

## Определение полярности и напряжения в электронных блоках и схемах

Определение величины напряжения посредством его измерения является наиболее эффективной формой поиска неисправности в электронных схемах (рис. 4.1, а). Если мы *измеряем ток*, то электрическая цепь, а соответственно и линия, по которой проходит ток, должна быть разомкнута для подключения прибора (рис. 4.1, б). Прежде всего, в печатных платах это слишком затруднительно и способствует снижению их качества, поскольку необходимо разрезать проводник. *Измерение сопротивления* можно проводить только в обесточенном состоянии (рис. 4.1, в). Кроме того, подвергающийся измерению сопротивления элемент должен с одной стороны быть отсоединен от схемы, иначе близлежащие соединенные с ним конструктивные элементы искажают результат измерения.

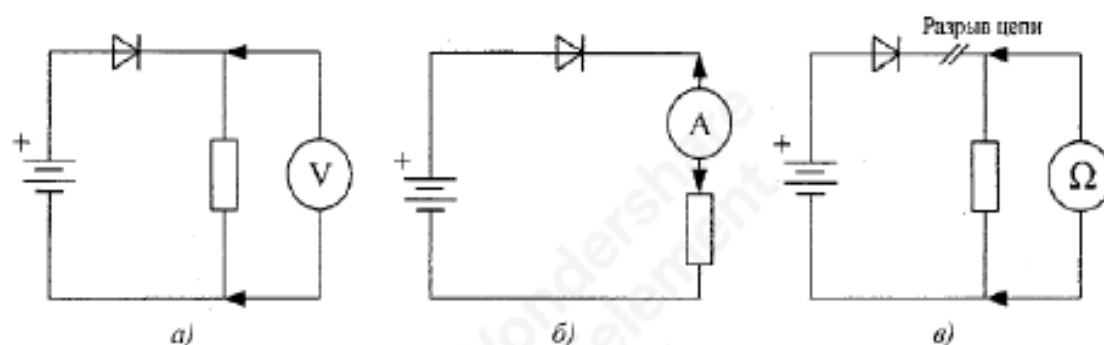


Рис. 4.1. Измерения в электрической цепи: измерение напряжения (а); тока (б); сопротивления (в)

## 4.2. Неисправности в электрической цепи

Для начала в качестве примера поиска неисправности с помощью *измерения напряжения* рассмотрим простую электрическую цепь, представленную на рис. 4.2.

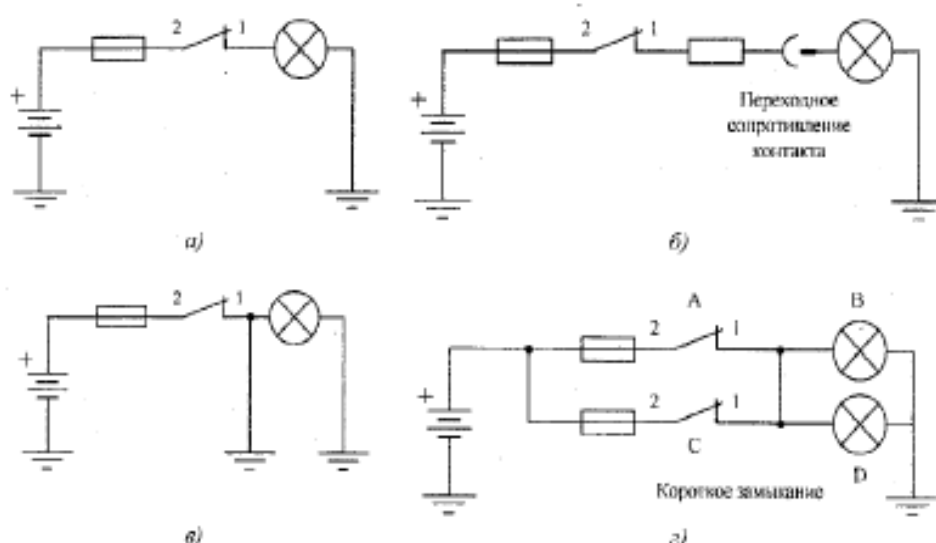


Рис. 4.2. Неисправность в электрической цепи: элементы электрической цепи (а); переходное сопротивление контакта в электрической цепи (б); короткое замыкание относительно опорного потенциала (в); короткое замыкание между двумя электрическими цепями (г)

При проверке неисправных электрических цепей существует правило, по которому перед включением вначале выполняется визуальный осмотр электрической системы, в том числе осуществляется:

- ☐ проверка электрической цепи на наличие неизолированных проводов, которые могут коротко замкнуть элемент схемы на опорный потенциал (потенциал земли) или на напряжение питания, а также могут привести к контакту с другим элементом;
- ☐ проверка наличия и степени износа изоляции с целью исключения возможности короткого замыкания;
- ☐ проверка наличия незакрепленных или неисправных электрических контактов и соединений, прежде всего электрических разъемов;
- ☐ проверка контактов, предназначенных для подключения напряжения питания, проверяют на коррозию и прочность соединения;
- ☐ проверка функционирования сигнальных лампочек и светодиодов;
- ☐ кратковременное периодическое включение и выключение напряжения питания в электрической цепи или схеме. Следует обратить внимание на нагревание, искрение, дым или запах, которые могут быть признаками короткого замыкания или перегрева вследствие перегрузки.

Короче говоря, используйте собственные *глаза, нос и уши*, чтобы определить, нет ли чего-нибудь необычного.

К сожалению, только малую часть возможных причин возникновения аварии можно определить с помощью органов чувств. Поэтому необходима систематизированная, методичная и полная проверка функционирования устройства.

В простой электрической цепи возможны только три существенные причины неисправности, при условии, что все соединения безупречны, и нет никаких коротких замыканий:

- ☐ имеется элемент цепи с внутренним коротким замыканием;
- ☐ присутствует завышенное внутреннее сопротивление элемента;
- ☐ имеется разрыв внутри элемента.

На рис. 4.3, *а* показан диод, включенный в электрическую цепь в прямом направлении, с типичным напряжением на нем  $U = 0,8 \text{ В}$ . На добавочный резистор  $R$  остается все остальное напряжение  $U = 4,2 \text{ В}$  при напряжении источника  $5 \text{ В}$ .

На рис. 4.3, *б* показана цепь при коротком замыкании в диоде, вследствие чего при измерении напряжений на диоде будет  $0 \text{ В}$ , а на резисторе  $R$  все  $5 \text{ В}$ .

На рис. 4.3, *в* представлен случай внутреннего обрыва в диоде, вследствие чего электрическая цепь будет разорвана, и тока в ней не будет, поэтому как до, так и после сопротивления  $R$  напряжение будет равно  $5 \text{ В}$ . Поскольку ток в цепи не протекает, то падение напряжения на сопротивлении составляет  $0 \text{ В}$ .

