

НГТУ, ФЛА

**Сборник лабораторных работ
по схемотехнике.**

Новосибирск 2023

Сборник лабораторных работ по схемотехнике

Методическое пособие

УДК

Рецензенты:

Литвиненко С.А.

Сборник лабораторных работ по схемотехнике: метод. пособие/ С.А. Литвиненко;
под ред. В.П. Ющенко. - Новосибирск: Из-во НГТУ, 2023. - 46с.

ISBN

Аннотация

Оглавление

Лабораторная работа №1. Исследование DC-DCпреобразователя напряжения.	6
1. Цель работы	6
2. Сведения необходимые для выполнения работы	6
Дроссель.	6
Однослойная катушка.	7
Тороидальная катушка.	7
Многослойная катушка.	8
Схемы линейных источников питания.	8
Дополнительные элементы блока питания	10
Обратноходовой DC-DCпреобразователь.	13
Повышающий DC-DCпреобразователь.	14
Понижающий DC-DCпреобразователь.	14
Косой полумост	15
3. Описание лабораторного стенда	15
4. Рабочее задание	16
Задание 1. Схема DC-DCпреобразователя.	16
Задание 2. Измерение электрических параметров.	17
Задание 3. Выводы.	17
5. Контрольные вопросы.	18
Лабораторная работа №2. Исследование усилителя на биполярных транзисторах.	19
1. Цель работы	19
2. Сведения необходимые для выполнения работы	19
Усилитель класса А.	19
Усилитель класса В.	21
Усилитель класс АВ.	22
Усилитель класса С, Н, G	22
Усилитель класса D.	24
Усилитель постоянного тока.	25
Операционные усилители.	26
Широкополосный усилитель.	28
Импульсный усилитель.	29
Дифференциальный усилитель.	31
Обратные связи.	32
Логарифмический масштаб, децибелы.	34
Амплитудно-частотная характеристика.	36
Амплитудная характеристика.	38
Переходная характеристика.	39
Входное и выходное сопротивление усилителя.	40
3. Описание лабораторного стенда	41
4. Рабочее задание	42
Задание 1. Схема широкополосного усилителя.	42
Задание 2. Настройка макета усилителя.	42
Задание 3. Измерения АЧХ.	42

Задание 4. Измерения АХ.	42
Задание 5. Исследование влияния обратной связи в усилителе.	43
Задание 6. Выводы.	43
5. Контрольные вопросы	43
Лабораторная работа №3. Исследование автогенераторного датчика.	44
1. Цель работы	44
2. Сведения необходимые для выполнения работы.....	44
Общие условия самовозбуждения генераторов электрических колебаний.....	44
Обобщенная трехточечная схема генератора.	47
Емкостной генераторный датчик.....	47
Краткие теоретические сведения.	47
Принцип работы емкостного датчика.	48
Автогенераторный индуктивный датчик с использованием магнитной компоненты.	49
Принцип работы индуктивного датчика.	50
Взаимодействие с ферромагнитным телом.....	50
Взаимодействие с проводящим телом.....	51
Автодинный СВЧ датчик.....	51
Краткие теоретические сведения.	51
Схемотехника и конструктивные особенности автодинного датчика.	55
4. Рабочее задание	56
Задание 1. Схема автогенераторного датчика.	56
Задание 2. Настройка измерительного стенда.....	56
Задание 3. Измерения чувствительности/дальности/диаграммы направленности датчика.....	56
Задание 4. Измерения зависимости характеристик датчика от напряжения питания.	57
Задание 5. Выводы.	57
5. Контрольные вопросы	57
Приложение 1. Требования к отчету по лабораторной работе	58
Оформление отчета.	58
Порядок защиты отчета.	58
Приложение 2. XL4016 выдержка из datasheet.	59
Приложение 3. Краткие справочные данные по активным элементам, используемым в лабораторной работе 2.61	
Корпуса элементов и конфигурация выводов.Корпуса элементов и конфигурация выводов.....	61
Транзистор КТ3107.	61
Транзистор КТ3102.	62
Приложение 4. Краткие справочные данные к лабораторной работе 3.	63

Лабораторная работа №1. Исследование DC-DCпреобразователя напряжения.

1. Цель работы

Целью работы является:

- ознакомление с конструкцией и принципом действия DC-DCпреобразователей;
- исследование схем построения DC-DCпреобразователей;
- исследование режимов, измерение характеристик DC-DCпреобразователей.

2. Сведения необходимые для выполнения работы

Перед выполнением работы полезно ознакомиться со следующими вопросами:

- принцип действия дросселя
- схемы построения линейных источников питания
- схемы построения и принцип действия импульсных источников питания
- принцип действия повышающих DC-DCпреобразователей
- принцип действия понижающих DC-DCпреобразователей

Дроссель.

Дроссель – разновидность катушки индуктивности, предназначен для обеспечения большого сопротивления переменным токам и малого сопротивления постоянным (или низкочастотным) токам. Различают дроссели низкой и высокой частоты.

При пропускании через дроссель электрического тока, создается магнитное поле. В начальный момент времени дроссель не насыщен и создает сопротивление протеканию электрического тока, по мере насыщения магнитного поля электрический ток через дроссель повышается. Дроссель в насыщенном состоянии пропускает ток без ослабления. При резких, импульсных, изменениях напряжения, подаваемого на дроссель, не происходит скачкообразного увеличения протекания тока через дроссель и повышения напряжения на выходе дросселя не происходит, в силу его инерционности. Это свойство дросселя применяется в сетевых фильтрах и фильтрах питания. Дроссель подавляет высокочастотные скачки напряжения, называемые помехами. Отношение величины магнитного поля в дросселе к протекающему току называется индуктивностью, измеряется в Генри. Величина индуктивности зависит от числа витков медного провода в катушке, наличие сердечника может повысить индуктивность.

Если индуктивность дросселя достаточно велика, а импульсы, подаваемые на катушку короткие по продолжительности то, дроссель не успевает насыщать свое магнитное поле и «стопорит» протекание переменного тока. Эффект накопления магнитного поля применяется в понижающих DC-DCпреобразователях. Следствием этого является свойство – дроссель не может хранить накопленное магнитное поле и отдает его в виде электрического заряда зачастую большего потенциала чем было приложено. Это свойство применяется в повышающих DC-DC преобразователях.

Дроссели низкой частоты используются в сглаживающих фильтрах выпрямительных устройств для сглаживания пульсации напряжения. Их применяют в том случае, если источник питания должен отдавать большой ток (единицы ÷ сотни А) и требуется получить малые пульсации постоянного напряжения.

Дроссели высокой частоты используют в высокочастотных электронных цепях, где пропускают токи только низких частот. При изготовлении стремятся, чтобы собственная емкость была минимальной.

В зависимости от конструкции формулы для расчета индуктивности отличаются друг от друга.

Однослойная катушка.

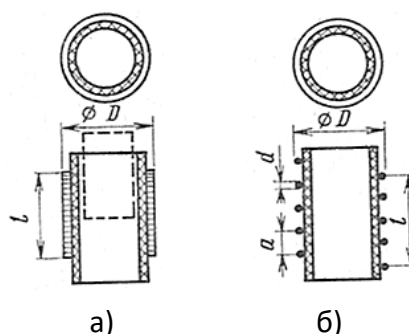


Рис. 1.1. Однослойная цилиндрическая катушка, а – при плотной намотке, б – при шаге намотки более диаметра проводника.

$$L = w^2 \cdot D \cdot 10^{-3} \left(\frac{l}{D} + 0,45 \right) \quad 1.1$$

$$\Delta L = 0,25 \cdot w \cdot D \cdot 10^{-4} \left(\frac{a}{d} - 1 \right) \cdot \left(12 - \frac{a}{d} \right) \quad 1.2$$

где L – индуктивность (мкГн), w – количество витков, D и l – диаметр и длина катушки (мм).

При намотке с шагом a , превышающим диаметр провода (рис. 1.1. б), индуктивность рассчитывается по формуле (1.1) но к полученному результату прибавляется поправка ΔL (мкГн).

Тороидальная катушка.

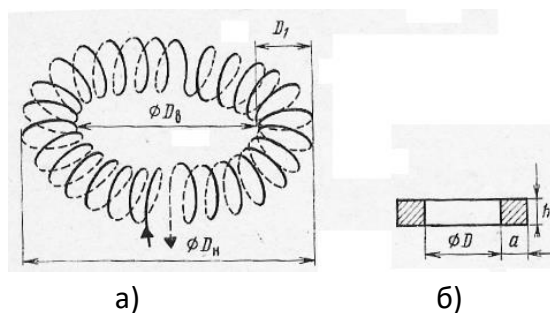


Рис. 1.2. Тороидальная катушка, а – однослойная без сердечника, б – с круглым ферритовым сердечником прямоугольного сечения (в разрезе).

$$L \approx 3,1 \cdot 10^{-4} \cdot w^2 \cdot D_1^2 / D \quad 1.3$$

$$D = 0,5 \cdot (D_H + D_B) \quad 1.4$$

$$L = 3,7 \cdot 10^{-4} \cdot \mu \cdot w^2 \cdot h \cdot \left[\left(\frac{a}{D} \right) - 0,4 \cdot \left(\frac{a}{D} \right)^2 \right] \quad 1.5$$

Где D_1 – диаметр поперечного круглого сечения катушки (диаметр витка), D – средний диаметр кольца (тороида) (мм), μ – магнитная проницаемость материала сердечника, h – измеряется в мм.

Формулы (1.3) – соответствует цилиндрической однослойной катушке без сердечника, (1.5) – соответствует цилиндрической однослойной катушке с кольцевым ферритовым сердечником прямоугольного сечения.

Многослойная катушка.

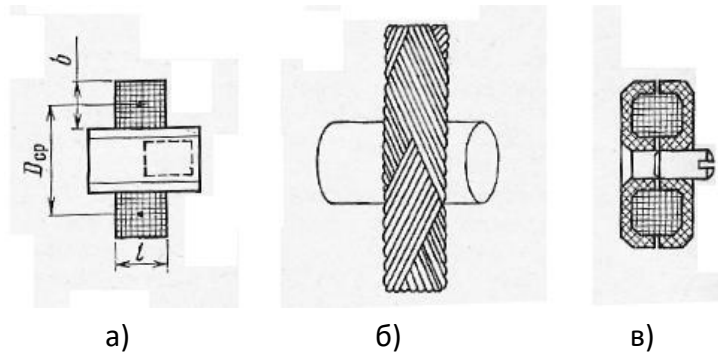


Рис. 1.3. Многослойная катушка, а – намотка рядами, б – намотка «универсаль», в – катушка с регулируемым сердечником.

$$L = 10^{-3} \cdot w^2 \cdot D_{cp} / (1,25 \cdot l / D_{cp} + 1,25 \cdot b / D_{cp} + 0,375) \quad 1.6$$

$$w = 32 \sqrt{L / D_{cp} \cdot (1,125 \cdot l / D_{cp} + 1,25 \cdot b / D_{cp} + 0,375)} \quad 1.7$$

Намотка многослойной катушки делается рядами (рис. 1.3 а), «вразброс», либо «универсаль» (рис. 1.3. б). Многослойная зигзагообразная (сотовая) намотка «универсаль» уменьшает собственную (межвитковую) емкость катушки и собственно потери радиочастотной энергии в изоляции провода (диэлектрические потери), что увеличивает добротность катушки Q_L . Индуктивность многослойной катушки находится по формуле (1.6). Число витков, необходимое для получения заданной индуктивности (1.7).

Сердечник в виде цилиндрического стержня из феррита или карбонильного железа (штриховая линия на рис 1.3 а) увеличивает индуктивность в 1,5 ... 2 раза либо позволяет получить требуемую индуктивность с меньшим на 30...40% числом витков, соответственно уменьшая сопротивление потерь в проводе катушки r_L и возрастает добротность катушки Q_L .

Схемы линейных источников питания.

Линейные источники питания часто еще называют трансформаторными источниками питания, поскольку основным элементов задания величины выходного напряжения является трансформатор. Трансформатор, либо силовой трансформатор работает в сетях переменного тока (50Гц или 400Гц). Основная задача трансформатора – трансформация

мощности, т.е. трансформатор может понизить или повысить напряжение сохраняя мощность (за исключение потерь при этом процессе). В понижающем трансформаторе напряжение на входе понижается до напряжения на выходе в коэффициент трансформации раз, при этом мощность сохраняется, т.е. ток в нагрузке будет больше тока потребляемого трансформатором из первичной сети, мощность остается неизменной как в первичной цепи, так и во вторичной.

Наиболее распространенный вариант блок-схемы линейного источника питания изображён на рис. 1.4. Большинство линейных источников небольшой мощности строится в соответствии с данной схемой. Если источник должен иметь несколько выходных напряжений (несколько выходных каналов), то каждый канал может быть построен по аналогичной схеме и тогда он будет полностью независимым от остальных. Но чаще канал имеет не отдельный трансформатор, а отдельную вторичную обмотку на общем трансформаторе. Либо может даже использоваться общая обмотка и выпрямитель, а разные выходные напряжения получаются от отдельных стабилизаторов (при одинаковой полярности этих напряжений). Конечно, возможны и самые разнообразные комбинации указанных вариантов - в зависимости от того, какой из них окажется оптимальным с учётом требований к источнику питания.

