

теля. При повороте ручки-указателя на панели драйвера нарушается баланс моста и осуществляется автоматическое включение двигателя до того времени, пока не будет осуществлен поворот антенны на заданный угол. Поскольку напряжение разбаланса моста подается на входы DA1 и DA2 в противофазе, то в зависимости от знака разбаланса (другими словами - от направления вращения переменного резистора указателя угла поворота) будет меняться и полярность подаваемого на двигатель постоянного напряжения.

Следует отметить, что R2, R3 должны иметь линейную зависимость в изменении сопротивления и высокую точность,

оси должны вращаться без ограничений и желательно отсутствие заметных «провалов» сопротивления при переходе «максимум-минимум» и наоборот. Допустимы небольшие провалы, которые приводят к ошибке в повороте на 5-10 градусов.

Конденсатор C1 искрогасящий, диоды VD1-VD4 защитные для DA1 и DA2 т.к. их нагрузка имеет индуктивный характер. Светодиоды VD5 и VD6 служат индикаторами поворота в ту или иную сторону.

Такая же схема, но на TDA2003, была использована автором в рулевом механизме для радиоуправляемой модели автомобиля своего сына. В результате были довольны и автор, и сын ☺

ШКОЛА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ занятие 8

Некоторые особенности чтения схем и ремонта радиоэлектронной аппаратуры

В первом номере «РХ» за 2004 год мы открыли авторскую рубрику «ШКОЛА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ преподавателя Безверхнего». Каждую публикацию этой рубрики мы называем Занятием. И каждое Занятие строим в виде диалога виртуального читателя («В. Ч.») и преподавателя Безверхнего И. Б. («И. Б.»). Рисунки и таблицы, приведенные в этой серии публикаций, имеют сквозную нумерацию. Восьмое занятие рассчитано, скорее, на начинающих, чем на опытных радиолюбителей. Оно будет полезно учащимся ПТУ и студентам соответствующих специальностей, недавно приступившим к изучению основ электроники, но и более опытные коллеги могут найти для себя нечто полезное, хотя бы потому, что предложенное в этой публикации редко встречается в литературе. Тема этого занятия: «Некоторые особенности чтения схем и ремонта радиоэлектронной аппаратуры».

«И. Б.»: На предыдущем занятии я вскользь коснулся мнения одного из участников дискуссии на форуме нашего журнала, который написал о том, что ШКОЛА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ - должна начинаться с таких азов как закон Ома и т.д. На удивление, это мнение было поддержано несколькими постоянными читателями этой рубрики. Так Николай Ганжа из Броваров прислал мне электронное письмо, в котором пишет, что для его сына Дениса необходима информация о методике отыскания неисправностей каскада по изменению его режима с использованием законов Ома и Кирхгофа. Подобная просьба пришла и от киевлянина Алексея Подрезова. Правда он пишет, что эти законы знает, но имеет проблемы с их применением на практике.

«В. Ч.»: Судя по всему, наиболее массовым читателем нашей рубрики являются учащиеся ПТУ, студенты техникумов (колледжей) и старшекласники. Для многих из них важен еще один аспект, а именно, как правильно рассказать работу того или иного каскада. Иногда от этого зависит стипендия. Во многих учебных заведениях сложилась практика при объяснении на занятиях работы того или иного вопроса приводить ряд формул почти без объяснения физики процесса. Звучит это приблизительно так: «Данный процесс описывается формулой (интегралом, рядом Фурье и т.д.)...». Для того чтобы понять, о чем речь, обучаемый должен четко представлять физический смысл соответствующего математических формул и понятий, а главное уметь неформально использовать эти представления. Это не всегда удается.

«И. Б.»: Ко мне, как к автору рубрики, также обращались несколько студентов колледжей и учащихся ПТУ с просьбой помочь систематизировать знания по специальным предметам. В этой связи хочу заметить, что в Киевской школе радиоэлектроники ДОСА-АФ, где я проработал девятнадцать с половиной лет, была отработана такая методика объяснения, которая не требовала глубокого знания математики, но, тем не менее, позволяла достаточно полно объяснить, а главное понять работу электронной схемы.