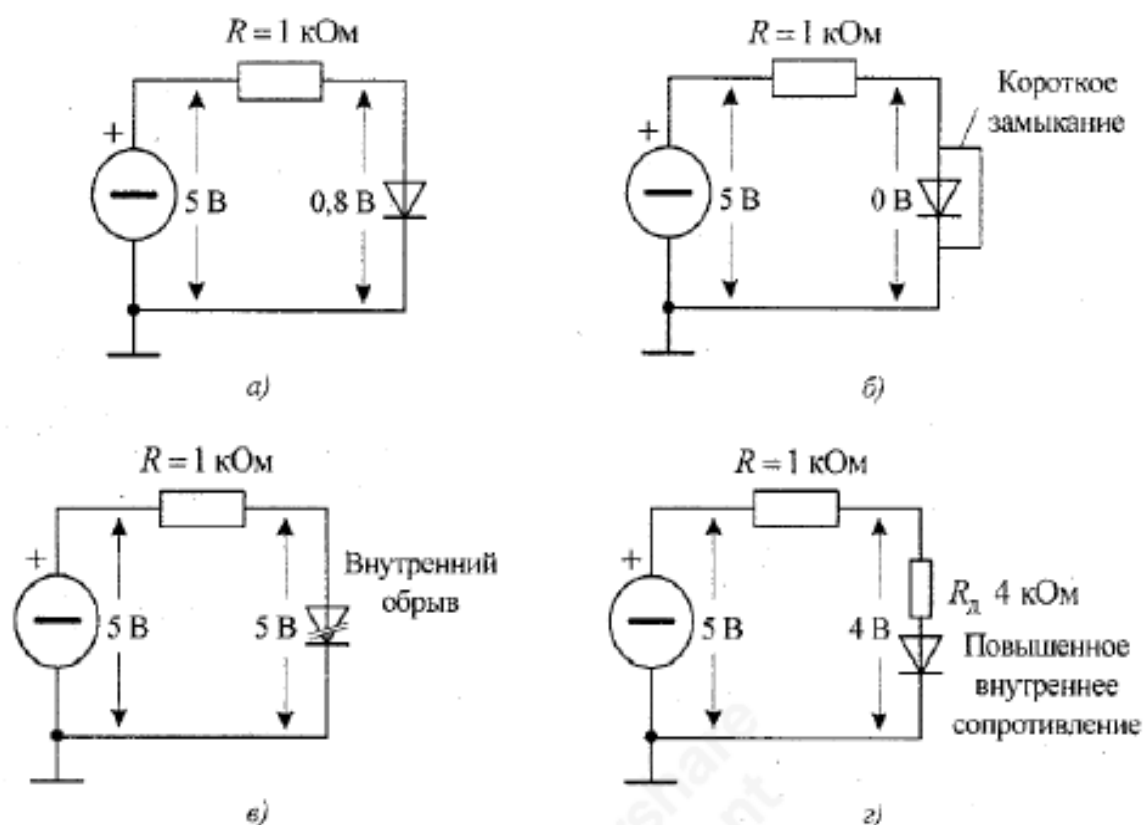


Рис. 4.3. Диод в электрической цепи: а) напряжения в исправной электрической цепи; б) напряжения при коротком замыкании в неисправном диоде; в) напряжения при повышенном сопротивлении перехода неисправного диода

Последний рис. 4.3, г иллюстрирует электрическую цепь с повышенным сопротивлением  $p$ - $n$ -перехода в неисправном диоде, которое равно  $4 \text{ кОм}$ . Вследствие этого приложенное напряжение распределяется между неисправным диодом и добавочным резистором в соотношении  $1:4$ . В этом случае измеренное на диоде напряжение будет равно  $4 \text{ В}$ . Разница между приложенным ( $5 \text{ В}$ ) и измеренным на диоде ( $4 \text{ В}$ ) напряжением падает на резисторе ( $1 \text{ В}$ ).

*Не забудьте!* Напряжение всегда следует измерять относительно общего опорного потенциала. Разность напряжений измеряется между двумя произвольно выбранными точками, например, прямо над конструктивным элементом.

На рис. 4.4 представлена схема с конструктивным элементом, имеющим три вывода, в данном случае — транзистором. В схеме транзистор включен сразу в две электрические цепи: электрическую цепь на входе (также ее называют цепью управления) и электрическую цепь на выходе (цепь рабочего тока). При проверке предположительно неисправного транзистора целесообразно исследовать функционирование обеих этих цепей.