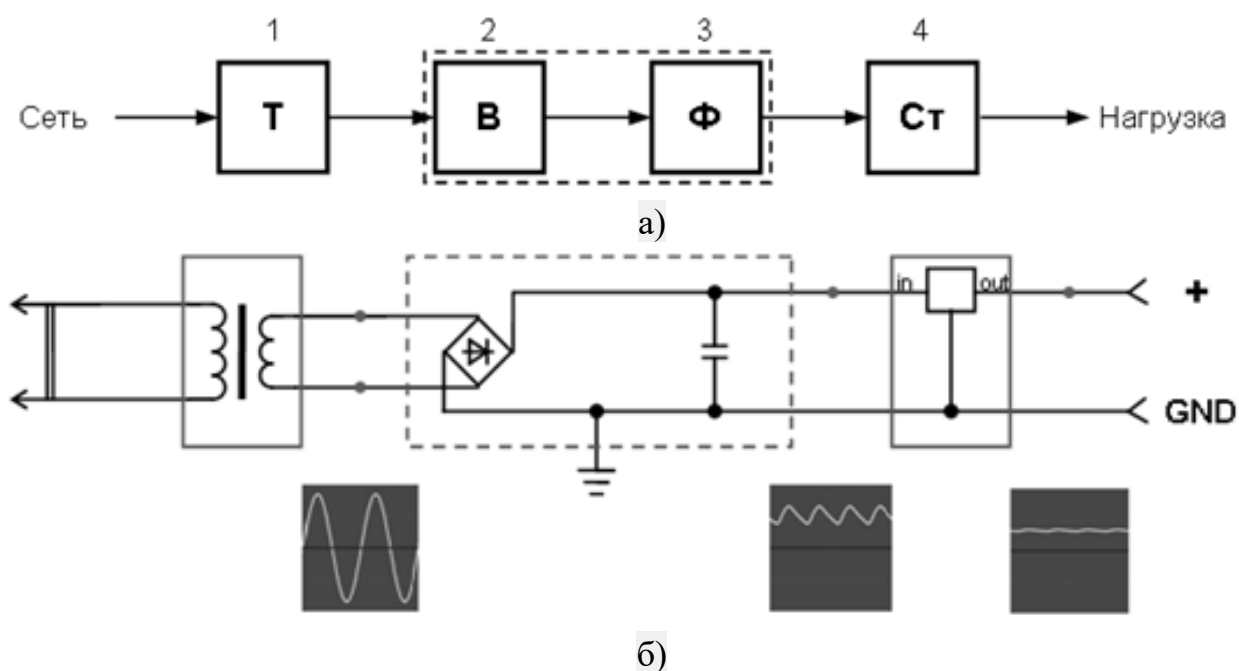


Рис. 1.4. Линейный источник питания, а – блок-схема, б – пример реализации схемы электрической принципиальной.

На рис. 1.4 а, приведена типичная блок-схема линейного источника питания. На рис. 1.4 б, схемотехническая реализация приведенной выше блок-схемы. На выходе имеем положительный потенциал относительно общего провода стабилизированный интегральным линейным стабилизатором 78L05 (на 5 вольт) или аналогичным, при модификации можно заменить стабилизатор на схему для получения отрицательного потенциала применив стабилизатор 19L05 (на -5 вольт); можно совместить две схемы в одном устройстве для получения двухполярного источника питания.

На рис. 1.4. а:

Т - трансформатор. Преобразует напряжение сети в требуемое по величине напряжение (с таким расчётом, чтобы на выходе выпрямителя напряжение было достаточным для нормальной работы стабилизатора), а также осуществляет гальваническую развязку с сетью, обеспечивая безопасность работы с питаемым от данного источника устройством.

В - выпрямитель. Выпрямляет переменное напряжение, получаемое с вторичной обмотки трансформатора, т.е. преобразует переменное напряжение в постоянное, точнее - пульсирующее одной полярности. Обычно используется мостовой двухполупериодный выпрямитель, реже - двухполупериодный со средней точкой (требует наличия у трансформатора двух идентичных вторичных обмоток), ещё реже - однополупериодный (при крайне малых токах нагрузки, например, для питания вспомогательных цепей устройства).

Ф - сглаживающий фильтр. Уменьшает уровень пульсаций. Обычно в качестве фильтра используется конденсатор достаточно большой ёмкости. В особых случаях используются более сложные схемы, включающие дроссель и несколько конденсаторов.

Ст - стабилизатор. Поддерживает выходное напряжение на заданном уровне, обеспечивая его стабильность при изменениях входного напряжения в допустимых пределах, а также при изменениях тока нагрузки. В частности, подавляет пульсации напряжения, остающиеся после сглаживающего фильтра.

Как бы ни были просто устроены линейные блоки питания, с развитием элементной базы, появляются новые технические решения. Например, сейчас существуют весьма совершенные (стабильные и точные) источники опорного напряжения, которые могут использоваться в схемах стабилизации (вместо стабилитронов с присущими им недостатками). И даже есть законченные стабилизаторы в виде интегральных схем, имеющие собственный встроенный источник опорного напряжения и не требующие дополнительных внешних элементов. Они обладают весьма хорошими характеристиками; в них бывают реализованы дополнительные полезные функции (такие, как защита от перегрузки, защита от перегрева). Среди них есть модели достаточно мощные.

Дополнительные элементы блока питания

Для расширения функциональности, повышения удобства пользования, улучшения характеристик и увеличения надёжности, в базовую структуру источника питания вводят дополнительные компоненты. Важнейшими из них являются элементы защиты: от короткого замыкания в блоке питания или от замыкания одной из линий сети на заземляющий провод, от перегрузки по току на выходе, от превышения допустимого значения выходного напряжения (вследствие неисправности источника), от перегрева.

Может присутствовать фильтр от электромагнитных помех на входе. Обязательный для импульсных источников, в линейных, по правде говоря, встречается редко - как правило, острая необходимость в нём отсутствует.

Желательно наличие специфичной именно для трансформаторных источников цепи подавления переходных процессов - RC цепи, подключённой к первичной обмотке трансформатора.

Возможно наличие элементов управления (сетевой выключатель, переключатель для выбора номинального напряжения сети 230/115 В, регулятор выходного напряжения, регулятор величины ограничения выходного тока) и индикации (световой индикатор включения, индикатор выходного напряжения и тока).

Весьма полезными могут оказаться разного рода индикаторы. Это могут быть простые световые индикаторы (индикатор включения, индикатор перегрузки) или более информативные - амперметр и вольтметр для измерения выходного тока и напряжения соответственно.

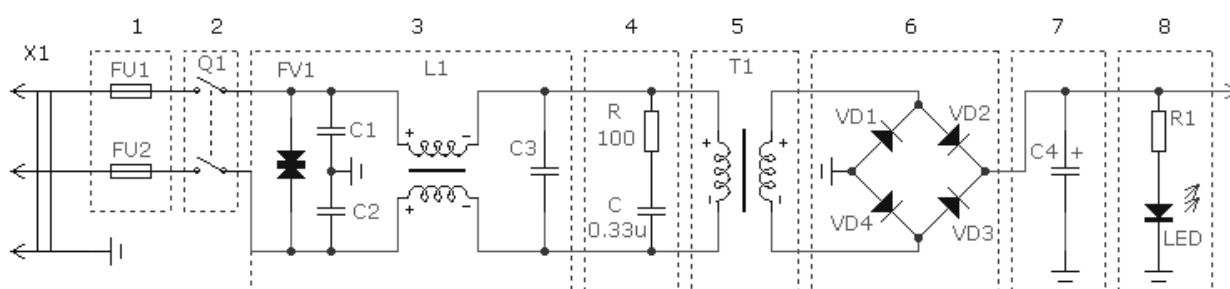


Рис. 1.5. Линейный источник с дополнительными функциями.

На рис. 1.5 приведена схема источника с некоторыми из перечисленных дополнительных компонентов:

1 - блок плавких предохранителей FU1, FU2; обеспечивает защиту от коротких замыканий в блоке питания и в некоторых случаях от перегрузки на выходе;

2 - выключатель Q1; добавлен для удобства включения/отключения устройства;

3 - защита от высоковольтных всплесков в сети FV1 и фильтр электромагнитных помех L1, C1, C2, C3;

4 - RC-цепь гашения переходных процессов в трансформаторе при отключении от сети;

5, 6, 7 - базовая часть схемы (трансформатор, выпрямитель, фильтр);

8 - индикатор включения - светодиод LED.

На схеме не показаны устройства стабилизации и защиты от перегрузок и перенапряжения на выходе.

Для маломощных устройств, компоненты защиты не являются обязательными. Естественно, что в маломощных источниках питания используются маломощные трансформаторы. И если для мощных трансформаторов короткое замыкание крайне опасно и приводит к перегреву и разрушению, то маломощные трансформаторы намного более терпимы к перегрузкам и коротким замыканиям. Более того, часто трансформаторы малой мощности (единицы ватт) проектируются полностью устойчивыми к короткому замыканию. То есть, для них короткое замыкание вторичной обмотки при номинальном напряжении на первичной - допустимый режим, в котором трансформатор способен работать длительное время и при этом не будет происходить перегрева свыше определённого значения. Ток вторичной обмотки при коротком замыкании не превышает определённой известной величины и если схему выпрямления и стабилизации рассчитать

на этот ток, то дополнительных мер по ограничению тока нагрузки не потребуется - полностью устойчивый к короткому замыканию трансформатор ограничит ток естественным образом.

Одновременно автоматически решается проблема с броском тока, возникающим при заряде конденсатора сглаживающего фильтра в момент подключения блока питания к сети. Этот ток также ограничивается трансформатором. В данном случае даже не требуется полная устойчивость трансформатора к короткому замыканию в виду кратковременности процесса.

Что касается RC-цепи (блок 4 на рис. 1.5), которая ограничивает ЭДС самоиндукции при размыкании цепи первичной обмотки трансформатора (т.е. при отключении от сети), то её наличие желательно, если возможны ситуации, когда трансформатор отключается от сети при ненагруженных вторичных обмотках. В этих случаях трансформатор ведёт себя как очень большая индуктивность со всеми вытекающими последствиями (возникает импульс высокого напряжения на первичной обмотке при отключении от сети, в результате - искрение в контактах выключателя и их обгорание, излучение импульсной помехи, способной повлиять на работу расположенной рядом чувствительной аппаратуры). Если же хотя бы к одной вторичной обмотке подключён выпрямитель со сглаживающим фильтром, то этот фильтр будет выполнять функцию подавления выбросов напряжения даже лучше RC-цепи на входе (ввиду очень большой ёмкости конденсатора в фильтре*). Конечно, остаётся эффект от индуктивности рассеяния, но она во много раз меньше собственной индуктивности обмотки и возникающий на ней импульс будет в некоторой степени подавлен небольшой паразитной ёмкостью обмотки.

* Например, пусть имеем трансформатор с входным номинальным напряжением 230 В, коэффициентом трансформации $1/23$ (10 В на выходе на холостом ходу и номинальном напряжении на первичной обмотке); пусть конденсатор фильтра имеет довольно скромную ёмкость 1000 мкФ; тогда этот конденсатор будет эквивалентен конденсатору на входе ёмкостью $1000 * (1 / 23)^2 = 1.9$ мкФ - более чем достаточная величина.

С другой стороны, фильтр электромагнитных помех и RC-цепь в некоторой степени снижают надёжность блока питания. Если качественный трансформатор сам по себе очень устойчив к высоковольтным всплескам напряжения, то конденсаторы более чувствительны к подобным воздействиям. В результате, блок питания в целом окажется более требователен к качеству напряжения в сети.

От многих дополнительных элементов можно отказаться, но наличие предохранителей на входе блока питания (FU1, FU2 на схеме) всё же желательно - на случай короткого замыкания в первичной обмотке трансформатора, например.

* Например, пусть имеем трансформатор с входным номинальным напряжением 230 В, коэффициентом трансформации $1/23$ (10 В на выходе на холостом ходу и номинальном напряжении на первичной обмотке); пусть конденсатор фильтра имеет довольно скромную ёмкость 1000 мкФ; тогда этот конденсатор будет эквивалентен конденсатору на входе ёмкостью $1000 * (1 / 23)^2 = 1.9$ мкФ - более чем достаточная величина.

Обратноходовой DC-DC преобразователь.

DC-DC преобразователь, это преобразователь энергии из постоянного напряжения (DC-Direct Current) в постоянное большей либо меньшей амплитуды, т.е. повышающие либо понижающие преобразователи. DC-DC преобразователи не ограничиваются понижением или повышением амплитуды, они так же бывают различной полярности, мощности, и наличия сразу нескольких различных фиксированных либо регулируемых напряжений с ограничением тока и наличия различного рода защит и фильтров.

В состав обратноходового преобразователя обязательно входит многообмоточный дроссель, по конструкции напоминает трансформатор и способен выполнять функцию трансформации мощности, но работает по принципу дросселя.

На вход обратноходового преобразователя (рис. 1.6) подается постоянное напряжение, либо сетевое переменное напряжение выпрямляется с помощью диодного моста D1, пульсации сглаживаются фильтром C1 и затем подается на вход преобразователя. В первом такте, открывается транзистор Q1, в первичной обмотке дросселя формируется магнитное поле. При закрытии транзистора Q1 дросселю необходимо сбросить магнитное поле, однако сделать это в первичной обмотке невозможно в силу высокого сопротивления закрытого транзистора. Поскольку сердечник является общим для первичной и вторичной обмоток то магнитное поле, запасенное в дросселе, разряжается по пути наименьшего сопротивления, т.е. через вторичную обмотку.

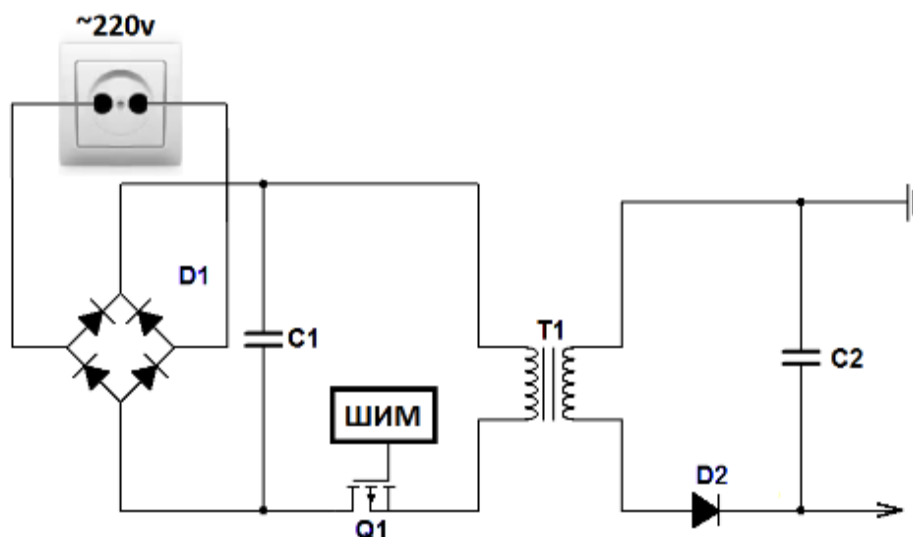


Рис. 1.6. Обратноходовой преобразователь.

