

Системный подход при проектировании, техническая  
эксплуатация и обслуживание  
электронных средств и автоматизированных систем

## **лекция 3**

# Билет 6

## Поиск неисправностей



# Ремонт

**Процедура ремонта** любого радиоэлектронного изделия может быть представлена в виде последовательности мероприятий:

- установление факта неработоспособности
- определение отказавшего блока
- выявление неисправных элементов в вышедшем из строя блоке
- восстановление вышедших из строя блоков
- контроль работоспособности устройства
- регулировка устройства.

# Визуальный осмотр

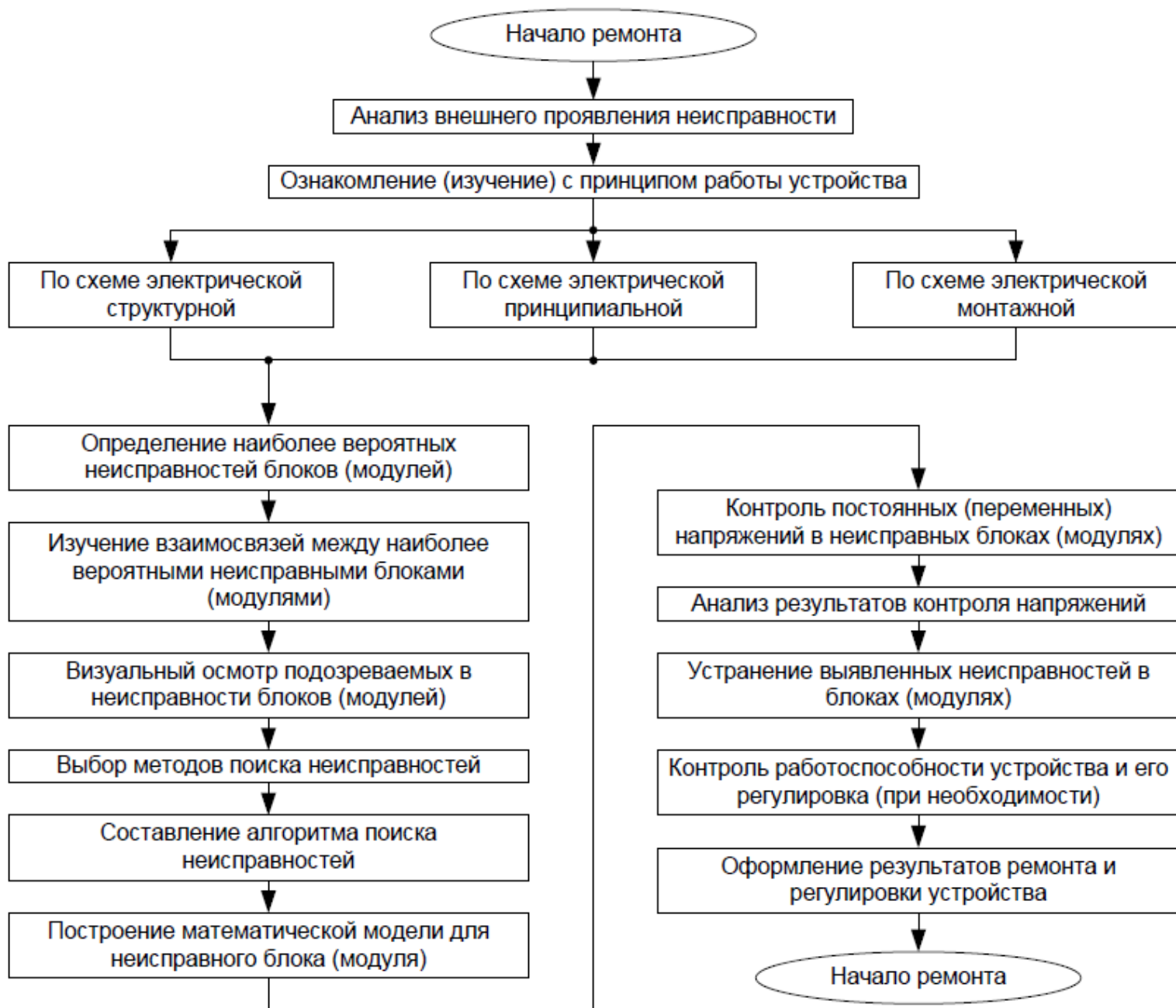
Большинство механических неисправностей выявляются при проведении **визуального осмотра аппаратуры**.