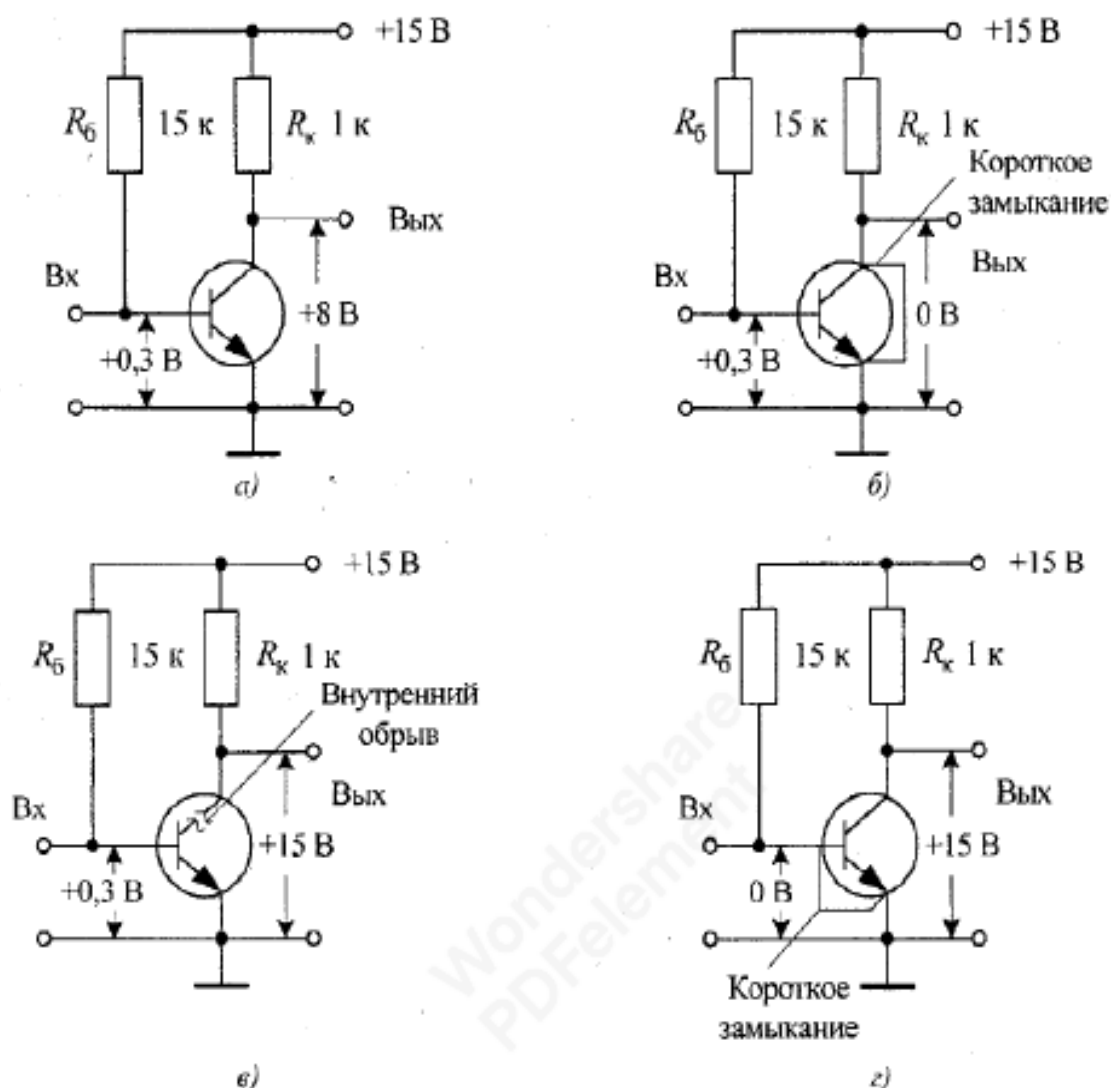


Рис. 4.4. Электрическая схема на транзисторе: а) напряжения в исправной схеме; б) напряжения с коротким замыканием перехода коллектор-эмиттер транзистора; в) напряжения при внутреннем обрыве в переходе коллектор-эмиттер; г) короткое замыкание в переходе база-эмиттер транзистора

На рис. 4.4, а указаны напряжения входной и выходной электрической цепи исправного каскадного усилителя. Напряжение  $U_{\text{б}} = 0,3 \text{ В}$  на базе — это *напряжение рабочей точки*, которое определяется сопротивлением резистора базы  $R_{\text{б}}$ , при этом напряжение на коллекторе составляет около половины напряжения питания, т. е.  $8 \text{ В}$ .

На рис. 4.4, б представлен каскадный усилитель с коротким замыканием между коллектором и эмиттером транзистора. Практически получается, что и выход также замкнут накоротко и измеренное напряжение на коллекторе (выходе схемы усилителя) будет равно  $0 \text{ В}$  (сравните с диодной электрической цепью на рис. 4.3). Все напряжение питания  $U = +15 \text{ В}$  падает на сопротивлении резистора коллектора  $R_{\text{к}}$ .

На рис. 4.4, в приведена схема, демонстрирующая ~~внутренний обрыв между~~ коллектором и эмиттером транзистора. В этом случае эмиттерно-коллекторная цепь разорвана, тока в ней нет. Если измерить напряжение на коллекторе, то оно будет равно полному напряжению питания  $U = +15$  В.

На рис. 4.4, г показан каскадный усилитель с коротким замыканием между базой и эмиттером. Этот дефект в цепи управления идентичен диодной электрической цепи на рис. 4.3, б, поскольку транзистор между базой и эмиттером функционирует подобно диоду. Поэтому измеренное напряжение на базе будет равно  $U_{\text{б}} = 0$  В. Поскольку в этом случае для транзистора не обеспечена нормальная рабочая точка, то тока в коллекторно-эмиттерной цепи также не будет. Следовательно сопротивление перехода между эмиттером и коллектором транзистора будет очень большим (стремится к бесконечности), а измеренное на коллекторе напряжение  $U_{\text{к}}$  равно +15 В.

Изложенные в этих двух примерах сведения могут быть использованы при работе с любыми 2- и 3-полюсными полупроводниковыми элементами электрической цепи, в том числе и с полевыми транзисторами (например, МОП и КМОП), а также с диодами *p-n-p-n*-структуры, т. е. тиристорами и симисторами.

В случае использования резисторов, конденсаторов и индуктивностей существует также три причины их неисправности. Это короткое замыкание, внутренний обрыв и большое переходное сопротивление контакта. При этом всегда можно применить типовую методику выявления этих неисправностей.

### **4.3. Точка, взятая в качестве опорного потенциала, определяет полярность и значение напряжений**

Если для выявления неисправности в электрической цепи мы используем замеры напряжения и хотим на основании полученных данных прийти к верному выводу, необходимо правильно проводить измерения напряжений. При этом должна учитываться точка, выбранная в качестве *опорного* или иначе *базового потенциала*. Не всегда, как показывает следующий пример на рис. 4.5, потенциал "земли" является опорным потенциалом. На приведенной схеме входное напряжение  $U_{\text{вх}} = 24$  В разделяется посредством делителя, выполненного на двух резисторах  $R_1$  и  $R_2$ .

Если выбрать в качестве опорного потенциала для прибора М1, измеряющего напряжение, соединение между двумя одинаковыми по величине сопротивлениями резисторов  $R_1$  и  $R_2$  (рис. 4.5), то у верхнего по схеме вывода резисто-

ра  $R_1$  будет положительное напряжение (+12 В), а у нижнего вывода резистора  $R_2$  — отрицательное напряжение (–12 В). По-другому обстоит дело, если в качестве опорной для измерительного прибора М2 выбирают нижнюю по схеме точку резистора  $R_2$ . Тогда в средней соединительной точке резисторов  $R_1$  и  $R_2$  будет напряжение +12 В, а в верхней точке схемы +24 В. Если в качестве опорного потенциала для измерительного прибора М3 выбрать верхнюю по схеме точку, тогда в средней точке измеренное напряжение будет составлять –12 В, а в нижней –24 В.

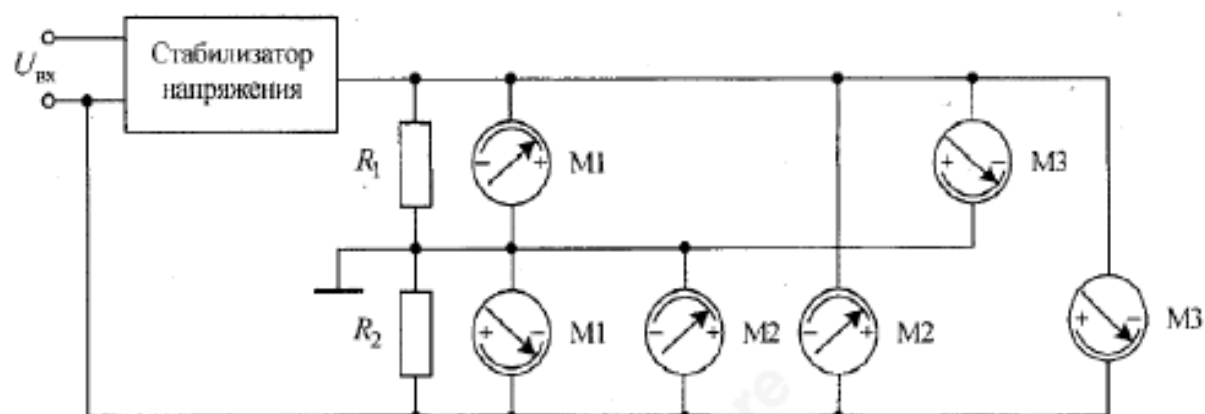


Рис. 4.5. Определение напряжения относительно опорного потенциала

Как правило, для измерительного прибора опорный потенциал выбирают таким образом, чтобы он образовывал опорный потенциал для всей проверяемой схемы. Это помогает избежать путаницы и ошибочных интерпретаций при измерении напряжения.