Диод D2 задает направление протекания разрядного тока от дросселя в конденсатор C2 и одновременно препятствует протеканию тока вызванного трансформацией зарядного тока первого такта (оно обратной полярности во вторичной цепи). Амплитуда напряжения на выходе задается длительностью импульса ШИМ, управляющего транзистором Q1. По сути, обратноходовая схема напоминает повышающую схему DC-DC преобразователя, однако энергия накапливается через первичную обмотку дросселя, а разряжается через вторичную обмотку, обеспечивая гальваническую развязку между первичной и вторичной цепью. На выходе обратноходового преобразователя чаще всего напряжение ниже, чем на входе, потому что напряжение снимается только со вторичной обмотки, а по аналогии с

трансформатором имеем пониженный коэффициент трансформации. В отличие от классического трансформатора во вторичной обмотке ток не индуцируется первичной обмоткой во вторичную (этому препятствует диод D2) а само индуцируется вторичной обмоткой. Сердечник дросселя выполняет роль передаточного элемента для магнитного поля.

Повышающий DC-DC преобразователь.

Схема повышающего DC-DC преобразователя приведена на рис. 1.7. Рассмотрим принцип действия. По умолчанию транзистор Q в закрытом состоянии, в первом такте транзистор Q открывается и дроссель L начинает насыщаться магнитным полем. При закрытии транзистора на выводах дросселя возникает разность потенциалов, напряжение нарастает, ток протекает через диод D на выход. При многократном повторении цикла пульсации выходного напряжения сглаживаются конденсатором C. ШИМ формирует импульсы управления транзистором, изменением длительности импульсов можно управлять амплитудой напряжения на выходе. Поскольку источник питания и дроссель включены последовательно то на выходе образуется суммарное напряжение источника питания и напряжения пропорционального ЭДС самоиндукции дросселя.

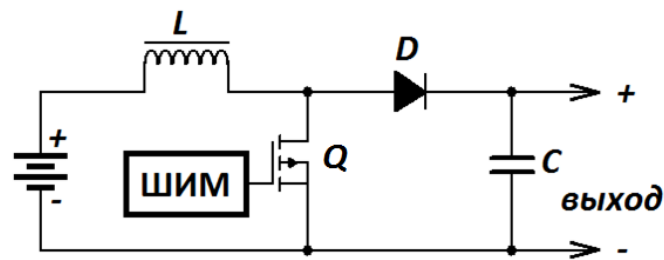


Рис. 1.7. Повышающий DC-DC преобразователь.

Понижающий DC-DC преобразователь.

Схема понижающего DC-DC преобразователя приведена на рис. 1.8. Рассмотрим принцип действия. По умолчанию транзистор Q в закрытом состоянии, в первом такте транзистор Q открывается и дроссель L начинает насыщаться магнитным полем.

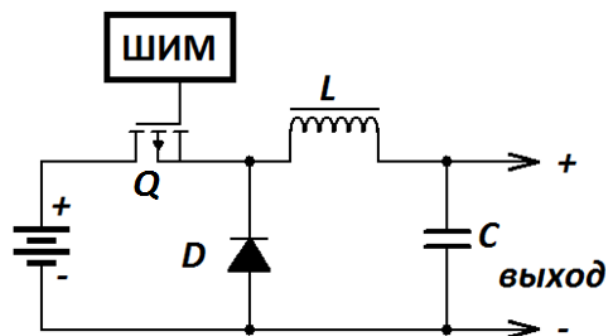


Рис. 1.8. Понижающий DC-DC преобразователь.

При закрытии транзистора Q на выводах дросселя L возникает разность потенциалов, напряжение нарастает, ток протекает на выход, заряжает конденсатор C и через диод D который включен в прямом направлении цепь замыкается и дроссель L может разрядиться на нагрузку. Поскольку транзистор Q управляемый ШИМ отключает дроссель от источника питания то на выходе формируется напряжение пропорциональное ЭДС

самоиндукции дросселя L , т.е. оно ниже, чем на источнике питания. Регулируя длительность импульса, в течении которого транзистор Q будет в открытом состоянии, с помощью ШИМ можно регулировать напряжение на выходе.

Косой полумост

Схема понижающего преобразователя напряжения на базе косого полумоста приведена на рис. 1.9. Рассмотрим принцип действия. Сетевое напряжение выпрямляется с помощью диодного моста $D1$, пульсации сглаживаются конденсатором $C1$. По умолчанию транзисторы $Q1$ и $Q2$ работают в синхронном режиме и находятся в закрытом состоянии. По команде ШИМ импульс открывает транзисторы $Q1$ и $Q2$ одновременно. Через первичную обмотку трансформатора T протекает ток. Посредством электромагнитной индукции импульс (протекающий ток) из первичной обмотки передается во вторичную. Во вторичной цепи ток протекает через диод $D4$ смещенный в прям направлении (т.е. открыт) и попадает в цепь понижающего DC-DC преобразователя из $L1$, $C2$, $D5$ насыщая дроссель $L1$. При закрытии транзисторов $Q1$ и $Q2$ в трансформаторе T возникает ЭДС самоиндукции во вторичной обмотке диод $D4$ препятствует протеканию тока самоиндукции. В первичной цепи трансформатора T ток самоиндукции протекает через диоды $D2$ и $D3$ заряжая конденсатор $C1$. Таким образом паразитный эффект самоиндукции в трансформаторе T позволяет возвращать часть энергии в конденсатор $C1$ тем самым повышая КПД преобразователя. Длительность импульса формируемая ШИМ позволяет регулировать время открытия транзисторов $Q1$ и $Q2$, тем самым регулируя напряжение на выходе.

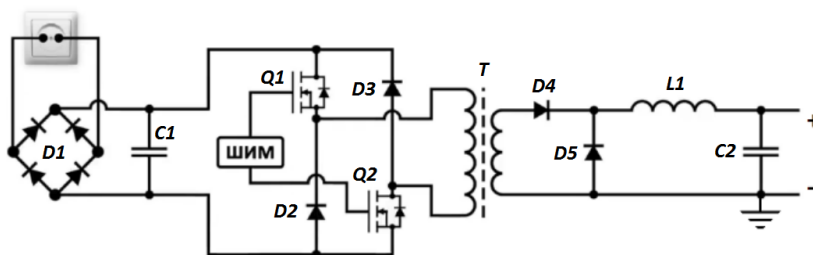


Рис. 1.9. Косой полу мостовой AC-DC преобразователь.

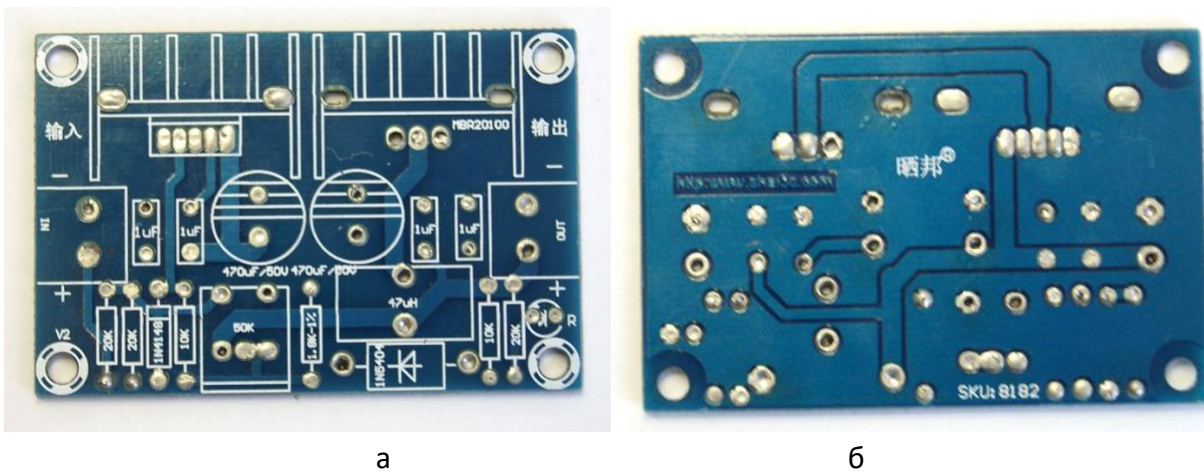
3. Описание лабораторного стенда

В состав лабораторного стенда входят:

- Осциллограф цифровой GDS820C;
- Источник питания постоянного тока E3631A;
- Мультиметр цифровой DT9205A или M830L;
- Понижающий DC-DC преобразователь на базе XL4016, на рис. 1.10 и 1.11 приведен внешний вид макета;
- Нагрузка $R1$ и $R2$.
- Соединительные провода.



Рис. 1.10 Макет понижающего DC-DC преобразователя напряжения.



а

б

Рис. 1.11 Печатная плата понижающего DC-DC преобразователя напряжения, а – лицевая сторона, б – обратная сторона.

Измерительный стенд формируется в соответствии с заданием из предложенного перечня приборов по указаниям методического руководства либо по указанию преподавателя.

4. Рабочее задание

Задание 1. Схема DC-DC преобразователя.

По топологии предложенного макетного образца DC-DC преобразователя восстановить схему электрическую принципиальную. При выполнении задания учитывать информацию из datasheet на элемент XL4016 (приложение 2) и других элементов входящих в состав преобразователя. По итогу выполнения задания быть готовыми пояснить порядок работы схемы и включения элемента XL4016.

Задание 2. Измерение электрических параметров.

Собрать стенд согласно схеме на рис. 1.12. В качестве амперметра использовать мультиметр в режиме измерения токов. В качестве вольтметра использовать осциллограф в режиме « V_{rms} ». В качестве нагрузки используются лампы накаливания на различное рабочее напряжение.

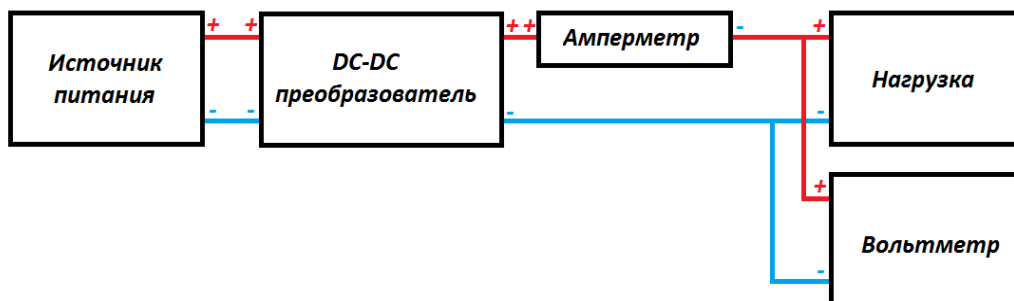


Рис. 1.12. Блок-схема стенда.

Провести измерения, по результатам заполнить таблицу 1. В таблице приведены ориентировочные значения, носят рекомендательный характер.

Таблица 1.

	$U_{вх}$ (В)	$I_{вх}$ (мА)	$P_{вх}$ (мВт)	$U_{вых}$ (В)	$I_{вых}$ (мА)	$P_{вых}$ (мВт)	КПД	
$R_{н1}$	8	не более 1000 *		2				
				4				
				6				
	20			6				
				12				
				18				
$R_{н2}$	8	не более 1000 *		2				
				4				
				6				
	20			6				
				12				
				18				

* $I_{вх}$ зависит от режима работы преобразователя и нагрузке, источник питания E3631A выдает ток в канале «+25В» не более 1А.

Задание 3. Выводы.

По результатам измерений и исследованию схемы DC-DC преобразователя сделать выводы. В выводах рассмотреть вопросы:

- КПД преобразования напряжения в зависимости от режима работы, от величины нагрузки.
- Стабилизация напряжения на выходе при изменении напряжения на входе в широких пределах.
- Минимально возможное напряжение на выходе.

Выводы соотнести со сведениями из datasheetна элемент XL4016.

5. Контрольные вопросы

1. Поясните принцип работы повышающего DC-DCпреобразователя напряжения.
2. Поясните принцип работы понижающего DC-DCпреобразователя напряжения.
3. Поясните принцип работы обратноходового DC-DC преобразователя напряжения.
4. Поясните принцип работы прямо ходового DC-DCпреобразователя напряжения.
5. Поясните принцип работы DC-DCпреобразователя напряжения на косом полумосте.
6. Поясните принцип работы линейного DC-DCпреобразователя напряжения.
7. Каким образом понизить собственную емкость катушки индуктивности.
8. С какой целью в замкнутых сердечниках катушек (трансформаторов, дросселей) делают воздушный зазор.
9. Сточки зрения схемотехники каким образом возможна регулировка напряжения на выходе DC-DCпреобразователя напряжения.
10. В чем отличие AC-DCпреобразователей от DC-DC преобразователей напряжения.
11. Поясните принцип действия защиты (любой вид защиты на выбор) в источниках питания.
12. Каким образом повысить мощность DC-DCпреобразователя напряжения.

Лабораторная работа №2. Исследование усилителя на биполярных транзисторах.**1. Цель работы**

Целью работы является:

- ознакомление с конструкцией и принципом действия усилителя сигналов;
- исследование схем построения усилителей;
- исследование влияния обратных связей в усилителях;

2. Сведения необходимые для выполнения работы

Перед выполнением работы полезно ознакомиться со следующими вопросами:

- классы усилителей А, В, АВ, С, D;
- схемы усилителей постоянного тока, широкополосного, импульсного, высокочастотного и прочих усилителей;
- обратные связи в усилителях;
- операционные усилители;
- децибел, логарифмическая и линейная шкалы графиков;
- амплитудно-частотная, амплитудная, фазовая, импульсная характеристики;
- входное и выходное сопротивление усилителя;

Усилитель класса А.

Считаются эталоном качества звука, из-за того, что режим работы выбирается на линейном участке, это позволяет достичь высокого качества звучания минимальным схемотехническим решением.