«В. Ч.»: Хотелось бы познаться с этой методикой.

«И. Б.»: Возьмем для примера принципиальную схему усиленного каскада с ОЭ (см. рис.46). Описывать схему этого одиночного каскада и его работу будем в следующей последовательности:

- дадим полное название и назначение каскада;
- опишем назначение деталей;
- укажем класс режима работы, тип смещения и откроем транзистор;
- покажем путь постоянной составляющей коллекторного тока;
- подадим на участок база-эмиттер переменный сигнал со входа или с предыдущего каскада, и тут же укажем, что это является

причиной возникновения переменной составляющей в коллекторном токе;

- покажем путь переменной составляющей коллекторного тока;
- выделим усиленный сигнал и подадим его на выход схемы или вход следующего каскада;

- где необходимо укажем особенности схемы и его работы.
«В. Ч.»: То есть полное объяснение сводится к восьми пунктам?

«И. Б.»: Именно так. И так, начнем:

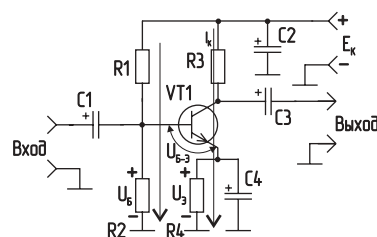


Рис. 46. Принципиальная схема усилительного каскада с ОЭ

1. Каскад, показанный на рис.46, представляет собой транзисторный усилитель напряжения с общим эмиттером (ОЭ).

2. Назначение деталей: R1, R2 - делитель напряжения смещения базы, R3 - резистор нагрузки, R4, C4 - цепь эмиттерной термостабилизации, C1, C3 - разделительные конденсаторы, C2 - конденсатор фильтра напряжения питания.

3. Каскад работает в режиме класса А, имеет смещение фиксированным напряжением на базе (делитель R1, R2). Через делитель смещения R1, R2 протекает ток, создающий на R2 падение напряжения $U_{\text{б}}$ («плюс» - вверху, «минус» - внизу), которое открывает транзистор, т.к. «плюсом» оно приложено к базе непосредственно, а «минусом» - к эмиттеру через общий провод (корпус, шасси, массу - это разные названия общего провода схемы) и R4.

4. Постоянная составляющая коллекторного тока транзистора VT1 протекает по цепи:

$+E_{\text{к}} \Rightarrow R3 \Rightarrow \text{К-Э VT1} \Rightarrow R4 \Rightarrow \text{корпус} \Rightarrow -E_{\text{к}}$ (стрелка показывает направление тока).

5. Переменное напряжение сигнала поступает со входа на базу транзистора VT1 через C1, а через корпус и блокировочный конденсатор C4 цепи эмиттерной термостабилизации на его эмиттер. Это приводит к тому, что коллекторный ток транзистора VT1 становится пульсирующим и в нем появляется переменная составляющая.

6. Переменная составляющая коллекторного тока VT1 протекает по цепи:

$\text{К VT1} \Leftrightarrow R3 \Leftrightarrow C2 \Leftrightarrow \text{корпус} \Leftrightarrow C4 \Leftrightarrow \text{Э VT1}$ (двунаправленная стрелка показывает, что переменная составляющая протекает как в одном, так и в другом направлении).

7. Переменная составляющая коллекторного тока VT1 создает на резисторе нагрузки R3 переменное напряжение, которое через разделительный конденсатор C3 одним полюсом и через конденсатор фильтра C2, корпус другим полюсом поступает на выход схемы.

«В. Ч.»: Но Вы объяснили только 7 пунктов, а где восьмой?