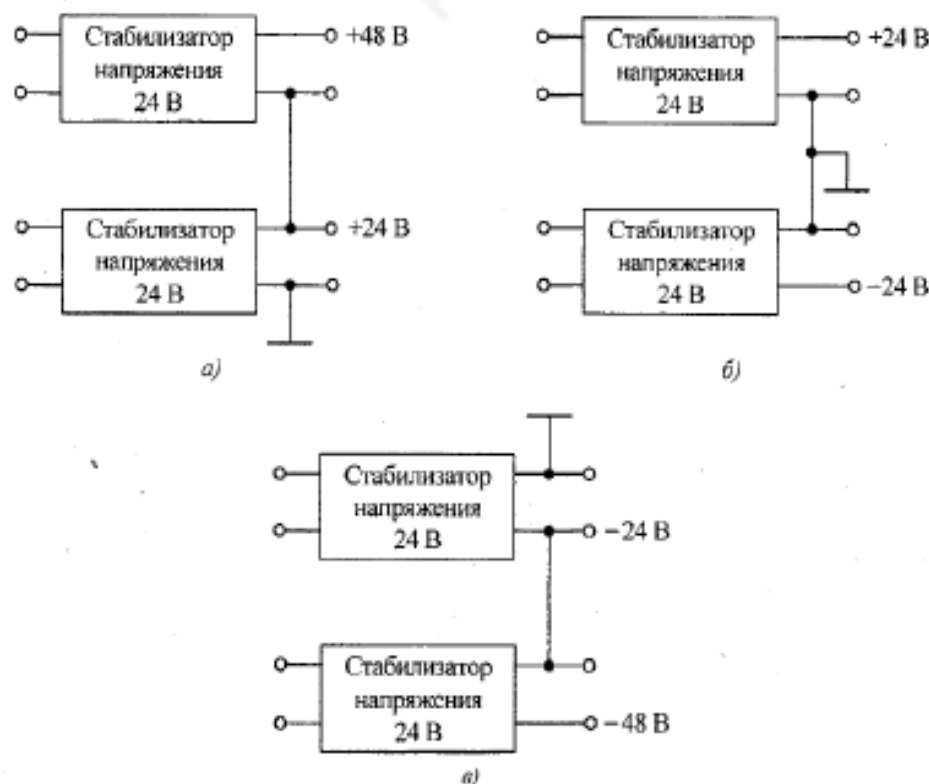


Рис. 4.6. Зависимость выходных напряжений схемы от выбора опорного потенциала

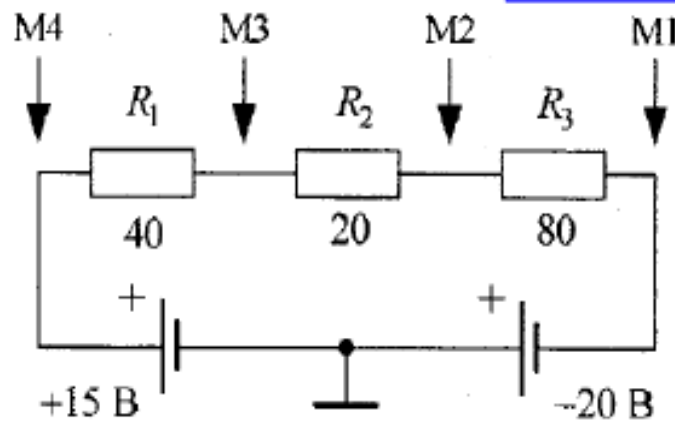


Рис. 4.7. Последовательное соединение нагрузки и источников питания

Величины сопротивлений резисторов  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  соотносятся друг к другу как 2:1:4.

В таком же соотношении будет распределяться общее напряжение  $U_{\text{общ}} = 15 \text{ В} + 20 \text{ В} = 35 \text{ В}$ :

$$U_{R1} = 10 \text{ В}, U_{R2} = 5 \text{ В}, U_{R3} = 20 \text{ В}.$$

Учитывая опорный потенциал, значения напряжения, измеренные в отдельных точках схемы, будут иметь следующее значение и полярность:

$$\text{"M1"} = -20 \text{ В}, \text{"M2"} = 0 \text{ В}, \text{"M3"} = +5 \text{ В}, \text{"M4"} = +15 \text{ В}.$$

Таким образом,  $R_3$  находится между "M1" и "M2" (-20 В),  $R_2$  расположено между "M2" и "M3" (+5 В),  $R_1$  между "M3" и "M4" (+10 В).

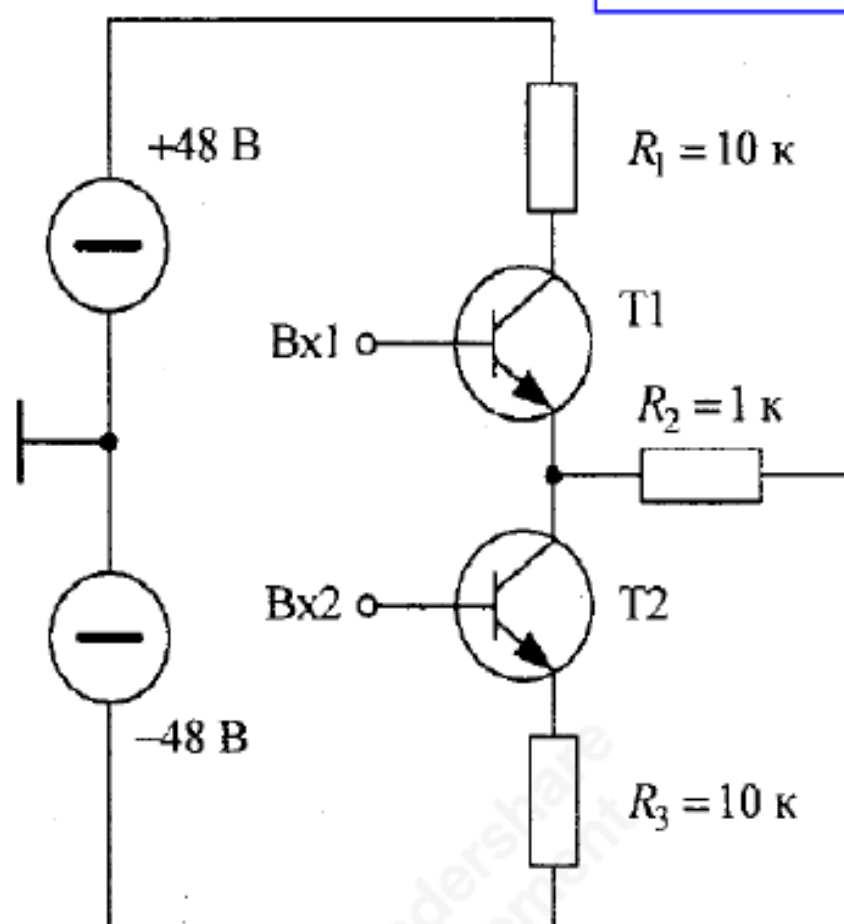
Если бы опорный потенциал располагался в точке "M1", то в результате измерений были бы получены другие значения: "M1" = 0 В, "M2" = +20 В, "M3" = +25 В и "M4" = +35 В.