Рабочая точка «А» находится в центре линейного участка ВАХ транзистора, рис 2.1 и передаточной характеристике рис 2.2. Это говорит о том, что при отсутствии сигнала на входе, на выходе усилительного каскада половина напряжения питания и через выходной каскад усилителя протекает ток силой в половину от максимума, что есть не эффективно с энергетической точки зрения.

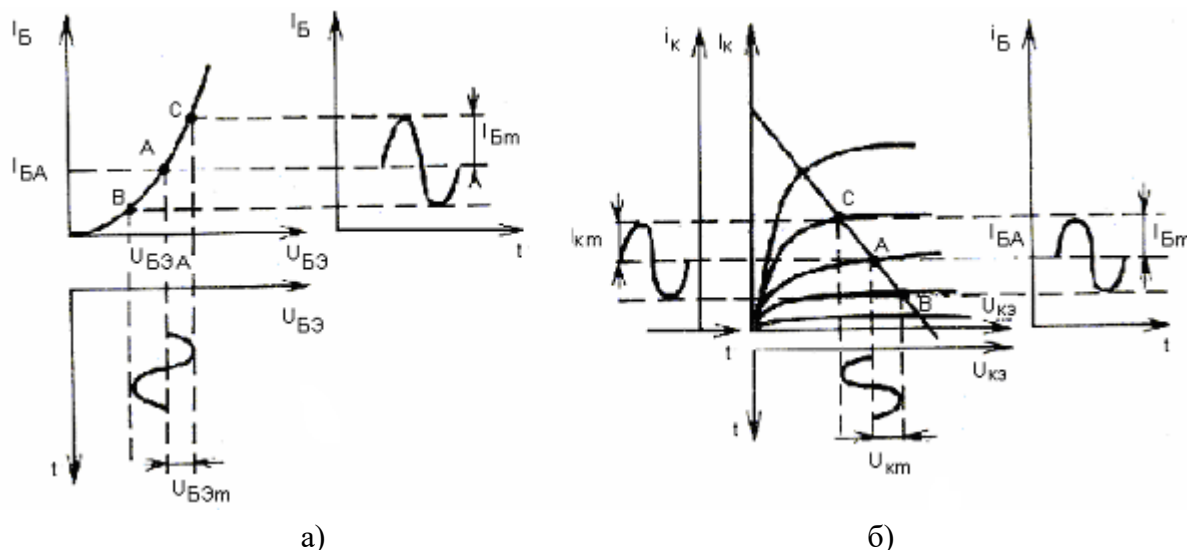


Рис. 2.1. Классы усиления А, В, С. а – положение рабочей точки на входной характеристике, б – положение рабочей точки на выходной характеристике.

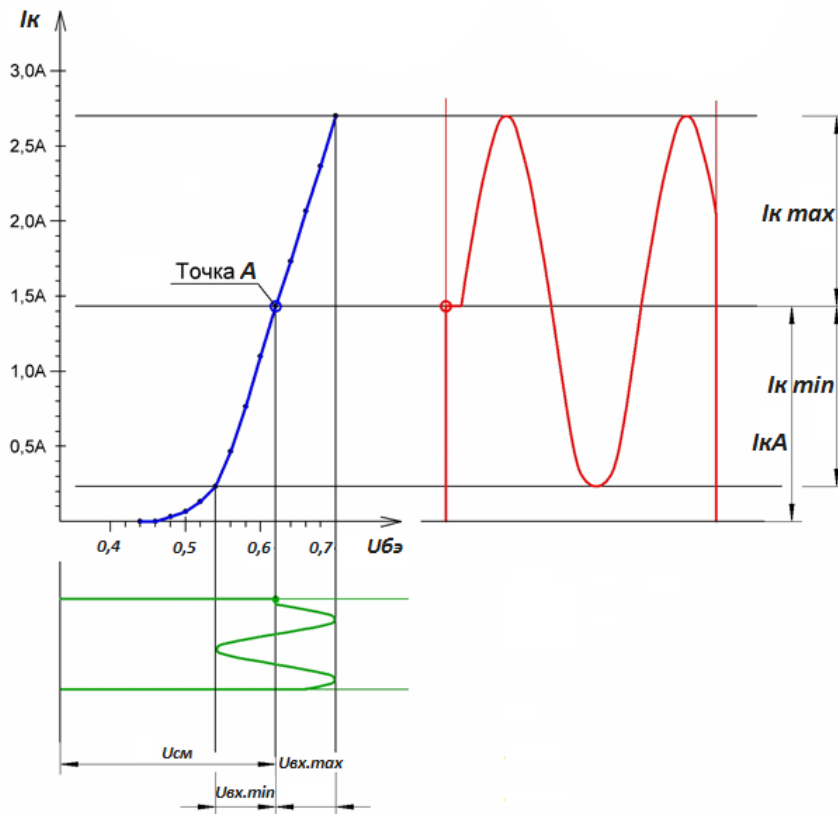


Рис. 2.2. Передаточная характеристика.

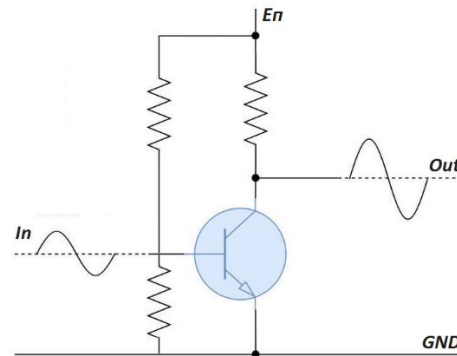


Рис. 2.3. Схемотехника усилительного каскада в классе А.

Первый каскад усилителей других классов, помимо класса А, обязательно работают именно в этом классе А, так как искажения и шум первого каскада усиливаются последующими каскадами. Но именно этот режим работы выделяет на транзисторе максимальное количество тепла. Как следствие появляются громоздкие системы охлаждения и большие сложности в создании мощного усилителя, не считая того, что усилителю надо время на прогрев и большого потребления электроэнергии.

На рис. 2.3. приведена схема построения усилительного каскада в режиме класса А. Эта схема имеет большое количество вариаций, однако суть принципа действия сводится к схеме приведенной на рис. 2.3.

Таким образом, из-за низкой эффективности и больших нагревательных проблем усилители класса А, не эффективны для использования в автономном режиме, зато у них наиболее высококачественный звук.

Усилитель класса В.

Усилители в классе В были изобретены в качестве повышения эффективности класса А и борьбы с нагревом в классе А. Усилитель класса В использует два биполярных либо полевых транзистора с разным типом проводимости для каждой половины сигнала, настроенные в режиме «Push-Pull», так что каждый транзистор каскада усиливает только половину выходного сигнала, рис 2.4.

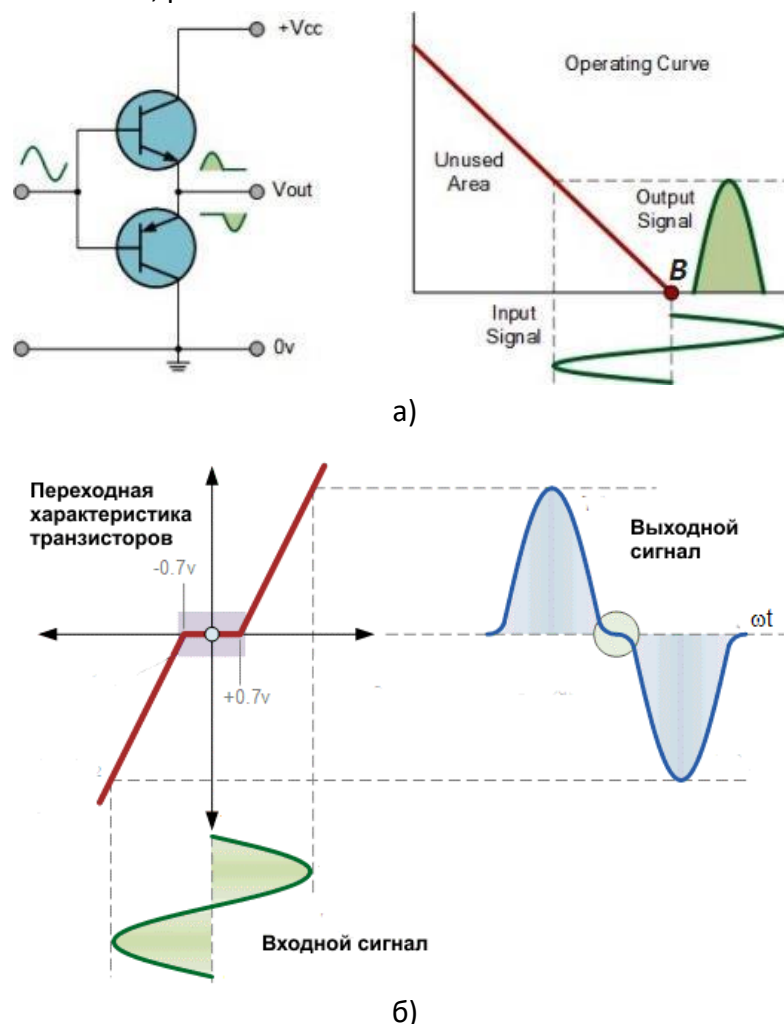


Рис. 2.4. Усилитель класса В.

В усилителе класса В, нет постоянного смещения базового тока, а ток покоя равен нулю, так что мощность постоянного тока мала и следовательно эффективность усилителя значительно выше, чем в А классе.

Когда входной сигнал находится в положительной полуволне то транзистор, отвечающий за положительную полуволну, открывается, а транзистор, отвечающий за отрицательную полуволну, запирается. Таким образом в каждый полу такт усилительный каскад усиливает только половину сигнала. В выходном каскаде эти обе половинки сигнала объединяются для получения цельного сигнала. В итоге усилитель В класса эффективнее чем А класс, но может создавать искажения в точке пересечения нулевого уровня сигнала из-за мертвой зоны транзисторов, напряжения отпириания $U_{бэ} - 0,7В$. Это означает, что часть сигнала от 0 до 0,7 вольт (или от 0 до -0,7В) не будут воспроизведены по линейному закону, соответственно возникнут звуковые искажения.

Усилитель класс АВ.

Усилитель класса АВ в схеме так же имеет два транзистора противоположной проводимости, отличается от класса В тем, что на базах транзисторов присутствуют начальные смещения напряжения, выводящие нулевую амплитуду сигнала в начальный линейный режим работы каждого из пары транзисторов. До настоящего момента усилитель класса АВ был самым качественным, экономичным и распространенным среди ценителей музыки. Пример схмотехнической реализации приведен на рис. 2.5.

Два транзистора имеют очень небольшое напряжение смещение, как правило от 5% до 10% от тока покоя для смещения транзисторов чуть выше точки отпирания. Напряжение смещения задается схмотехнически подбором диодов в цепи базы транзисторов для исключения искажения типа ступеньки между разнополярными полуволнами сигнала.

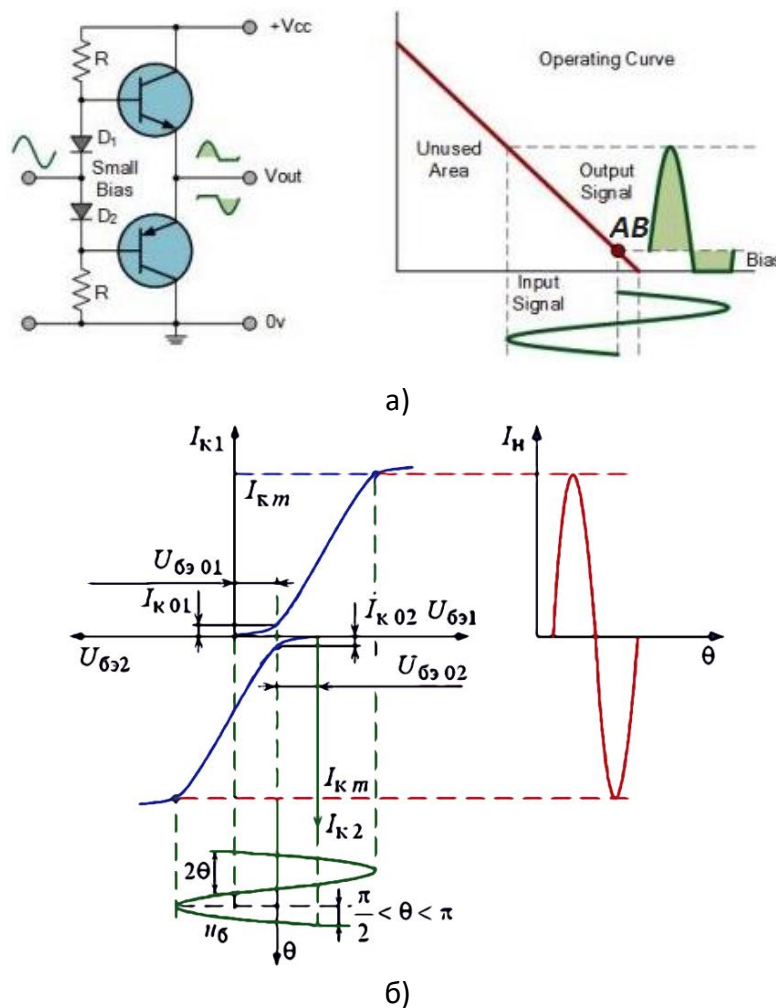


Рис. 2.5. Усилитель класса АВ.

Таким образом усилитель класса АВ хороший компромисс между классом А и классом В с точки зрения эффективности и линейности, эффективность преобразования входного сигнала с учетом потребления энергии на усиление составляет около 50-60%.

Усилитель класса С, Н, G

Усилители класса С имеют наибольшую эффективность, но и самую малую линейность. Предыдущие классы А, В, АВ считаются линейными усилителями, а выходные сигналы

амплитуды и фазы линейности связаны с входом амплитуду, которую дает сигналы и фазы. Тем не менее, усилитель в классе C, сильно смещен таким образом, что выходной ток равен нулю для более половины выходного синусоидального сигнала цикла с транзистором на холостом ходу. Другими словами, угол проводимости транзистора значительно меньше, чем 180 градусов, и как правило находится в районе 90 градусов. В то время как эта схема включения транзистора дает более высокую эффективность, около 80%, усилитель имеет большие искажения сигнала. Таким образом усилитель класса C не подходит для усиления звуковых частот с высоким качеством а используется для усиления высоких частот радиодиапазона.