«И. Б.»: Восьмой (особенности схемы и ее работы) - это самый сложный пункт. В нем иногда заложена изюминка схемы. Схема рис.46, пожалуй, такой изюминки не имеет. Особенностью этой схемы является наличие цепи эмиттерной термостабилизации R4, C4, которая при увеличении температуры должна ограничить увеличение коллекторного тока, а при уменьшении температуры огра-

ничить его уменьшение, поддерживая тем самым режим транзистора стабильным. Сможете ли Вы объяснить ее работу?

«В. Ч.»: Постоянная составляющая тока эмиттера, не менее 90% которой составляет постоянная составляющая тока коллектора, создает на резисторе R4 падение напряжения $U_{\text{э}}$ («плюс» - вверху, «минус» - внизу). Рабочая точка транзистора определяется разностью напряжения на базе и на эмиттере $U_{\text{б-э}} = U_{\text{б}} - U_{\text{э}}$. При нагреве транзистора его коллекторный ток увеличивается. Увеличивается и напряжения на R4 ($U_{\text{э}}$). Напряжение на R2 ($U_{\text{б}}$) остается прежним, а разность этих напряжений $U_{\text{б-э}} = U_{\text{б}} - U_{\text{э}}$ уменьшается. Это приводит к прикрыванию транзистора и уменьшению его коллекторного тока приблизительно до прежнего значения.

«И. Б.»: Таких особенностей может быть множество. К ним следует отнести цепи частотной и фазовой коррекции, обратные связи по переменному и постоянному току и напряжению и т.п.

«В. Ч.»: Помню, что при обучении, нам далеко не всегда рассказывали все перечисленные пункты. Почему?

«И. Б.»: Все достаточно просто. Подробное объяснение необходимо для первых пяти-семи каскадов для того, чтобы обучаемые приобрели навыки подробного объяснения и смогли бы многое из перечисленного объяснить самостоятельно. Эти навыки являются основой того, что называется чтением принципиальных схем. Те, кто имеют хотя бы начальные навыки чтения схем, понимают почти все, что мы перечислили выше, и после очередного (например, десятого) полного объяснения ему наверняка будет скучно от однообразия всех этих объяснений. Поэтому для большинства слушателей достаточно дать полное название и назначение каскада, назначение деталей, класс режима работы, тип смещения и указать особенности схемы и его работы. Предполагается, что все остальное обучаемый в состоянии сделать сам.

«В. Ч.»: То есть, неполное объяснение - это экономия времени. Я так понял, что для более полного понимания процессов происходящих в усилительном каскаде при обучении желательно самостоятельно проделать все эти восемь пунктов?

«И. Б.»: Да, именно так. Причем подобная тренировка позволяет контролировать свою подготовку к занятию, зачету или экзамену, а при некотором опыте даже планировать дополнительные вопросы, которые может задать Вам преподаватель.

«В. Ч.»: О! Это высший пилотаж.

«И. Б.»: Именно поэтому не будем развивать эту тему дальше, а перейдем к методике отыскания неисправностей одиночного каскада по изменению режима работы. Для этого нужно знать как минимум:

1. Закон Ома.
2. Законы Кирхгофа.
3. Что такое делитель напряжения.

Если Вы помните хотя бы первые два пункта, т.е. законы Ома и Кирхгофа, то мы смело сможем двигаться дальше. Напишите, пожалуйста, формулу закона Ома для участка цепи.

«В. Ч.»: Это совсем несложно:

$$I = U/R, I - \text{ток, } U - \text{напряжение, } R - \text{сопротивление.} \quad (1)$$

«И. Б.»: Верно, но нас будет интересовать эта формула еще и в виде:

$$U = I \times R \quad (2)$$

Теперь вспомним, что это такое делитель напряжения.