Так определяют качество монтажа, отсутствие обрывов в печатных дорожках и проводниках, качество паяк, а также контролируют соответствие номиналов резисторов и ёмкостей конденсаторов требованиям принципиальных схем.

Часто при визуальном осмотре выявляются обуглившиеся резисторы, вздутые электролитические конденсаторы, наличие подтёков пропиточного материала в трансформаторах, механические повреждения в керамических конденсаторах и т.д.

О наличии электрических неисправностей могут свидетельствовать запахи от перегретых элементов, изменение тона звуковых колебаний, вызванных работой трансформатора.

При проведении визуального осмотра необходимо вручную проверять качество креплений элементов (трансформаторов, дросселей, переключателей, электрических конденсаторов, переменных и полупеременных резисторов и т.д.).



# Поиск неисправностей

**Процесс поиска неисправностей** в устройствах представляет собой совокупность элементарных проверок, т.е. физических экспериментов над ремонтируемым устройством, целью которых является изучение его реакции на некоторое воздействие.

Выявить неисправность можно только в том случае, если существует такое **тестовое воздействие**, реакция на которое у работоспособного и неработоспособного устройства различна.

В общем случае может существовать несколько элементарных проверок, позволяющих выявить определённое техническое состояние устройства. Они различаются множеством контрольных точек, видом и последовательностью входных тестовых воздействий.

**Формализация** разработки процесса поиска неисправностей предполагает наличие описания ремонтируемого устройства и его поведения в работоспособном и неработоспособном состояниях. Такое описание в аналитической, векторной, графической или табличной формах называют **математической моделью устройства**.

# Математическая модель ремонта

Любое радиоэлектронное устройство характеризуется зависимостью множества **выходных** параметров  $Y = \{Y_k\}$  от множества **входных**  $X = \{X_k\}$  и **внутренних**  $A = \{A_k\}$  переменных.

Поведение модели работоспособного устройства в общем случае зависит от времени  $t$  как **система передаточных функций**:

$$Y = F(X, A, t).$$

Неисправность, возникшая в устройстве, приводит к искажению передаточных функций, характеризуемых множеством моделей неработоспособного объекта:

$$Y^i = F^i(X, A^i, t), \quad \text{где } i - \text{номер неисправного состояния.}$$

**В явном виде** часто задается только модель  $F$ , а модели  $F^i$  подлежат разработке.

**Для сложных устройств** обычно не удастся составить модели  $F^i$ , используя только внешние узлы – основные входы и выходы.

Поэтому эта система уравнений должна включать описание внутренних, электрических и временных зависимостей, выявленных на расширенном множестве функциональных узлов.

# Математическая модель ремонта

Обозначим множество всех **допустимых элементарных проверок** (т.е. физически осуществимых) ремонтируемого устройства:

$$P = \{P_j\}.$$

Каждая проверка  $P_j$  характеризуется:

- значением  $X_j$  **воздействия**, подаваемого на ремонтируемое устройство,
- составом **контрольных точек**
- значением **реакций**  $R_j$  устройства на эти воздействия.

**Число возможных результатов проверки** определяется числом контрольных точек в устройстве и числом воздействий на него (комбинаторика).

Ответные реакции  $R_j$  на входные воздействия  $X_j$  для работоспособного и неработоспособного устройства определяются уравнениями:

$$R_j = F(P_j) \qquad R_j^i = F^i(P_j^i)$$

Элементарные проверки выявляют **множество неработоспособных состояний** устройства, при которых ответные реакции у работоспособного  $R_j$  и неработоспособного устройства  $R_j^i$  различны.



# Табличная модель устройства

Для разработки **процедуры поиска неисправностей** необходимо получать множество реакций для всех допустимых элементарных проверок  $P_j$  и выбрать те проверки из множества  $\{P_j\}$ , которые позволяют различить все состояния из множества технических состояний устройства  $S$ .