Усилитель класса C, рис. 2.6 используется в высокочастотных усилителях радиочастот. Особенность такого рода усилителей заключается в наличии резонансного L-Сконтура в цепи коллектора усилителя.

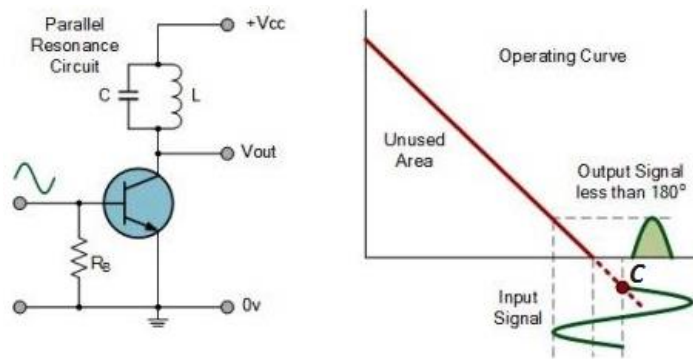


Рис. 2.6. Усилитель класса C.

Есть ряд высокоэффективных усилителей в разных классах, которые используют различные методы для снижения потерь мощности и повышения эффективности. Некоторые усилители используют RLC резонаторы или несколько напряжений питания, чтобы уменьшить потери мощности или цифровые DSP (цифровая обработка сигнала) усилители, которые используют широтно-импульсную модуляцию.

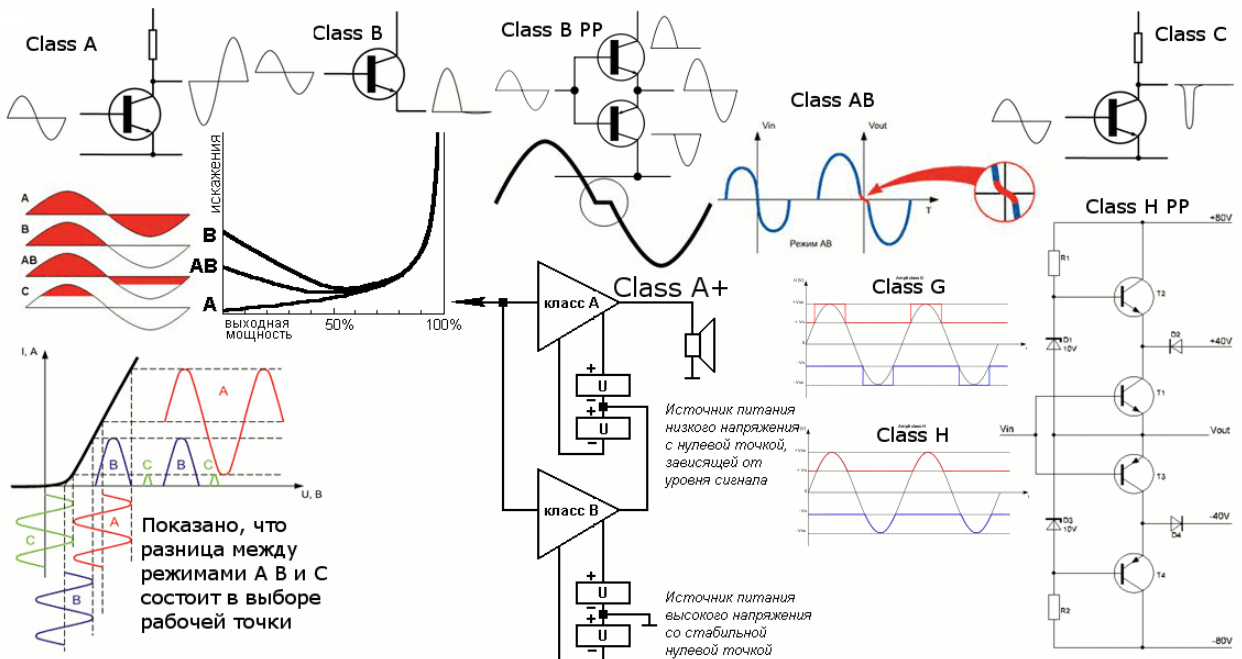


Рис. 2.7. Сравнение усилителей A, B, AB, C, H, G.

В усилителях Н-Классов, по сути, представляющих из себя класс АВ, используется дополнительный источник питания, подключаемый прямо на лету к выходному каскаду. Это позволяет немного повысить КПД.

Усилитель класса D.

Аудио усилители D класса являются нелинейными усилителями и используют ключевой или широтно-импульсный (ШИМ) режим работы. Иногда применяют положительную обратную связь для ускорения смены состояний – немыслимый трюк для других классов, приводящий к самовозбуждению.

Так как тепло в основном выделяется при переключении из одного состояния в другое, транзистор очень мало нагревается. Более высоким КПД обладают только режимы E и F, где переключение транзистора происходит в тот момент, когда через него не проходит ток (за счет работы в резонансе с нагрузкой). Но для звуковых усилителей такой режим не подходит из-за слишком больших искажений.

На самом деле качество усилителя D класса зависит от типа и частоты модуляции. А уже от этого зависит сложность схемотехники, необходимое качество компонентов и, соответственно, цена. Мощные транзисторы, способны работать на высокой частоте в ключевом режиме, как и высококачественные аналогово-цифровые преобразователи (ADC) могут стоить весьма внушительно.

Простейший представитель усилителя класса D основан на усилении широтно-импульсной модуляции с частотой более 50 кГц. По сути они являются аналоговыми устройствами, рис. 2.8.

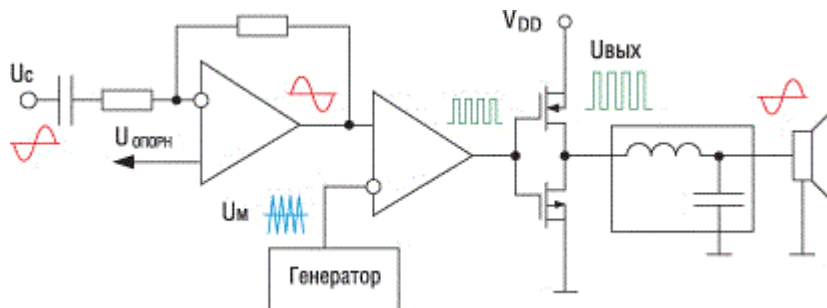


Рис. 2.8. Схема усилителя класса D.

Такая схема достаточно проста, и делается из дешёвых компонентов, но отсутствие обратной связи отрицательно сказывается на восприимчивости к помехам по питанию, рис. 2.9.

Именно такие усилители стали причиной мифов о плохом качестве звука в D классе, хотя это не так. Первые усилители класса А, работающие на лампах с плохим вакуумом и с железным трансформатором тоже не особо блистали характеристиками, но об этом предпочитают не вспоминать. Схемотехника и графики работы усилителя D класса приведены на рис. 2.9.

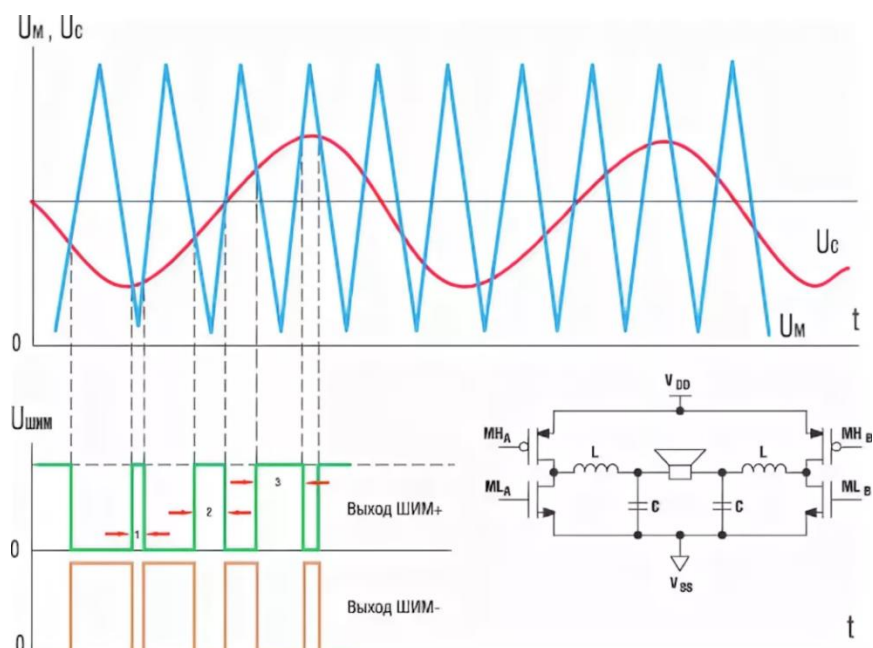


Рис. 2.9. Идеология усилителя D класса.

Усилитель постоянного тока.

Усилителями постоянного тока (УПТ) называют такие устройства, которые могут усиливать медленно изменяющиеся электрические сигналы, то есть они способны усиливать и переменные и постоянные составляющие входного сигнала.

Таким образом, для осуществления передачи сигналов частот, близких к нулю, в УПТ используется непосредственная (гальваническая) связь. Непосредственная связь может быть использована и в обычных усилителях переменного тока с целью уменьшения числа элементов, простоты реализации в интегральном исполнении, стабильности смещения и т.д.

При разработке УПТ приходится решать две основные проблемы: согласование потенциальных уровней в соседних каскадах и уменьшение дрейфа (нестабильности) выходного уровня напряжения или тока.

Применение усилительных каскадов в УПТ ограничивается дрейфом нуля. Дрейфом нуля (нулевого уровня) называется самопроизвольное отклонение напряжения или тока на выходе усилителя от начального значения. Этот эффект наблюдается и при отсутствии сигнала на входе. Поскольку дрейф нуля проявляется таким образом, как будто он вызван входным сигналом УПТ, то его невозможно отличить от истинного сигнала. Существует достаточно много физических причин, обуславливающих наличие дрейфа нуля в УПТ. К ним относятся нестабильности источников питания, температурная и временная нестабильности параметров транзисторов и резисторов, низкочастотные шумы, помехи и наводки. Среди перечисленных причин наибольшую нестабильность вносят изменения температуры, вызывающие дрейф.

С целью снижения дрейфа нуля в УПТ могут быть использованы следующие способы: применение глубоких ООС, использование термокомпенсирующих элементов, преобразование постоянного тока в переменный и усиление переменного тока с последующим выпрямлением, построение усилителя по балансной схеме и др.

Однотактные УПТ прямого усиления по сути своей являются обычными многокаскадными усилителями с непосредственной связью. В таком усилителе резисторы $R_{э1}$ и $R_{э2}$ не только создают местную последовательную ООС по току, но и обеспечивают необходимое напряжение $U_{БЭ0}$ в своих каскадах. В многокаскадном усилителе наблюдается последовательное повышение потенциала на эмиттере каждого транзистора.

Операционные усилители.

Операционным усилителем называют усилитель постоянного тока, предназначенный для выполнения различного рода операций над аналоговыми сигналами при работе в схемах с отрицательной обратной связью.

Операционные усилители обладают большим и стабильным коэффициентом усиления напряжения, имеют дифференциальный вход с высоким входным сопротивлением и несимметричный выход с низким выходным сопротивлением, малым дрейфом нуля. То есть под операционным усилителем понимают высококачественный универсальный усилитель.

Условные обозначения операционных усилителей приведены на рисунке 2.10.

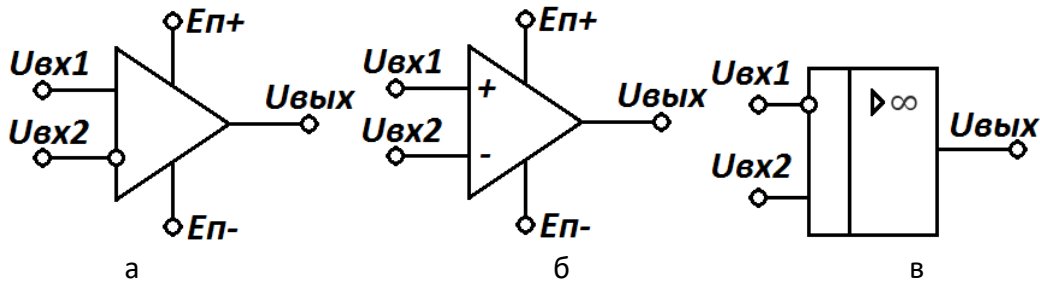


Рис. 2.10. Условные обозначения операционных усилителей

Один из входов, обозначенный знаком «+» называют не инвертирующим (прямым), так как сигнал на выходе и сигнал на этом входе имеют одинаковую полярность. Второй вход, обозначенный знаком «-», (его также обозначают знаком инверсии «o») называют инвертирующим, так как сигнал на выходе по отношению к сигналу на этом входе имеет противоположную полярность.

В таблице 2.1 приведены основные схемы включения операционных усилителей и формулы расчета выходных напряжений.

Таблица 2.1.

Схема включения	Формула расчета выходного напряжения
	<p>Компаратор напряжений</p> $U_{\text{ВЫХ}} = \begin{cases} E_{\text{П+}} U_{\text{ВХ1}} > U_{\text{ВХ2}} \\ E_{\text{П-}} U_{\text{ВХ1}} < U_{\text{ВХ2}} \end{cases}$

Таблица 2.1. продолжение.