«В. Ч.»: Само название этого устройства говорит о его назначении. Простейший делитель напряжения это два резистора включенные последовательно (см. рис.47). Основным параметром делителя это коэффициент деления, который показывает во сколько раз входное напряжение больше выходного. Он определяется по формуле, которая легко выводится из законов Ома и Кирхгофа:

$$k = U_{\text{вх}}/U_{\text{вых}} = (R1 + R2)/R2 \quad (3)$$

«И. Б.»: Добавить к этому можно то, что резистор R1 называют верхним плечом делителя, а R2 - нижним плечом делителя. Следует помнить, что эти названия плеч сохраняются независимо от того, как нарисована схема. Для нижнего плеча характерно то, что с него снимается выходное напряжение. Это тот признак, по которому следует разбираться на схемах где какое плечо у делителя. И еще, чем больше сопротивление верхнего плеча и/или меньше сопротивление нижнего плеча, тем больше коэффициент деления и меньше выходное напряжение при том же значении входного напряжения.

«В. Ч.»: Это следует из формулы (3). Причем из этой же формулы следует, что при уменьшении сопротивления верхнего плеча и/или увеличении сопротивления нижнего плеча коэффициент деления уменьшается.

«И. Б.»: Абсолютно правильно. Оба эти вывода мы будем при

анализе неисправностей.

«В. Ч.»: Было бы логично рассматривать неисправности того каскада, о схеме и работе которого мы говорили выше.

«И. Б.»: Мы так и сделаем и для этого проставим на схеме рабочие напряжения (см. рис.48). Итак, что произойдет, если обрвется резистор R1?

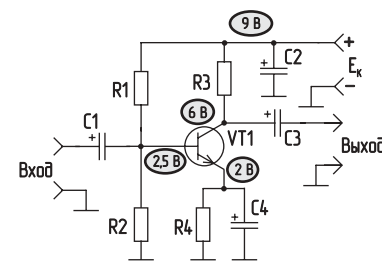


Рис. 48. Примерный режим усилительного каскада с ОЭ

на коллекторе возрастет до напряжения источника (9 В), т.к. по второму закону Кирхгофа оно равно разности напряжения питания (9 В) и падения напряжения на R3 (0 В).

«И. Б.»: Как изменятся режимы транзистора при обрыве R2?

«В. Ч.»: Резистор R2 - это нижнее плечо делителя базового смещения. При его обрыве напряжение на базе увеличится, транзистор откроется сильнее (вплоть до насыщения). Напряжение на эмиттере возрастет, а напряжение на коллекторе уменьшится, т.к. из-за увеличения коллекторного тока возрастает падение напряжения на резисторе нагрузки R3. Если транзистор откроется до насыщения, то напряжение на коллекторе будет больше напряжения на эмиттере на величину напряжения насыщения (обычно 0,1 В).

«И. Б.»: Как изменятся режимы транзистора при обрыве резистора нагрузки R3?

«В. Ч.»: Мне кажется, что напряжения на коллекторе и эмиттере уменьшатся, а вот как изменится напряжение на базе?

«И. Б.»: Да, действительно напряжения на коллекторе и эмиттере транзистора уменьшатся и будут практически одинаковые. Причем напряжение на эмиттере при этом дефекте - это падение напряжения, которое создает ток базы на резисторе R4. Оно заметно меньше, чем напряжение в этой точке в исправной схеме. Напряжение на базе тоже уменьшится, т.к. он не может отличаться от напряжения на эмиттере более чем на 0,6...0,7 В (падение напряжения на открытом эмиттерном переходе).

Как же изменятся режимы транзистора при обрыве резистора цепи эмиттерной термостабилизации R4?

«В. Ч.»: При этой неисправности напряжения на всех электродах транзистора возрастут, причем напряжение на коллекторе возрастет до напряжения питания.

«И. Б.»: Как изменятся режимы транзистора при пробое конденсатора C4?

«В. Ч.»: Напряжение на эмиттере станет равным нулю, на базе - упадет до 0,6...0,7 В, а на коллекторе - уменьшится до напряжения насыщения (обычно 0,1 В).

«И. Б.»: Рассмотренные выше неисправности сведем для удобства в таблицу 7 и добавим еще два самых распространенных дефекта транзистора. Предлагаю читателям разобраться в них самостоятельно.