Более проста и удобна в этом плане **табличная модель устройства**.

Таблицей функций неисправности (ТФН) отображает реакции устройства на все допустимые элементарные проверки для всего множества технических состояний.

Пример:

Техническое состояние		$S_1$	$S_2$	$S_3$	...	$S_k$	
Элементарные проверки	Заданная реакция	$R_1$	$R_3$	$R_5$	...	$R_n$	
	$P_1$	Реакция РЭУ на $P_1$	$R_2$	$R_4$	$R_6$	...	$R_m$
	$P_2$	Реакция РЭУ на $P_2$	$R_7$	$R_3$	$R_5$	...	$R_k$
	...	...	...	...	...	...	
	$P_n$	Реакция РЭУ на $P_n$	$R_1$	$R_3$	$R_5$	...	$R_n$

# Сервисные инструкции

Очевидно, что достоверно обнаруживать неисправности в устройствах помогает **множество элементарных проверок**.

Одна из задач оптимизации этого процесса – сокращение числа элементарных проверок, обеспечивающих требуемую глубину поиска неисправностей.

Часто в приложениях к сервисным инструкциям радиотехники в таблицах кроме напряжений и сопротивлений резисторов приводятся также эпюры напряжений в характерных **контрольных точках принципиальной схемы**. Это значительно облегчает поиск неисправностей.

Если в НТД не указаны допуски на отклонение параметров, то обычно их принимают равными  $\pm 20\%$  от значений, заданных в таблицах.

Если напряжения в контрольных точках устройства находятся в зонах допусков, то, вероятнее всего, устройство работоспособно.

Если же при этом сигнал на выходе устройства по-прежнему отсутствует, то неисправности следует искать во входных трансформаторах, разделительных конденсаторах, скрытых дефектах монтажа и т.п.

# Виды электрических схем

## **Структурные электрические схемы**

Разрабатываются на первом этапе проектирования, дают общее представление о работе электроустановки.

**Принципиальные электрические схемы** - это чертежи, показывающие полные электрические и магнитные и электромагнитные связи элементов объекта, а также параметры компонентов, составляющих объект, изображённый на чертеже.

**Монтажные схемы** — это чертежи, показывающие реальное расположение компонентов как внутри, так и снаружи объекта, изображённого на схеме. Предназначены, в основном, для того, чтобы можно было изготовить объект.

# Билет 7

## Методы ремонта



# Метод анализа монтажа

Принципиальная схема устройства, сколь подробна она бы не была, не отражает наличие в нем всех компонентов, влияющих на общую работоспособность. Это относится ко всякого рода перемычкам, изоляции, местам паяк и т.п.

Метод анализа монтажа позволяет определить место дефекта или направление дальнейшего поиска с помощью таких органов чувств человека, как зрение, слух, обоняние и осязание.

Его целесообразно применять на ранних этапах поиска неисправностей в аппаратуре, а также при аварийном режиме работы устройства.

Например, поверхность нормальной пайки должна быть гладкой, для «холодной» пайки характерна неровная, пористая поверхность. Неисправности некоторых элементов, таких, как импульсные трансформаторы, динамические головки, часто обнаруживаются на слух. Места чрезмерного нагрева тех или иных компонентов можно обнаружить, касаясь их рукой.

# Метод измерений

Метод измерений основан на использовании в процессе отыскания неисправности различных контрольно-измерительных приборов (испытательных генераторов, имитирующих входные воздействия, осциллографов и т.д.). Он является наиболее эффективным в тех случаях, когда уже имеется предварительная информация о предположительном местонахождении неисправности в блоке или модуле.

В характерных контрольных точках схемы устройства проводятся наблюдение формы электрических сигналов, измерения значений постоянных и переменных напряжений, а также временных параметров сигналов (длительностей импульсов, задержек, частоты).

В результате анализа выявляются противоречия в работе узлов, отклонения параметров за границы зон допусков.

Между прочим, применяемые контрольно-измерительные приборы сами должны быть технически исправными и пройти метрологическую поверку.