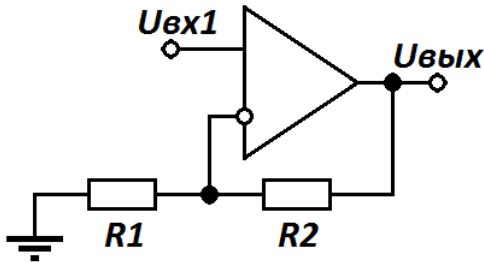
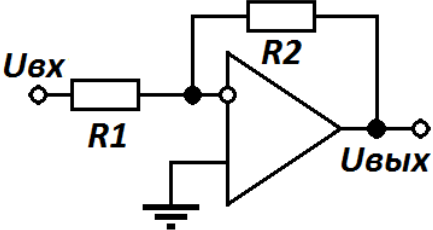
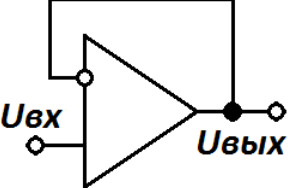
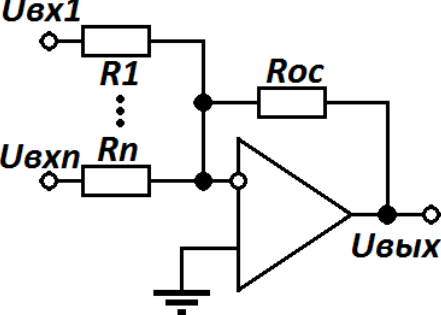
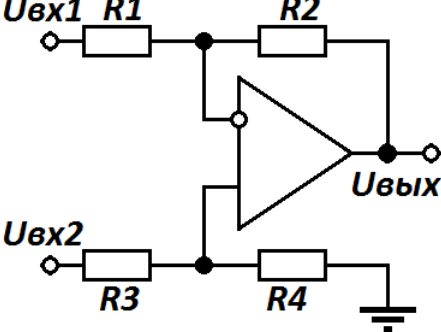
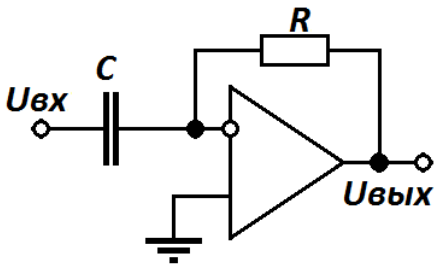
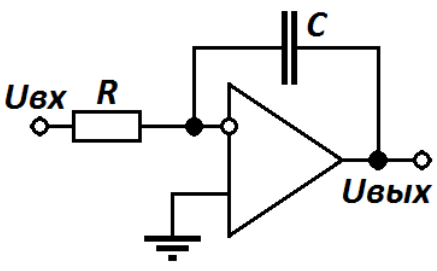
Схема включения	Формула расчета выходного напряжения
	<p>Не инвертирующий усилитель</p> $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$
	<p>Инвертирующий усилитель</p> $U_{\text{ВЫХ}} = -U_{\text{ВХ}} * \frac{R_2}{R_1}$
	<p>Повторитель напряжения</p> $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}}$
	<p>Инвертирующий сумматор напряжений</p> $U_{\text{ВЫХ}} = R_{\text{ОС}} * \left(\frac{U_{\text{ВХ1}}}{R_1} + \dots + \frac{U_{\text{ВХn}}}{R_n}\right)$
	<p>Вычитатель напряжений (Дифференциальный усилитель)</p> $U_{\text{ВЫХ}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) * \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) * U_{\text{ВХ2}} * \left(\frac{R_2}{R_1}\right) * U_{\text{ВХ1}}$

Таблица 2.1. продолжение.

Схема включения	Формула расчета выходного напряжения
	<p style="text-align: center;">Дифференциатор</p> $U_{\text{ВЫХ}} = -R * C * \left(\frac{dU_{\text{ВХ}}}{dt} \right)$
	<p style="text-align: center;">Интегратор</p> $U_{\text{ВЫХ}} = -\frac{1}{R * C} \int U_{\text{ВХ}} dt$

Широкополосный усилитель.

Широкополосными усилителями называют усилители, полоса пропускания которых близка к предельно возможной, обычно от нуля или нескольких герц до нескольких мегагерц (десятков, сотен мегагерц). Такие усилители применяются для усиления синусоидальных сигналов и для усиления импульсов.

Широкополосные усилители используются во многих областях, где требуется увеличение мощности сигнала. Они широко применяются в аудио- и видеотехнике для усиления звуковых и видеосигналов с высокой точностью передачи. Также широкополосные усилители используются в области радиосвязи и телекоммуникаций, где они обеспечивают усиление сигналов для передачи данных на большие расстояния.

Одной из важных особенностей широкополосного усилителя является его способность обрабатывать сигналы в широком диапазоне частот. Это позволяет использовать усилитель для работы с различными типами сигналов, включая аналоговые и цифровые сигналы. Благодаря этому широкополосные усилители нашли применение не только в традиционных областях, но и в новых технологиях, таких как медицинская электроника, научные исследования и электроэнергетика.

Кроме того, широкополосные усилители обладают хорошей стабильностью и надежностью работы, что делает их привлекательными для использования в различных устройствах и системах. Они обычно имеют компактный размер и низкое энергопотребление, что позволяет использовать их в портативной электронике и мобильных устройствах.

Принцип работы широкополосного усилителя основан на использовании полосковых фильтров и усилителей с достаточно широкой полосой пропускания. Сигнал сначала

проходит через предусилитель, который усиливает слабые сигналы до приемлемого уровня. Затем сигнал поступает в полосковый фильтр, который разделяет его на несколько полос частот. Каждая полоса проходит через отдельный усилитель, где сигнал дополнительно усиливается.

Результаты усиления каждой полосы сигнала затем суммируются, чтобы получить усиленный сигнал с широким диапазоном частот. В результате этой комбинации сигнал усиливается не только в заданном диапазоне частот, но и в смежных полосах.

Широкополосные усилители широко используются в различных областях, где требуется усиление сигналов с большим диапазоном частот. Они применяются в телекоммуникациях, радио- и телевидении, медицинской технике, акустике и других отраслях. Благодаря своей способности усиливать сигналы с широким спектром частот, широкополосные усилители играют важную роль в обеспечении высококачественной передачи и обработки сигналов.

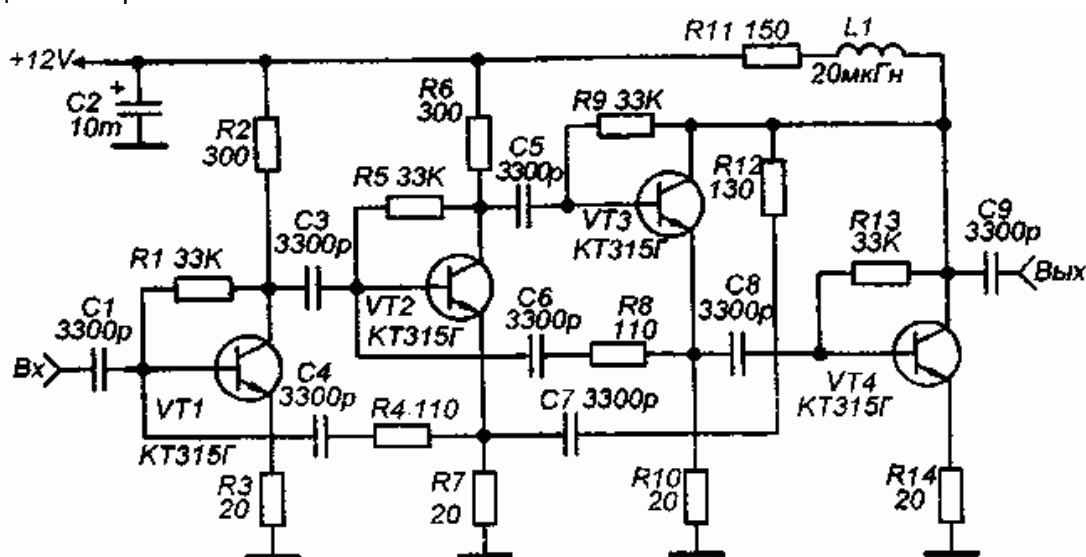


Рис. 2.11. Широкополосный усилитель.

Пример широкополосного усилителя приведен на рис. 2.11.

Импульсный усилитель.

Импульсный усилитель — это устройство, предназначенное для усиления импульсов напряжения или тока. Принципиально импульсный усилитель отличается от аналогичного электронного усилителя тем, что в его схему вводят элементы, уменьшающие переходные процессы и улучшающие качество воспроизведения вершины импульса. Различают следующие типы импульсных усилителей: усилители напряжения; усилители тока; усилители мощности; видео усилители.

Усилители напряжения используются в первых каскадах усиления и реализуются на транзисторах с высоким коэффициентом усиления, в частности на полевых. Видео усилители обеспечивают усиление сигналов в телевизионных приемниках. Они предназначены для усиления быстропротекающих процессов, имеющих частоты до 8 МГц. В настоящее время выпускаются многокаскадные импульсные усилители (видео усилители) в интегральном исполнении на микросхемах.

Усилители тока используют для управления электрическими цепями с большими мощностями или токами, в импульсе либо для переключения больших токов. Они реализуются на сплавных силовых транзисторах, тиристорах, фото тиристорах, оптронах и специальных силовых логических элементах.

Усилители мощности используют в схемах без дальнейшего увеличения по напряжению. Для этого применяются многокаскадные схемы включения транзисторов и схема катодного повторителя.

Качество импульсного усилителя оценивается на его выходе по искажениям формы входного прямоугольного импульса. Допустимые искажения формы импульса характеризуются максимально возможными длительностями переднего фронта τ_{ϕ} и среза τ_c , измеренными на уровнях 0,1 и 0,9 амплитуды сигнала, а также допустимым спадом плоской вершины выходного импульса ΔU (рис. 2.12).

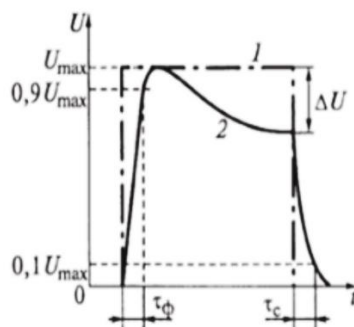


Рис. 2.12. Искажения импульса в усилителе:

1 — идеальный импульс; 2 — импульс после усилителя

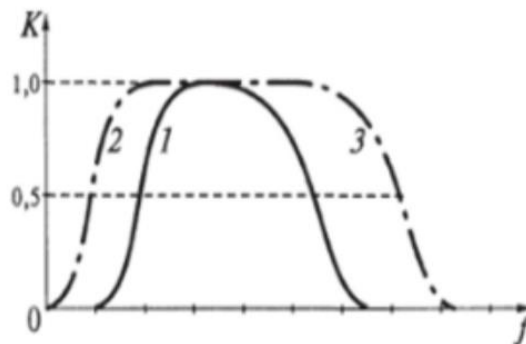


Рис. 2.13. АЧХ усилителей:

1 — без коррекции; 2 — с коррекцией по низкой частоте; 3 — с коррекцией по высокой частоте

Длительность фронта и срез импульса (быстрое изменение напряжения) связаны с высокочастотной частью спектра импульса, а спад вершины импульса (медленное изменение напряжения) определяется его низкочастотной частью. Следовательно, для наименьшего искажения при усилении импульсов прямоугольной формы необходимо увеличивать верхнюю граничную частоту полосы пропускания усилителя и одновременно уменьшать низшую граничную частоту, т.е. расширять спектральную полосу пропускания. В обычных многокаскадных усилителях с емкостной или трансформаторной связью между каскадами сделать это невозможно. Как правило, они имеют ограниченную полосу пропускания (рис. 2.13). Поэтому для ее расширения применяют дополнительные

электрические цепи высокочастотной и низкочастотной коррекции амплитудно-частотной характеристики, состоящие из RC- и LC-цепей.

Низкочастотной корректирующей цепью импульсного транзисторного усилителя служит ДС-цепь с сопротивлением фильтра R_Φ и емкостью фильтра C_Φ (рис. 2.14, а). На средних и верхних частотах, соответствующих передаче фронтов импульса, реактивное сопротивление конденсатора незначительно, и он шунтирует резистор R_Φ . Поэтому коллекторная нагрузка определяется сопротивлением резистора R_k , благодаря чему выходное напряжение не уменьшается, и коэффициент усиления остается постоянным. С понижением частоты реактивное сопротивление конденсатора C_Φ увеличивается, и его шунтирующее действие на резистор уменьшается. В результате коэффициент усиления каскада понижается, но выравнивается АЧХ на низких частотах.

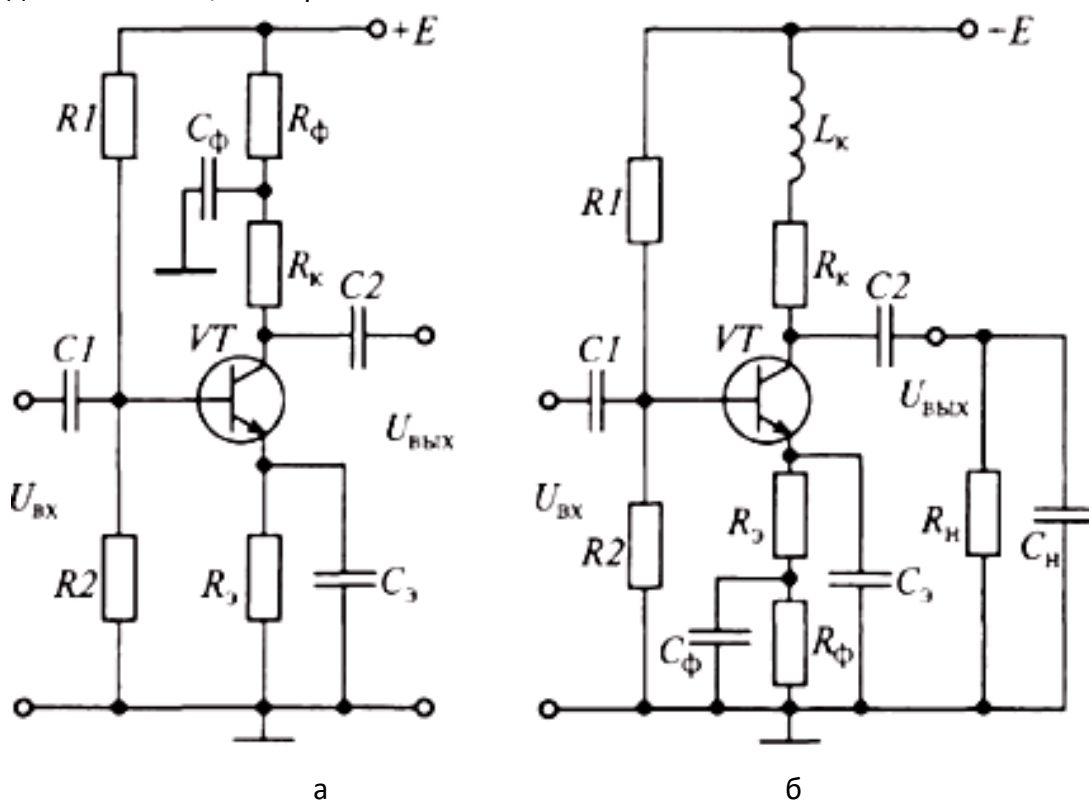


Рис. 2.14. Схемы усилительных каскадов на транзисторе с коррекцией по НЧ (а) и ВЧ (б).