## 4.4. Примеры определения полярности и напряжений

В предыдущих примерах было показано, как определять полярность и напряжение в простых электрических цепях. На рис. 4.8 представлена более сложная электрическая цепь с двумя источниками питания и двумя транзисторами, которые включаются и выключаются посредством напряжений на входах Vx1 и Vx2.

Прежде всего, рассмотрим функциональные возможности этой цепи. Данная цепь имеет четыре состояния:

1. Оба транзистора выключены или иначе закрыты.
2. Транзистор T1 включен или иначе открыт, т. е. проводит ток, транзистор T2 выключен (закрыт).
3. Транзистор T1 выключен (закрыт), транзистор T2 включен (открыт), т. е. проводит ток.
4. Оба транзистора включены (открыты), т. е. проводят ток.



**Рис. 4.8. Транзисторный каскад  
с последовательным соединением источников питания**

В данном примере следует обратить внимание на то, какие напряжения будут характеризовать функционирование представленной электрической цепи, и какие значения они будут принимать в каждом из четырех возможных состояний.

Здесь целесообразно обратить внимание на величину напряжения на коллекторе T1 —  $U_{K_{T1}}$ , на эмиттере T2 —  $U_{Э_{T2}}$  и на резисторе  $R_2$  —  $U_{R_2}$ . Величину питающего напряжения для каждого функционального состояния рассматриваемой электрической цепи принимаем стабильным +48 В и –48 В.

Для первого функционального состояния, при котором оба транзистора закрыты, получаем следующие ориентировочные значения напряжений:

$$U_{K_{T1}} = +48 \text{ В}$$

$$U_{Э_{T2}} = -48 \text{ В}$$

$$U_{R_2} = 0 \text{ В}$$

В этом случае можно принять, что закрытые транзисторы имеют достаточно высокое сопротивление перехода, а сопротивлениями резисторов  $R_1$  и  $R_3$  можно пренебречь.

Для второго функционального состояния, когда T1 открыт, а T2 закрыт, получаем следующие значения напряжений:

$$U_{K_{T1}} = +4,7 \text{ В}$$

$$U_{Э_{T2}} = -48 \text{ В}$$

$$U_{R_2} = +4,6 \text{ В}$$

Для третьего состояния, при котором T1 закрыт, а T2 открыт (пропускает ток), имеем:

$$U_{K_{T1}} = +48 \text{ В}$$

$$U_{Э_{T2}} = -4,7 \text{ В}$$

$$U_{R_2} = -4,6 \text{ В}$$

Результаты измерений для второго и третьего состояния идентичны, отличаются только знаком, т. к. в обоих случаях только одно напряжение питания порождает электрический ток.

В четвертом функциональном состоянии оба транзистора открыты (пропускают ток). В этом случае получаем следующие значения напряжений:

$$U_{K_{T1}} = +0,1 \text{ В}$$

$$U_{Э_{T2}} = -0,1 \text{ В}$$

$$U_{R_2} = 0 \text{ В}$$

Этот результат объясняется тем, что в данном случае оба напряжения питания могут порождать электрический ток, который в пропускающих ток транзисторах вызывает напряжение насыщения примерно 0,1 В.

На сопротивлении  $R_2$  происходит компенсация токов вследствие противоположности знаков напряжения, поэтому на резисторе напряжение равно нулю.

После того как мы получили информацию о функционировании данной схемы, нам не составит труда выявить в ней неисправность посредством измерения напряжений.

Для начала составим сводную таблицу результатов с учетом четырех функциональных состояний:

| Состояние | $U_{K_{T1}}, \text{ В}$ | $U_{Э_{T2}}, \text{ В}$ | $U_{R_2}, \text{ В}$ |
|-----------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1         | +48                     | -48                     | 0                    |
| 2         | +4,7                    | -48                     | +4,6                 |
| 3         | +48                     | -4,7                    | -4,6                 |
| 4         | +0,1                    | -0,1                    | 0                    |

Из этой таблицы, к примеру, видно, что напряжение на  $R_2$  равное 0 В возникает только тогда, когда напряжения на входах одинаковые.

Используя полученные знания, сопоставим их с результатами измерений, представленными ниже, в результате чего сразу можно определить неисправный элемент:

| Состояние | $U_{K_{T1}}, \text{В}$ | $U_{Э_{T2}}, \text{В}$ | $U_{R_2}, \text{В}$ |
|-----------|------------------------|------------------------|---------------------|
| 1         | +4,7                   | -48                    | +4,6                |
| 2         | +4,7                   | -48                    | +4,6                |
| 3         | +0,1                   | -0,1                   | 0                   |
| 4         | +0,1                   | -0,1                   | 0                   |

Обратите внимание, что значения напряжений в первом функциональном состоянии неисправной схемы идентичны напряжениям для второго состояния исправной, когда транзистор Т1 открыт. Напряжения третьего функционального состояния неисправной схемы идентичны напряжениям четвертого состояния исправной, когда оба транзистора открыты.

В первом и третьем состояниях транзистор Т1 должен быть закрыт, однако таблица напряжений показывает, что транзистор Т1 постоянно открыт.

Сравнение с рис. 4.4 наводит на мысль, что в данном случае имеет место короткое замыкание между эмиттером и коллектором транзистора Т1.

При сравнении значений в таблицах мы исходили из равных значений напряжения, однако на практике эти значения могут расходиться с учетом допустимых отклонений конструктивных элементов до 100 мВ.