# Осциллограф

Осциллограф позволяет снять амплитудно-частотные (АЧХ) и фазочастотные (ФЧХ) характеристики трактов, измерить разность фаз двух колебаний (например, по фигурам Лиссажу), осуществить многие другие комплексные измерения в широком диапазоне частот.

Многие доступные по цене приборы этого вида имеют полосу пропускания до 50 МГц, что не позволяет использовать их в радиочастотных трактах УКВ- и FM-приемников, а некоторые высокочастотные осциллографы могут иметь входное сопротивление 50 Ом.

При работе с осциллографом следует также знать и помнить, что он показывает мгновенные значения переменного напряжения и тока, в отличие от вольтметров и цифровых мультиметров, которые измеряют действующее значение напряжения и тока.

Это кажущееся несоответствие показаний устраняется простым пересчетом.

# Метод замены

Использование метода замены возможно, если имеется заведомо исправный блок или модуль, которым можно заменить сомнительный модуль ремонтируемой аппаратуры. Если в результате проведенной замены работоспособность аппаратуры восстанавливается, то неисправность следует искать более детально в подозрительном модуле. В противном случае подобную же операцию можно произвести с другими частями РЭС.

Способ наиболее эффективен в изделиях, построенных по блочному принципу.

# Метод эквивалентов

Метод эквивалентов заключается в замене части схемы ремонтируемой РЭС другим узлом или какой-либо совокупностью радиоэлементов, оказывающей в результате такое же воздействие.

Такую операцию можно произвести с источниками питания, эквивалентами нагрузок, генераторами сигналов



# Метод исключения

Из схемы неисправной РЭС изымаются на некоторое время отдельные элементы или узлы (отсоединением или перемыканием выводов) и проводится анализ работы устройства в целом.

Электронные узлы, входящие в состав ремонтируемой РЭС, можно условно разделить на две группы: основные и вспомогательные.

К основным узлам относятся такие, которые формируют выходные параметры устройства, а к вспомогательным – узлы, которые предназначены для обеспечения качества выходных параметров, например, устройства защиты по напряжению и току. Исключение вспомогательных узлов позволяет определить, имеется ли неисправность в них или неисправен основной узел аппаратуры.

# Метод электрического воздействия

Информацию о местонахождении неисправностей можно получить в результате анализа реакции устройства на различные манипуляции:

- установка перемычек
- изменение напряжения питания устройства
- изменение величины резисторов (в .т.ч подстроечных)
- замыкание контрольных точек на корпус
- подключение конденсаторов параллельно элементам
- подача электрических сигналов к различным участкам РЭС
- ...

# Метод механического воздействия

Также называется **методом простука**. Позволяет выявить дефекты монтажа. Проводится при включенной радиоаппаратуре. Обычно применяется, когда неисправность носит «мерцающий» характер, т.е. проявляется периодически.

Причинами таких неисправностей могут служить:

- 1) наличие **«холодных» паек** (дефект пайки)
- 2) замыкание близко расположенных элементов между собою
- 3) замыкание соседних дорожек на печатной плате каплями припоя
- 4) уменьшение упругости, загрязнения или деформация контактов в держателях предохранителей
- 5) нарушение структуры материала и образование ненадёжного механического контакта в местах пайки.



В качестве механического воздействия для поиска багов можно использовать: аккуратные удары резиновым молоточком по местам пайки радиоэлементов, подёргивание за проводники, жгуты, изгибание печатной платы в различных плоскостях, шатание выводов радиоэлементов пинцетом со стороны монтажа, водить по плате попеременно в различных направлениях тонкой палочкой из изоляционного материала (карандаш без грифеля, рукоять тонкой отвертки) с чередованием силы нажима, наблюдая за реакцией устройства на эти действия.

# Метод электропрогона

Применяется, когда неисправности носят неустойчивый характер, и метод механического воздействия не позволяет их выявить.