Таблица 7. Характерные изменения режимов транзистора при неисправностях усилительного каскада рис. 48

№№ п/п	Неисправность	Напряжение (В)			
		питания	на КVT1	на Э VT1	на Б VT1
1	Каскад исправен	9	6	2	2,5
2	Обрыв R1	9	9	0	0
3	Обрыв R2	9	занижено	завышено	завышено
4	Обрыв R3	9	занижено	занижено	занижено
5	Обрыв R4	9	9	завышено	завышено
6	Пробой C4	9	0,1	0	0,6...0,7
7	Пробой КЭ VT1	9	занижено	завышено	завышено
8	Пробой Б-Э VT1	9	9	занижено	занижено

Обрывы каждого из четырех конденсаторов схемы к изменению режимов не приведет. Пробои и утечки в разделительных кон-

денсаторах С1, С3 может привести к изменению режимов, но само это изменение зависит от того, что подключено ко входу и выходу каскада.

Хочу обратить внимание на то, что мы рассмотрели, как изменятся режимы при той или иной неисправности, т.е. шли от неисправности к изменению режима. На практике ремонтнику приходится делать обратный анализ по изменению режима судить о причине неисправности каскада.

«В. Ч.»: Это наверно сложнее, но можно воспользоваться таблицей 7.

«И. Б.»: Можно, но давайте для тренировки рассмотрим следующий пример:

напряжение на коллекторе транзистора занижено, а на базе и эмиттере завышено.

Определите неисправность без помощи таблицы 7.

«В. Ч.»: Заниженное напряжение на коллекторе и завышенное на эмиттере говорят о большой величине коллекторного тока и о том, что резистор R4 цел. Такое изменение возможно в двух случаях: пробит участок К-Э транзистора или он чрезмерно открыт, т.е. оборван R2.

«И. Б.»: Как видите, оба результата есть в нашей таблице, но возможен еще один дефект -пробой-утечка конденсатора С1 при условии, что на входе имеется постоянное напряжение, величина которого больше чем напряжение на базе, которое получено с помощью делителя R1, R2.

«В. Ч.»: Так просто! В последние годы профессионалы и любители все больше возвращаются к ламповой технике. Как применить все, что мы рассмотрели к ламповому каскаду.

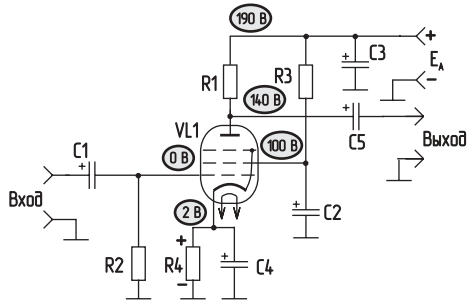


Рис. 49. Принципиальная схема усилительного каскада с ОК на пентоде

«И. Б.»: Давайте попробуем. Простейший усилительный каскад на пентоде показан на рис.49. Главное отличие похода к объяснению схемы и работы этого каскада от объяснения транзисторного каскада заключается в том, что нет необходимости открывать лампу. Она не нуждается в начальном смещении.

«В. Ч.»: Это значит, что его работу надо объяснять в следующей последовательности:

- полное название и назначение каскада;
- назначение деталей;
- класс режима работы, тип смещения;
- путь постоянной составляющей анодного тока;
- подать на участок сетка-катод переменный сигнал со входа или с предыдущего каскада, и тут же указать, что это является причиной возникновения переменной составляющей в анодном токе;
- путь переменной составляющей анодного тока;
- выделить усиленный сигнал и подать его на выход схемы или вход следующего каскада;
- где необходимо указать особенности схемы и его работы.

«И. Б.»: Давайте разберемся в главном, оставив остальное для самостоятельного освоения с использованием предложенной выше «шпаргалки».

