 10 \text{ дБ}$$

$$E_2 = 16 - 3,4 - 10 - 2 - 0 + 2 - 0,1 - 5 + 2 - 3 + 12 + 5 + 1,8 + 2 = 30,4 \text{ дБ.}$$

2.3. По кривой 3 рис. 55 определите дальность связи между локомотивами: $z = 4,9 \text{ км.}$

3. Определите дальность радиосвязи между носимой и возимой радиостанциями (РН—РВ) по данным, приведенным в таблице 28.

Исходные данные

Показатели	Вариант
Вид тяги, $u_{\min}$, дБ	Автономная тяга
Длина фидера антенны носимой радиостанции l_1 м;	$l_1 = 0$
Длина фидера локомотивной антенны, l_2 , м	$l_2 = 5 \text{ м}$
Постоянная затухания фидера антенны возимой радиостанции, α_2 , дБ/м	$\alpha_2 = 0,1 \text{ дБ/м}$
Коэффициент усиления антенны носимой радиостанции G_1 дБ	$G_1 = -2 \text{ дБ}$
Тип антенны возимой радиостанции, коэффициент усиления G_2 , дБ	АЛП/2,3, $G_2 = 0 \text{ дБ}$
Тип участка и вид трассы	Неэлектрифицированный, закрытая трасса
Высотный коэффициент М	Для всех вариантов АЛП/2,3, $M = -10,46 \text{ дБ}$

3.1. Из таблицы 23 определите $u_{2\min}$ для участка с автономной тягой $u_{2\min} = 6 \text{ дБ.}$

3.2. Рассчитайте E_2 при условии $u_2 = u_{2\min}$

$$E_2 = u_{2\min} - B_m - G_1 - G_2 - M + \alpha_2 l'_2 + K_s + g_2 + K_n + K_v + B_{\text{РН}}$$

По заданным условиям определите все необходимые поправочные коэффициенты, указанные в формуле:

- для электровозов переменного тока значение $K_s = 3 \text{ дБ}$ (табл. 21).
- согласно обозначениям, используемым в расчетах,

$K_n = 1,5 \text{ дБ}$ (неэлектрифицированная железная дорога);

$K_v = 1,8 \text{ дБ.}$

— для неэлектрифицированного участка и закрытой трассы $B_{\text{РН}} = 10 \text{ дБ}$ (табл. 8).

$$E_2 = 6 - 10 + 2 - 0 + 10,46 + 0,1 \cdot 5 + 2 + 12 + 1,5 + 1,8 + 10 = 36,26 \text{ дБ}$$

3.3. По кривой 3 рис. 57 определите дальность связи между *носимой и возимой радиостанциями (РН—РВ)*: $z = 3,8$ км.

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель работы.
2. Исходные данные
3. Расчет высоты установки стационарной антенны, расчет дальность радиосвязи между машинистами электровозов на участке, носимой и возимой радиостанциями (РН-РВ).
4. Расчет высоты установки стационарной антенны, расчет дальность радиосвязи между машинистами электровозов на участке, носимой и возимой радиостанциями (РН-РВ).
5. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Укажите, какой диапазон частот является основным для организации ПРС.
2. Назовите нормативный уровень полезного сигнала при электротяге постоянного и переменного тока.
3. Поясните понятия «симплексный режим» и «дуплексный режим».
4. Объясните, для чего вводят поправочные коэффициенты при расчете дальности радиосвязи.
5. Поясните, что показывает величина коэффициента сложности трассы.