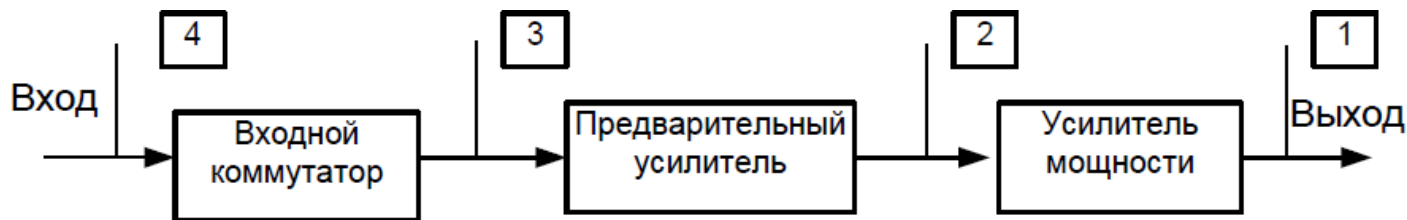
Электропрогон осуществляется путём включения РЭС на длительный срок с повышенным напряжением питания (в пределах, допускаемых нормативно-технической документацией), с увеличением температуры (т.н. тепловой удар) и т.д.

**Конечной целью** электропрогона является превращение обратимых неисправностей в устройстве в необратимые.

После достижения устойчивого проявления неисправности необходимо оперативно (чтобы не нарушить тепловой режим) провести либо измерение напряжения в характерных контрольных точках, либо напряжений на выводах микросхем и определить дефектный элемент.

# Метод последовательного контроля

Метод последовательного контроля прохождения сигнала заключается в последовательной проверке прохождения электрического сигнала от блока к блоку до обнаружения неисправности. Его целесообразно применять при поиске неисправностей в устройствах, содержащих незначительное число блоков.



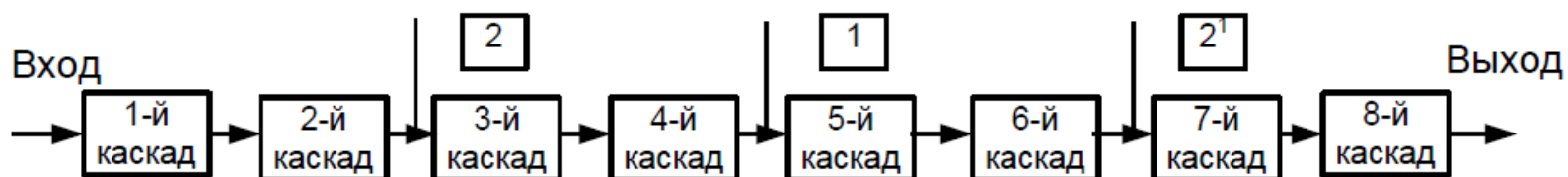
Одновременно с контролем прохождения электрического сигнала контролируются значения постоянных напряжений на выводах микросхем и сравниваются со значениями, приведенными в таблицах технической документации.

Обычно последовательность проверок строят по принципу «от конца к началу»: сначала контроль наличия сигнала осуществляют в выходной части устройства, а затем постепенно перемещаются в сторону его входа, пока не будет обнаружен нормальный сигнал.

# Метод половинного деления схемы

Обычно этот метод используют для контроля прохождения сигнала в многокаскадных радиоэлектронных устройствах, потому что он позволяет значительно сократить время поиска места отказа.

Схема устройства мысленно делится на две половины, далее осуществляется проверка наличия сигнала на выходе каскада, расположенного примерно в середине той половины, в которой имеется неисправность, и т.д., пока не будет обнаружен неисправный каскад.



Если РЭС, в которой наблюдается неисправность, имеет, например, 8 каскадов, то первую проверку наличия сигнала проводят на выходе 4-го каскада.

Если при этом сигнал будет отсутствовать, то вторую проверку проводят на выходе 2-го каскада. Если же на выходе 4-го каскада сигнал имеется, а на выходе всего устройства (на выходе 8-го каскада) его нет, то вторую проверку проводят на выходе 6-го каскада, и т. д.

# Проверка микросхемы

Использование аналоговых или цифровых интегральных микросхем повышает надежность приборов, уменьшает число электрорадиоэлементов, а следовательно, упрощает их ремонт. Однако при эксплуатации РЭС микросхемы тоже достаточно часто выходят из строя.