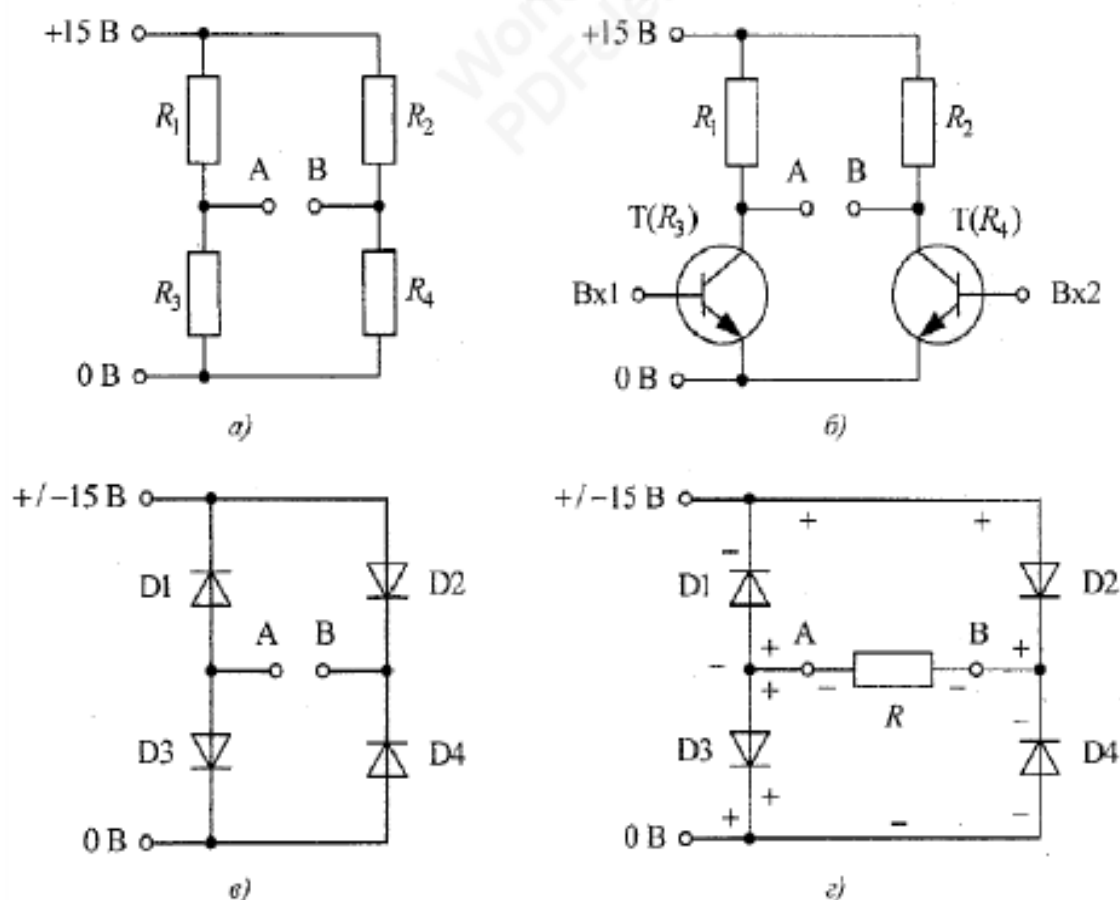


Рис. 4.9. Мостовые схемы: а) сопротивлений; б) транзисторов; в) диодов; г) диодов с сопротивлением нагрузки

Как известно, в мостовых схемах между точками "А" и "В" напряжение равно нулю, если все сопротивления элементов моста одинаковы по величине, либо если две ветви моста с последовательным соединением элементов имеют одинаковое отношение значений сопротивлений.

В данном случае речь идет не о точных значениях, а о приблизительном их определении, которое соответствовало бы функциональным характеристикам схемы. Мы уже говорили о том, что пределы допуска для полупроводниковых элементов составляют 20—30%. Примем следующие соглашения:

- если мы говорим о напряжении только на одном электроде или в точке, то это напряжение измеряется относительно опорного потенциала и обозначается подобным образом:  $U_K$ ,  $U_B$ ;
- если речь идет о напряжении между двумя электродами, то используются следующие обозначения:  $U_{БЭ}$  или  $U_{КЭ}$ ;
- если один из электродов расположен на опорном потенциале, то допустимы оба обозначения:  $U_{БЭ} = U_B$ ,  $U_{КЭ} = U_K$ .

На рис. 4.11 представлен усилитель низкой частоты (УНЧ), который в качестве последнего каскада содержит усилительный каскад и предусилитель.

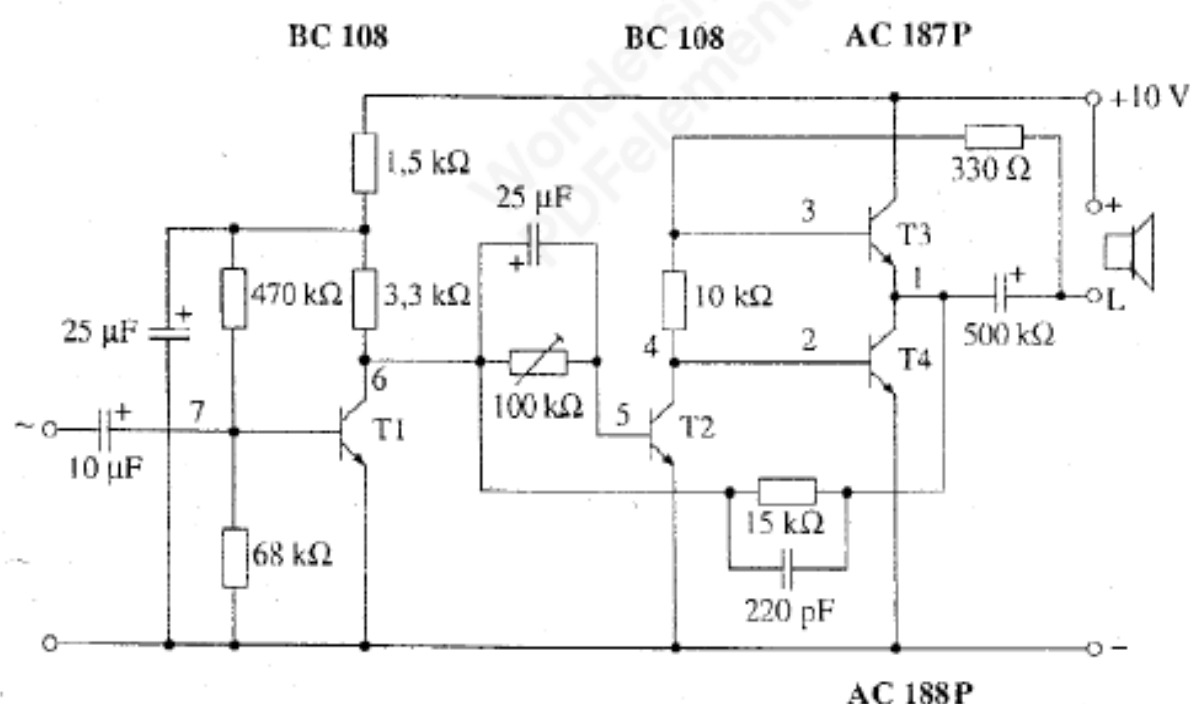


Рис. 4.11. Схема усилителя низкой частоты

Начнем с определения потенциала в точке соединения транзисторов усилителя выходного каскада. На выходе последней ступени должно быть примерно  $U_{пит}/2$ , т. е. в точке "1" схемы около +5 В. Напряжения на базах должны определяться соответствующим значением встречного напряжения, которое составляет от 0,3 до 0,5 В. Вычисляем напряжение в точке "3":