Показанный на рис.49 каскад - это усилитель напряжения класса А на пентоде. Назначение деталей этого каскада следующее: R1 - резистор нагрузки, R2 - резистор утечки, R3, C2 - фильтр напряжения экранирующей сетки, R4, C4 - цепь катодного автосмещения, С1, С5 - разделительные конденсаторы, С3 - конденсатор фильтра напряжения питания.

На этом, пожалуй, можно остановиться. Практически мы осветили три первых пункта общей методики чтения принципиальной схемы. Остальные четыре (схема не имеет особенностей) почти слово в слово совпадают с тем, что мы говорили о транзисторном каскаде.

«В. Ч.»: То есть, сама эта методика не освобождает от изучения остальной теории, такой как виды смещения, классы режимов работы, температурная стабилизация и т.п.

«И. Б.»: Нет, конечно. Все это надо знать. А эта методика - это

испытанный и проверенный годами способ чтения схемы и объяснения усилительного каскада с использованием всего того, о чем Вы только что говорили.

«В. Ч.»: А как ремонтировать этот каскад?

«И. Б.»: Для этого на схеме рис.49 указаны приблизительные режимы работы, а в таблицу 8 сведены характерные изменения режимов лампы при ряде неисправностей этого каскада.

Таблица 8. Характерные изменения режимов лампы при неисправностях усилительного каскада на пентоде рис.49

№№ п/п	Неисправность	Напряжение (В)				
		питания	на катодe	на аноде	на экр. сетке	на упр. сетке
1	Каскад исправен	190	2	140	100	0
2	Обрыв R1	190	занижено	0, возможно но небольшой "-"	занижено	0
3	Обрыв R2*	190	занижено	завышено	завышено	небольшой "-"
4	Обрыв R3	190	занижено	завышено	0, возможно небольшой "-"	0
5	Обрыв R4	190	Завышено до напр. отсечки	190	190	0
6	Пробой C4	190	0	занижено	занижено	0
7	Частичная потеря эмиссии	190	занижено	завышено	завышено	0
8	Полная потеря эмиссии (обрыв катода)	190	0	190	190	0

* - при этой неисправности периодически все напряжения на лампе могут скачками меняться, если лампа используется в каскадах УЗЧ, громкоговоритель при этом может издавать щелчки «капать».

«В. Ч.»: Откуда берется отрицательное напряжение на электродах лампы?

«И. Б.»: Оно возникает из-за механического захвата и накопления электронов на тех электродах, внешние гальванические цепи которых оборваны.

«В. Ч.»: Можно ли предложенные методики использовать для чтения схем и ремонта двухтактных усилителей?

«И. Б.»: Предложенную методику чтения схем и объяснения каскада можно использовать при освоении двухтактных трансформаторных каскадов, но для двухтактных комплиментарных и квазикомплиментарных усилителей она подходит только частично, там есть свои особенности. Это тема отдельного разговора. Эту методику с некоторыми изменениями можно использовать при рассмотрении генераторов. Методика поиска неисправностей - это очень индивидуальная вещь. Ей можно и нужно пользоваться, но не в слепую. Каждый ремонтник имеет, обычно, собственную методику отыскания неисправностей, которую шлифует всю жизнь. В заключение хочу предложить читателям самостоятельно разобраться со схемой,

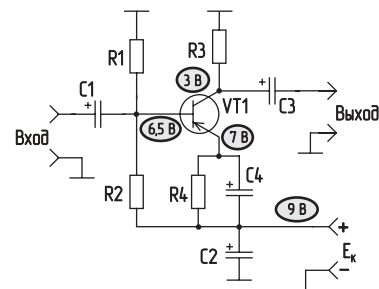


Рис. 50. Принципиальная схема усилительного каскада с ОЭ на р-п-р транзисторе с положительным источником питания

работой и особенностями методики отыскания неисправностей усилительного каскада с ОЭ на р-п-р транзисторе с положительным источником питания, принципиальная схема которого показана на рис.50.