Вывод о том, что микросхема неисправна, можно сделать лишь после проверки всех элементов, подключенных к ней. Для этого проводят тесты:

## - **Контроль режима работы микросхемы по постоянному току**

Осуществляется с использованием эталонных данных из технической документации. Пониженное напряжение на одном из выводов микросхемы может быть из-за наличия утечки подключенного к этой точке конденсатора.

## - **Контроль правильности прохождения сигнала**

Обычно с помощью осциллографа.

## - **Моделирование режима работы по данным таблицы истинности**

У цифровых микросхем напряжения на выводах имеют два уровня: низкий (логический ноль) и высокий (логическая единица). Сигнал нуля формируется соединением входа с общим проводом, сигнал единицы - подключением входа через ограничительный резистор к проводу питания.

## - **Проверка работоспособности микросхемы в динамическом режиме**

Прохождение сформированных модельных сигналов контролируется с помощью осциллографа.

# Тестирование транзисторов

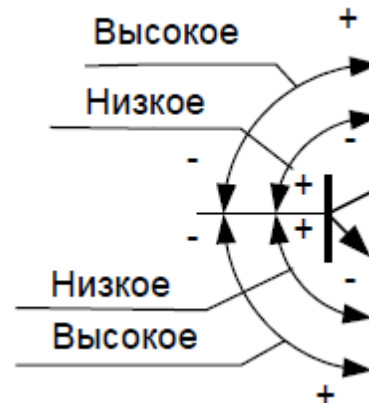


# Тест транзистора «низкое»/«высокое»

В большинстве случаев транзисторы используются в аналоговых электронных устройствах, таких, как усилители, генераторы, стабилизаторы напряжения и тока, амплитудные ограничители и многие другие.

Работоспособность биполярных транзисторов можно проверить при помощи омметра путем измерения сопротивлений переходов между базой и эмиттером, базой и коллектором в обоих направлениях.

Значения сопротивлений тестируется по принципу **«низкое»/«высокое»**. Например, измерение сопротивлений переходов в *n-p-n* транзисторе:



# Тест транзистора «по постоянному току»

Транзистор с периодическим обрывом перехода может оказаться временно работоспособным при его проверке с помощью омметра. В связи с этим более достоверным является **контроль его режимов работы по постоянному току** в различных схемах включения:

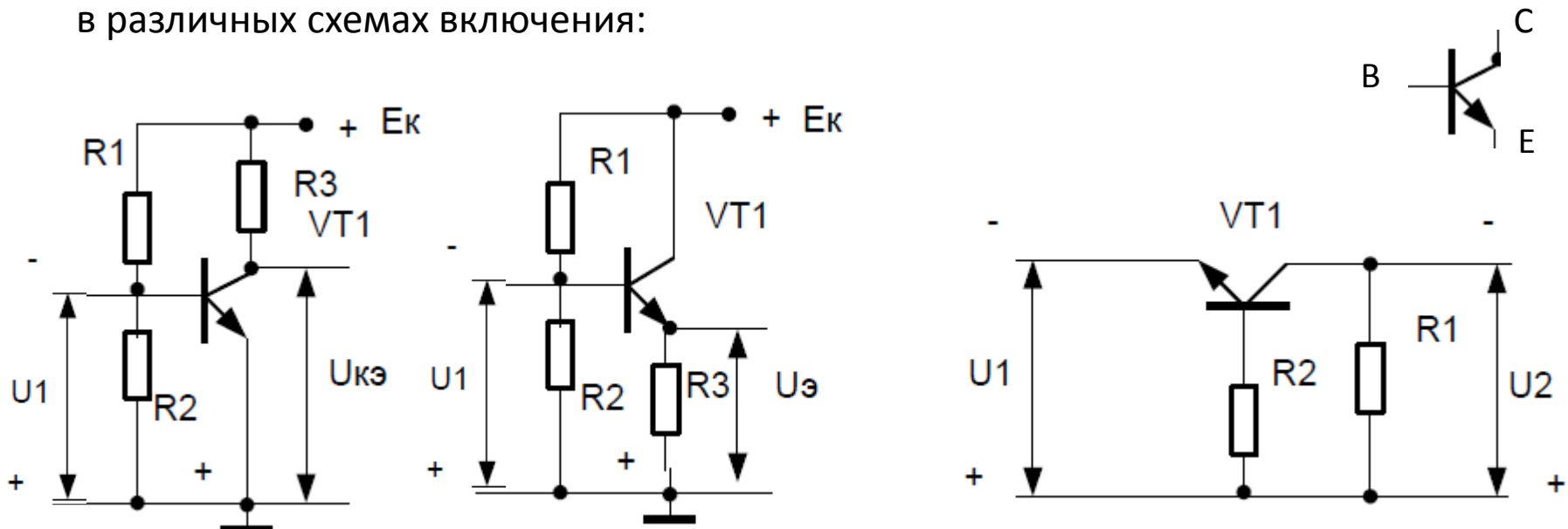


схема с ОбщимЭмиттером (E)    схема с ОбщимКоллектором (C)    схема с ОбщейБазой (B)

Имеют место случаи, когда короткозамкнут участок цепи коллектор-эмиттер, несмотря на то, что оба перехода транзистора целы. Поэтому вначале нужно проверить, нет ли короткого замыкания в цепи коллектор-эмиттер.

# Тестируем общий эмиттер

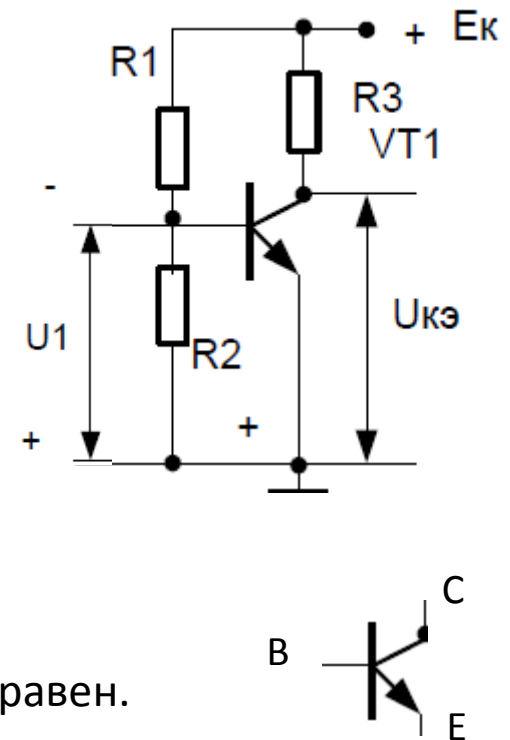
1. Если в собранной схеме  $U_{кэ} = 0$ , значит произошло короткое замыкание К-Э или транзистор находится в насыщении из-за неисправных элементов или скрытых дефектов монтажа.

Чтобы исключить режим насыщения, закоротим базовый вывод на общий провод, при этом переходы «база-эмиттер» и «база-коллектор» закрываются и транзистор «стягивается в точку»).

Если  $U_{кэ}$  не станет близким к  $E_{к}$ , значит транзистор неисправен.

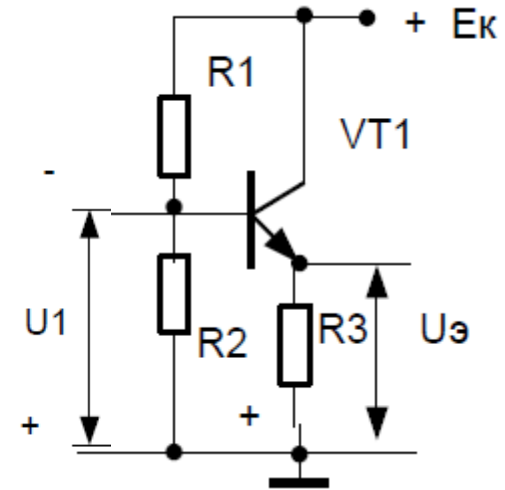
2. Если  $U_{кэ} = E_{к}$ , значит произошёл обрыв одного из переходов или транзистор находится в режиме «отсечки» (на оба перехода поданы обратные напряжения) из-за неисправных элементов или дефектов монтажа.