$+5\text{ В} + 0,5\text{ В} = 5,5\text{ В}$ . Для определения напряжения в точке "2" уменьшаем выходное напряжение на  $0,5\text{ В}$ :  $5\text{ В} - 0,5\text{ В} = 4,5\text{ В}$ . Напряжение в точке "4" совпадает с напряжением в точке "2". Также легко можно определить напряжение в точке "5". Напряжение эмиттера равно нулю. Напряжение базы должно быть больше на  $0,3\text{—}0,4\text{ В}$ . Таким образом, в точке "5" примерно  $0,4\text{ В}$ . В точке "6", т. к. речь идет о ступени усилителя, приблизительно  $U_{\text{пит}} / 2 = +5\text{ В}$ . Напряжение в точке "7" составляет примерно  $0,2\text{—}0,3\text{ В}$ , т. к. эмиттер здесь также имеет нулевой потенциал.

Рассмотренную в приведенном примере методику определения напряжений с успехом можно использовать в любых аналоговых схемах. При расчетах следует обратить особое внимание на определение типичной для рассматриваемой ступени усилителя рабочей точки (будь то предварительный усилитель, задающий каскад, или выходная ступень) и на определение величин сопротивлений.

## Системный поиск неисправностей в аналоговых схемах

Несмотря на разнообразие усилителей, нет необходимости использовать для каждого из них свой особый подход в поиске неисправностей. Необходимо лишь учитывать некоторые принципиальные отличия, присущие разным видам усилителей.

Будь то усилитель слабого сигнала или усилитель мощности, прежде всего необходимо определить тип используемых транзисторов и величину присоединенного сопротивления. Предварительный усилитель и входные каскады усилителей с высоким коэффициентом усиления и высокой чувствительностью на входе характеризуются необходимостью усиления слабого сигнала при большом сопротивлении делителя напряжения и значительном рабочем сопротивлении коллектора.

Это необходимо для получения требуемого большого входного сопротивления в первых ступенях с помощью соответствующей установки рабочей точки, а также для достижения высокого коэффициента усиления напряжения. Если увеличивать количество каскадов, то значение сопротивления снижается, т. к. рабочие токи становятся больше.

Из-за высокого усиления в первых каскадах в них возможны слишком большое усиление шумов или автоколебания. Заключение о величине общего усиления усилителя делают не только на основе определения величины рабочего сопротивления, но и с учетом использования отрицательной обратной связи.

## 5.1. Определение напряжений в схемах

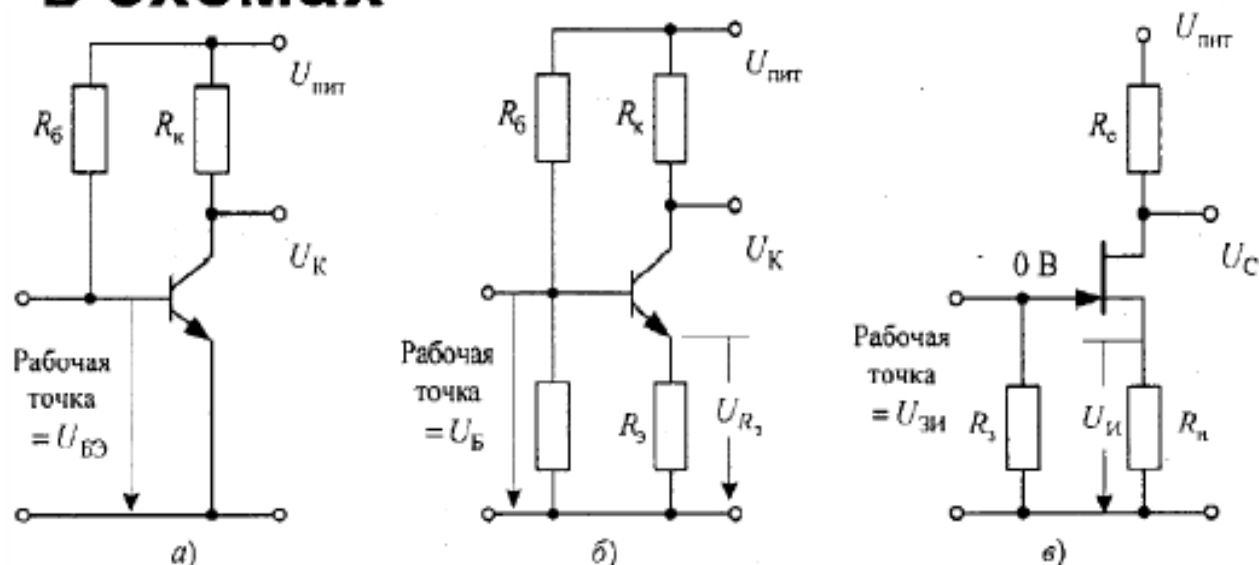


Рис. 5.1. Напряжения в линейных усилителях: транзисторный каскад с добавочным резистором (а); транзисторный каскад с базовым делителем напряжения (б); каскад усилителя с полевым транзистором, имеющим сопротивление утечки затвора и сопротивление истока (в)