Высокочастотная коррекция осуществляется включением последовательно с резистором R_k небольшой индуктивности L_k , образующих вместе с емкостью нагрузки C_n параллельный колебательный контур (рис. 2.14, б). В результате емкостной характер сопротивления нагрузки компенсируется индуктивным характером сопротивления коллекторной цепи.

Дифференциальный усилитель.

Усилитель, выполненный по схеме электрического моста, называется дифференциальным усилителем и предназначен усиления разности между двумя входными сигналами. Простейшая схема дифференциального каскада усиления представлена на рис. 2.15.

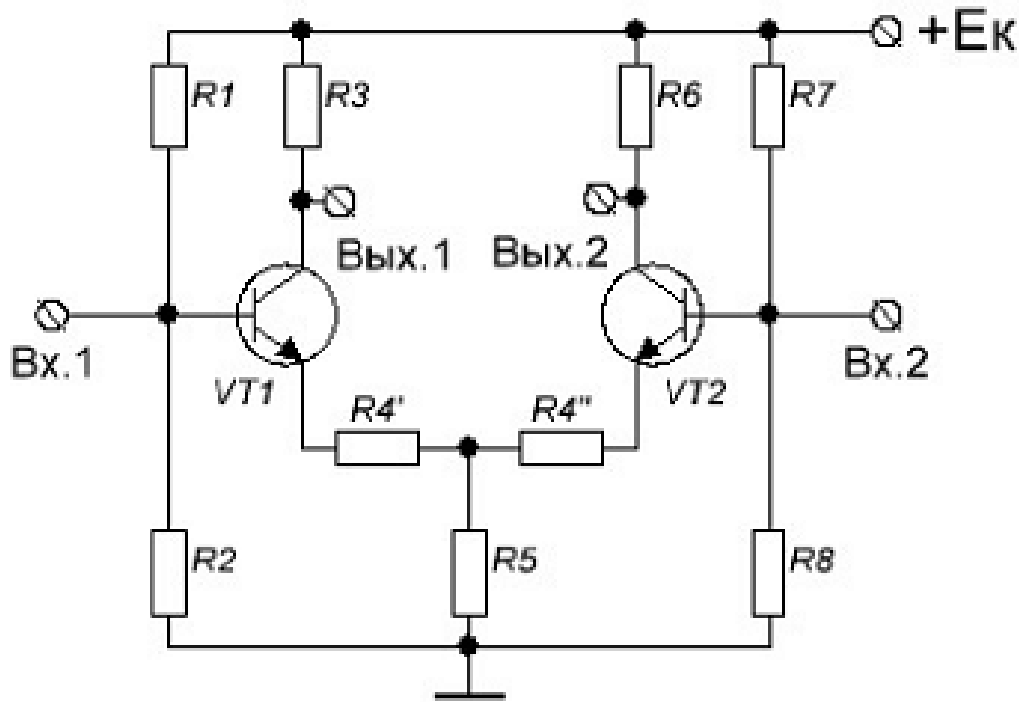


Рис. 2.15. Схема дифференциального каскада усиления.

Данная схема реализует электрический мост, плечи которого составляют резисторы $R3 = R7$ (коллекторные нагрузки транзисторов) и внутренне сопротивление транзисторов $VT1$ и $VT2$ совместно с резисторами $R4'$, $R4''$ и $R5$. В одну из диагоналей моста подключен источник питания E_k , а в другую нагрузку, подключенная к выходным выводам (Вых.1 и Вых.2). Резисторы $R1 = R7$ и $R2 = R8$ служат для задания режимов работы транзисторов, а резисторы $R4'$, $R4''$ и $R5$ для балансировки моста. Нормальная работа схемы обеспечивается симметрией электрического моста, в этом случае при отсутствии входного сигнала со стороны входа (Вх.1 и Вх.2) напряжение на выходе будет равно нулю в независимости от изменения напряжения питания.

Работа дифференциального усилителя возможна при точной симметрии схемы. В этом случае ток покоя в обоих транзисторах и их изменение имеют одинаковое значение, так же как и напряжения на коллекторах транзисторов $VT1$ и $VT2$. Таким образом, при воздействии внешних факторов на транзисторы баланс моста не нарушается, а выходное напряжение не изменяется. В случае воздействия входного напряжения на один или оба входа схемы происходит изменение внутреннего сопротивления одного или обоих транзисторов и происходит разбалансировка моста и изменение выходного напряжения.

Обратные связи.

Обратной связью называется передача сигнала с выхода на вход. Если за счет обратной связи значение сигнала на выходе увеличивается, обратная связь называется положительной. Если выходной сигнал понижается, обратная связь называется отрицательной. Обратные связи могут производиться по напряжению и току.

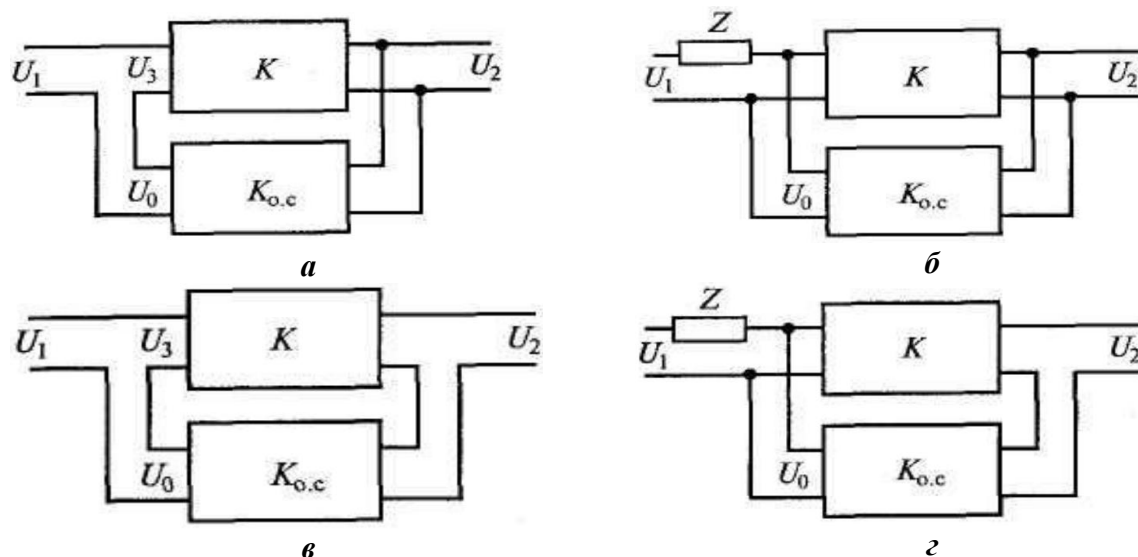


Рисунок 2.16. Обратные связи в усилителях: а, б – по напряжению; в, г – по току.

На рис. 2.16, а, б показаны обратные связи по напряжению, а на рис. 2.16, в, г — по току. Обратная связь по напряжению перестает действовать при коротком замыкании на выходе. Обратная связь по току перестает действовать при холостом ходе на выходе.

Во всех схемах с обратной связью коэффициент передачи усилителя:

$$K_y = \frac{U_2}{U_1}$$

где U_1, U_2 - напряжения соответственно на входе и выходе усилителя.

Коэффициент обратной связи усилителя определяется отношением:

$$K_{oc} = \frac{U_{oc}}{U_2}$$

где U_{oc} — напряжение обратной связи

Для схем, показанных на рис. 4.6, а, б, имеем:

$$U_3 = U_1 + K_{oc} \cdot U_2; \quad U_2 = K(U_1 + K_{oc}U_2),$$

где U_3 — напряжение на входе усилителя при наличии напряжения обратной связи U_{oc} .

Тогда коэффициент усиления каскада (коэффициент передачи):

$$K_y = \frac{K}{1 - K_{oc} \cdot K},$$

где $K = U_2/U_3$ — коэффициент усиления без обратной связи.

Отрицательная обратная связь существенно влияет на технические параметры усилителя. При наличии этой связи: уменьшаются нелинейные, частотные, фазовые искажения и шумы; повышается стабильность коэффициента передачи; уменьшается выходное и увеличивается входное сопротивления.

К недостаткам отрицательной обратной связи следует отнести уменьшение коэффициента усиления.

Положительная обратная связь применяется в генераторах для возбуждения незатухающих гармонических колебаний. Эта связь определяет стабильность частоты сигнала генератора.

Логарифмический масштаб, децибелы.

Логарифмическая система, в том числе и децибелы, часто применяется при построении амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) — кривых, изображающих зависимость коэффициента передачи различных устройств (усилителей, делителей, фильтров) от частоты внешнего воздействия. Для построения частотной характеристики расчетным или опытным путем определяется ряд точек, характеризующих выходное напряжение или мощность при неизменном входном напряжении на разных частотах. Плавная кривая, соединяющая эти точки, характеризует частотные свойства устройства или системы.

Если по оси частот численные значения откладываются в линейном масштабе, т. е. пропорционально их фактическим значениям, то такая частотная характеристика окажется неудобной для пользования и не будет наглядной: в области низших частот она сжата, а высших — растянута.

Частотные характеристики строятся обычно в так называемом логарифмическом масштабе. По оси частот в удобном для работы масштабе откладываются величины, пропорциональные не самой частоте f , а логарифму $\lg f/f_0$, где f_0 — частота, соответствующая началу отсчета. Против отметок на оси надписываются значения f .

Частота f_0 , соответствующая началу отсчета, может быть сколь угодно малой, но не может быть равной нулю.

По вертикальной оси откладываются в децибелах либо в относительных числах отношения коэффициентов передачи при различных частотах к его максимальному либо среднему значению.

Логарифмический масштаб позволяет на небольшом отрезке оси отобразить широкий диапазон частот.

Динамическим диапазоном называется выраженное в децибелах отношение максимальной неискаженной выходной мощности к ее минимальному значению, при котором, еще обеспечивается допустимое отношение сигнал/шум:

$$K = 10 \lg \frac{P_{\text{вых. max}}}{P_{\text{вых. min}}} \text{ для мощности}$$

$$K = 20 \lg \frac{U_{\text{вых. max}}}{U_{\text{вых. min}}} \text{ для напряжения}$$

$$K = 20 \lg \frac{I_{\text{вых. max}}}{I_{\text{вых. min}}} \text{ для тока}$$

Чем меньше уровень собственных шумов и чем выше неискаженная выходная мощность, тем шире динамический диапазон.

Аналогичным образом определяется и динамический диапазон источников звука — оркестра, голоса, только здесь минимальная мощность звука определяется шумовым фоном. Чтобы устройство могло передать без искажений как минимальную, так и

максимальную амплитуды входного сигнала, его динамический диапазон должен быть не меньше динамического диапазона сигнала.

В усилители звуковой частоты с целью повышения их качественных показателей обычно вводится отрицательная обратная связь. Если коэффициент усиления устройства по напряжению без обратной связи равен K , а с обратной связью K_{OC} то число, показывающее, во сколько раз изменяется коэффициент усиления под действием обратной связи, называют глубиной обратной связи. Ее обычно выражают в децибелах. В работающем усилителе коэффициенты K и K_{OC} определяются экспериментально, если только усилитель не возбуждается при разомкнутой петле обратной связи.

$$K_{OC} = \frac{K}{1 + \beta K},$$

где β — коэффициент передачи цепи обратной связи, т. е. отношение напряжения на выходе цепи обратной связи к напряжению на ее входе.

Глубина обратной связи в децибелах может быть рассчитана по формуле:

$$A = 20 \lg \frac{K}{K_{OC}} = 20 \lg (1 + \beta K)$$

Понятие децибел имеет некоторое сходство с процентами. Действительно, так как в процентах выражается отношение какого-то числа к другому, условно принятому за сто процентов, отношение этих чисел также можно представить в децибелах при условии, что оба числа характеризуют мощность, напряжение или ток.

Для отношения мощностей:

$$N_P = 10 \lg \left(\frac{P_2}{P_1} \% \right) \left(\frac{1}{100} \right) = 10 \lg \left(\frac{P_2}{P_1} \% \right) - 20$$

Для отношения напряжений или токов:

$$N_U = 20 \lg \left(\frac{U_2}{U_1} \% \right) \left(\frac{1}{100} \right) = 20 \lg \left(\frac{U_2}{U_1} \% \right) - 40$$

Можно также вывести формулы для пересчета децибел в проценты отношения:

$$\frac{P_2}{P_1} \% = 10^{\frac{N_P + 20}{10}} \quad \text{и} \quad \frac{U_2}{U_1} \% = 10^{\frac{N_U + 40}{20}}$$

В табл. 2.2 дан перевод некоторых, наиболее часто встречающихся значений децибел в проценты отношений. Различные промежуточные значения можно найти по номограмме на рис. 2.17.