Если напряжение  $U_{бэ}$  значительно отличается от нормального ( $\sim 0,7$  В), то необходимо более тщательно проверить элементы схемы и цепи, откуда поступает запирающее напряжение на базу транзистора.



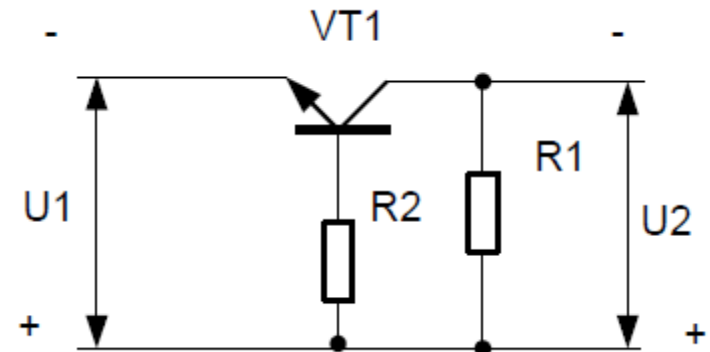
# Тестируем общий коллектор

1.  $U_{э} = 0$  – обрыв одного из переходов или транзистор заперт.
2.  $U_{э} = E_{к}$  – транзистор «пробит» или находится в режиме насыщения.

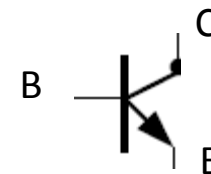


# Тестируем общую базу

1.  $U_2 = 0$  – обрыв одного из переходов или транзистор заперт.
2.  $U_2 = U_1$  – транзистор «пробит» или находится в режиме насыщения.



Режим насыщения определяется и устраняется также, как в схеме с Общим эмиттером.



# Трансформаторы и дроссели

Основными неисправностями в трансформаторах и дросселях являются обрывы обмоток, межвитковые замыкания, замыкания одной обмотки на другую, замыкание обмоток на корпус и т.д.

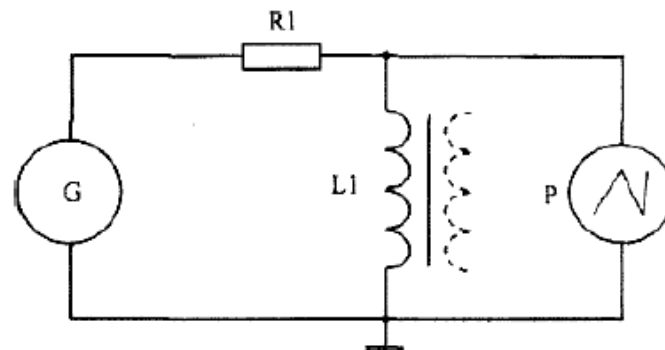
**Обрывы обмоток** в трансформаторах или **межвитковые замыкания** в них приводят к тому, что напряжение на выводах трансформаторов либо вообще отсутствует, либо сильно занижено.

Проверка на обрыв производится простым способом при помощи омметра. Наличие короткозамкнутого витка омметром определить невозможно, но это можно сделать, собрав простую схему:

На проверяемую обмотку L1 через резистор R1 от генератора синусоидальных колебаний G подаётся сигнал с частотой 1 кГц.

Напряжение на обмотке контролируется осциллографом P:

наличие дифференцированных импульсов указывает на то, что в обмотке имеется короткозамкнутый виток (как правило, сопровождается нагревом трансформатора).



**По домам тарам-пам-пам!**

- Ты помнишь, что делала почти каждую ночь перед сном, когда была маленькой?
- Читала под одеялом при свете фонарика.
- А почему ты не зажигала верхний свет в комнате?
- Чтобы ты думал, что я сплю, в то время как я тайком глотала книжки...
- Погас ли твой фонарик хоть один раз за все те годы?
- Нет.
- А ведь тебе никогда не приходилось менять в нем батарейки...