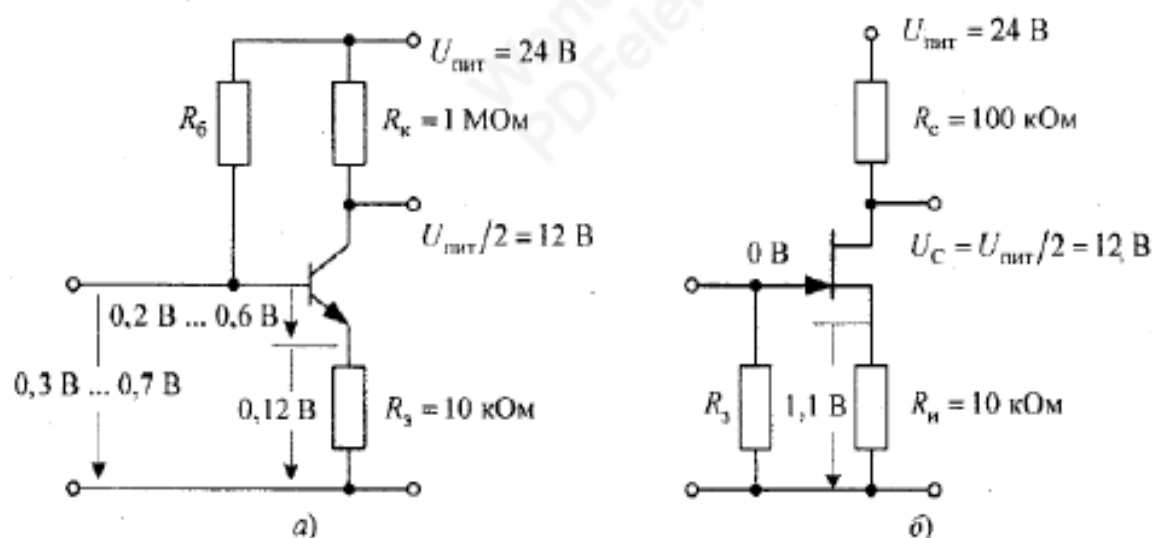


Рис. 5.2. Пример напряжений в линейных усилительных каскадах: в каскаде на биполярном  $n-p-n$ -транзисторе (а); в каскаде на полевом транзисторе (б)

Подобная проверка постоянных напряжений наиболее эффективна при поиске и локализации неисправных элементов в схемах. При этом через схему не должно проходить никакого модуляционного сигнала, т. к. это может исказить результаты измерений.

## Системный поиск неисправностей в аналоговых схемах

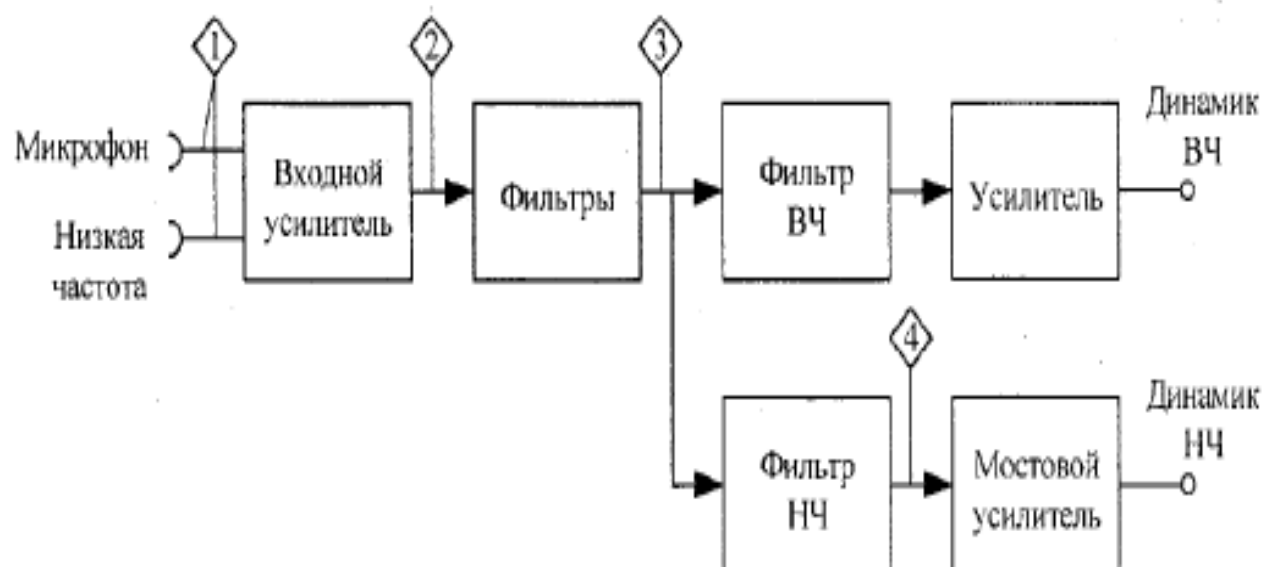


Рис. 5.13. Блок-схема УНЧ

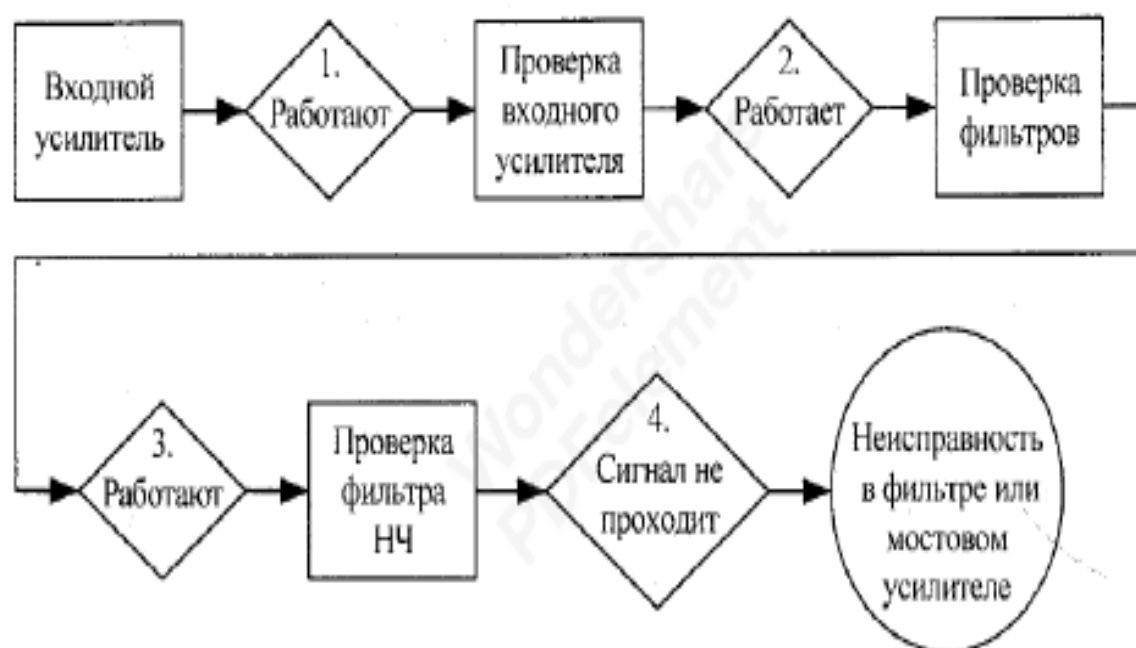


Рис. 5.14. Поиск неисправности в соответствии с блок-схемой

### ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

1. Изучить теоретический материал.

2. Практическая часть. Зарисовать рисунки 4.1 (а, б, в), 4.3 (а, б, в, г), 4.4 (а, б, в, г), 4.6, 4.7, 4.8 и таблицы к этому рисунку, 4.9, 5.1 (а, б, в), 5.2 (а, б), 5.13, 5.14. Названия и подпункты рисунков должны быть указаны для соответствующего рисунка. Пояснения, формулы, величины и т. д. имеющиеся на самих рисунках должны присутствовать.