Таблица 2.2. Перевод децибел в проценты отношений

%	100	50	10	1	0,1
N_U или N_I	0	-6	-20	-40	-60
N_P	0	-3	-10	-20	-30

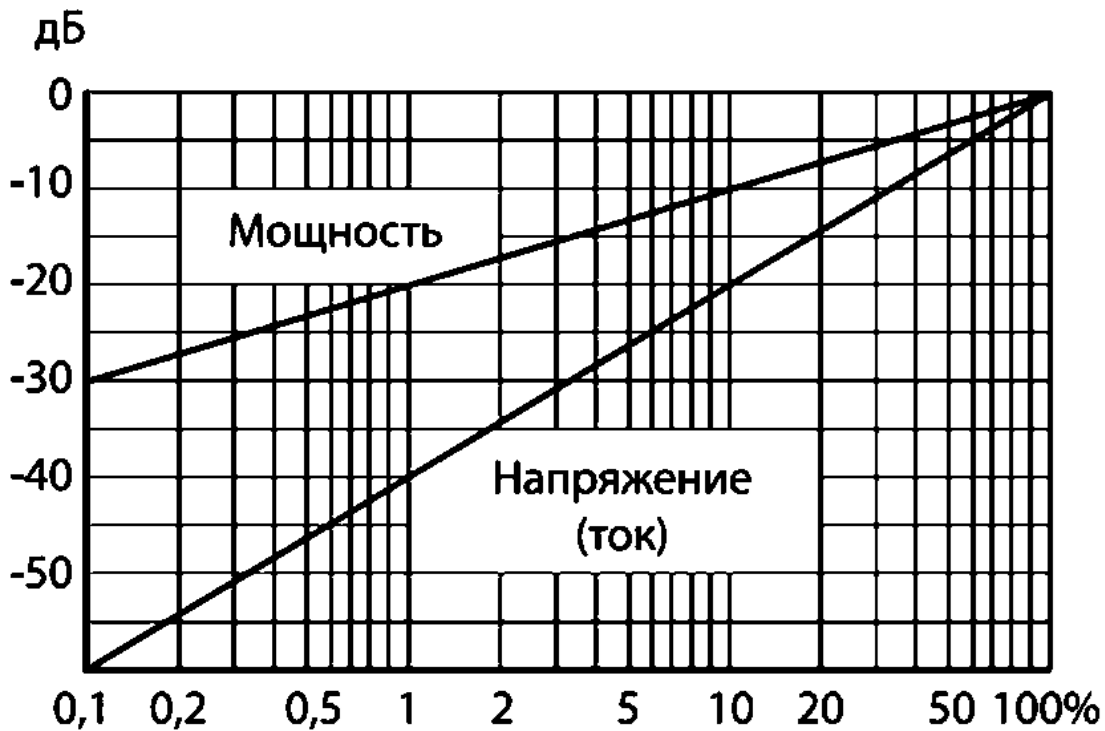


Рис. 2.17. Перевод децибел в проценты отношений по номограмме

Амплитудно-частотная характеристика.

Наличие в электрической схеме усилителя реактивных элементов приводит к тому, что коэффициент усиления является комплексной величиной, параметры которой изменяются с частотой.

Амплитудно-частотную характеристику удобнее представлять в нормированном виде, т.е. как отношение модуля коэффициента усиления на данной частоте к номинальному значению коэффициента усиления.

Примерный вид АЧХ представлен диаграммой на рис. 2.18.

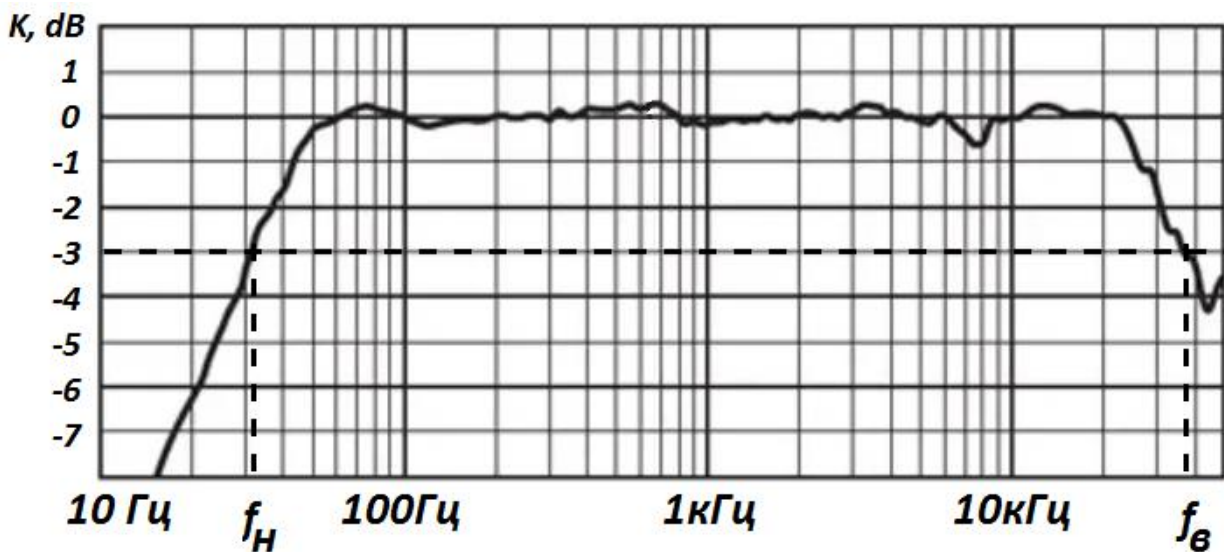


Рис. 2.18. Амплитудно-частотная характеристика.

Для измерения АЧХ собирается измерительный стенд по схеме, приведенной на рис. 2.19. В качестве генератора применяется цифровой генератор с синтезатором частот и

стабилизацией выходного напряжения, что обеспечивает постоянство выходного напряжения при изменении частоты.

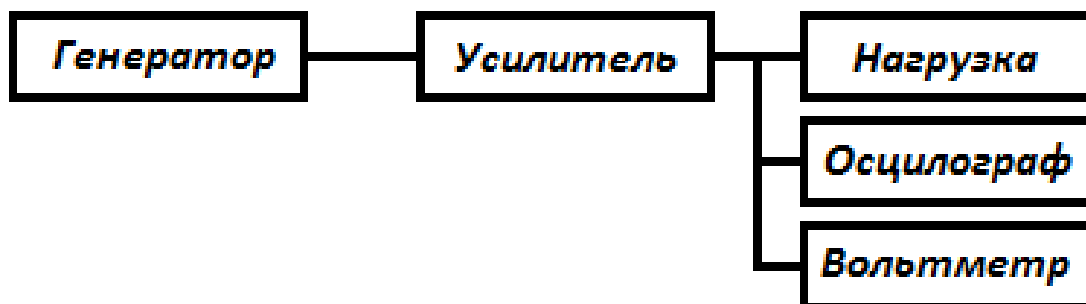


Рис. 2.19. Схема стенда для измерения АЧХ.

Для измерения амплитуды выходного сигнала применяется вольтметр переменного тока с децибельной шкалой. Пример приведен на рис. 2.20.



Рис. 2.20 Вольтметр переменного тока.

Измерения АЧХ производятся в следующем порядке.

С генератора сигналов, подается на усилитель синусоидальный сигнал частотой 1кГц произвольной амплитуды. На вольтметре включается диапазон 0dB. На генераторе регулируется напряжение с целью установить 0 децибел на вольтметре. По осциллографу отслеживается форма выходного сигнала, она должна иметь синусоидальную форму и быть без искажений. На рис. 2.21 отмечена точка 1, соответствующая началу отсчета АЧХ.

Далее изменяем частоту на генераторе пока амплитуда на вольтметре не упадет до уровня -3 dB. Точке 2 на рис. 2.21 соответствует нижней предельной частоте.

Повышаем на генераторе частоту выше 1кГц, пока амплитуда на вольтметре не упадет до уровня -3 dB. Точка 3 на рис. 2.21, верхняя предельная частота.

Если в процесс изменения частоты происходит подъем или спад АЧХ, отмечаем значения частоты и уровень, до которого возрастает или падает значение на вольтметре. Если при изменении частоты амплитуда сигнала на вольтметре не изменяется, это говорит о линейности АЧХ, границы этих участков так же желательно нанести на графике, точки 4 и 5 на рис. 2.21.

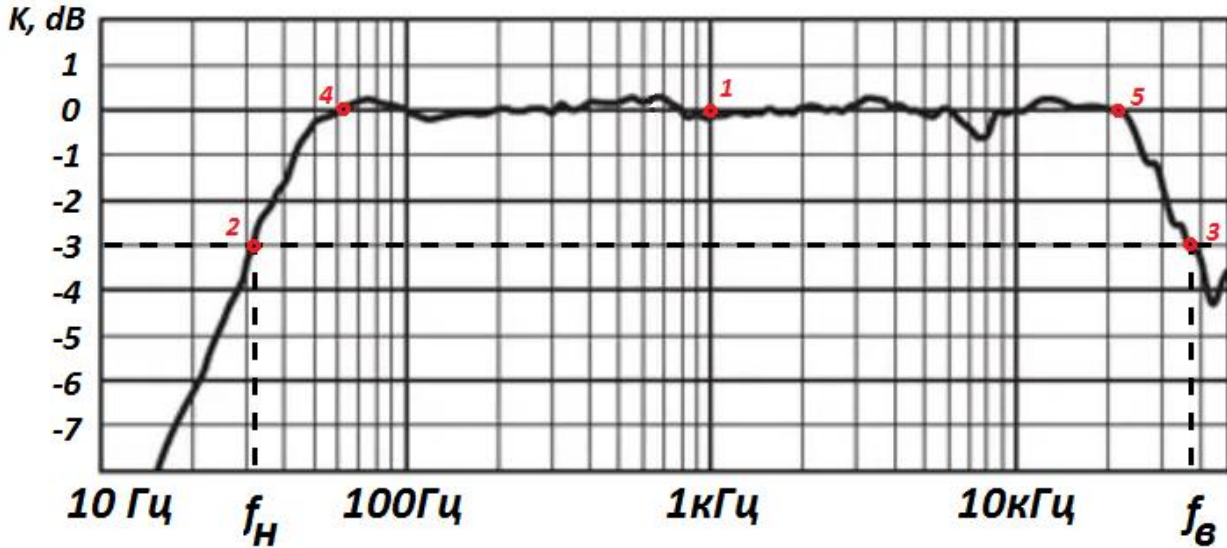


Рис. 2.21. АЧХ с точками измерения.

Амплитудная характеристика.

Амплитудная характеристика усилителя представляет собой зависимость между выходным и входным сигналами. Наиболее часто эта зависимость выражается по напряжению $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ при $E_{\text{п}} = \text{const}$.

Диаграмма амплитудной характеристики показана на рис. 2.22.

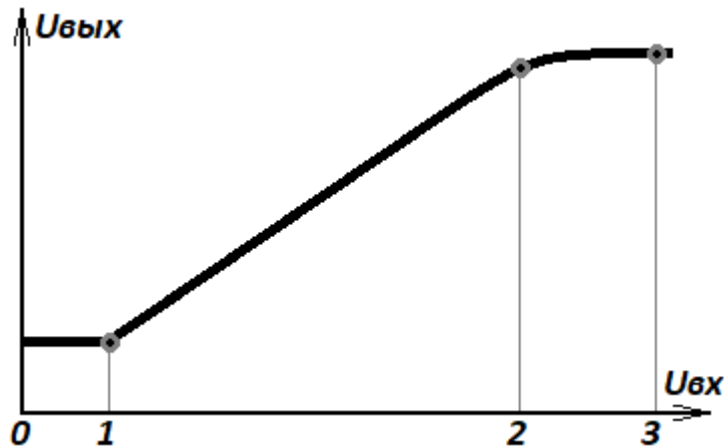


Рис. 2.22. АХ с точками измерения.

На диаграмме выделены три участка:

0 – 1. Напряжение на выходе создается собственными шумами, фоном усилителя.

1 – 2. Линейный участок, на котором $\frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta U_{\text{вх}}} = K$, где K – постоянная величина. 1 - 2 определяет динамический диапазон сигналов.

2 – 3. Нелинейный участок. Его использование сопровождается искажением (ограничением) сигнала на выходе усилителя.

Основная причина нелинейности АХ – это нелинейность характеристик активных элементов усилителя, транзисторы, диоды.

Как правило, увеличение напряжения питания E_n приводит к расширению пределов линейного участка, т.е. отодвигает границу нелинейного участка.

Динамический диапазон усилителя зависит от отношения максимального выходного сигнала к минимальному выходному сигналу или максимального выходного к минимальному входному сигналу. Он определяется

$$\text{по напряжению } D_U = \frac{U_{\text{ВЫХ МАКС}}}{U_{\text{ВЫХ МИН}}}$$

$$\text{по мощности } D_P = \frac{P_{\text{ВЫХ МАКС}}}{P_{\text{ВЫХ МИН}}}$$

Динамический диапазон выражается в безразмерных или логарифмических единицах $D_{\text{дб}} = 20 \lg \cdot D_U$; $D_{\text{дб}} = 10 \lg \cdot D_P$.

Примечание:

- 1) максимальное значение сигнала $U_{\text{ВЫХ МАКС}}$, $P_{\text{ВЫХ МАКС}}$ определяется допустимым уровнем нелинейных искажений (искажение формы сигнала наблюдается на осциллографе, ограничение амплитуды сигнала, искажение формы).
- 2) минимальное значение сигнала $U_{\text{ВЫХ МИН}}$, $P_{\text{ВЫХ МИН}}$ определяется допустимым минимальным уровнем сигнала, по сравнению с собственными шумами усилителя, т.е. соотношением сигнал-шум (сигнал должен превышать шум на допустимый уровень, форма сигнала на фоне шума наблюдается на осциллографе).

Переходная характеристика.

Переходная характеристика (ПХ) представляет собой зависимость мгновенного значения выходного напряжения от времени при воздействии на вход усилителя напряжения ступенчатой формы.

Для оценки переходных искажений используют нормированную переходную характеристику.

$$h(t) = \frac{U_{\text{ВЫХ}}(t)}{K_0}; \quad U_{\text{ВХ}}(t) = 0; \quad t < 0;$$

$$U_{\text{ВХ}}(t) = 1; \quad t \geq 0.$$

На рис. 2.23 показаны переходные искажения усилителя при воздействии прямоугольного импульса длительностью t_u .

Переходная характеристика и амплитудно-частотная характеристика при

$M_n = M_v = -3\text{дБ}$ связаны соотношениями

$$F_B = \frac{0,35}{t_\phi}; \quad F_H = \frac{\Delta}{2 \cdot \pi \cdot t_u}.$$

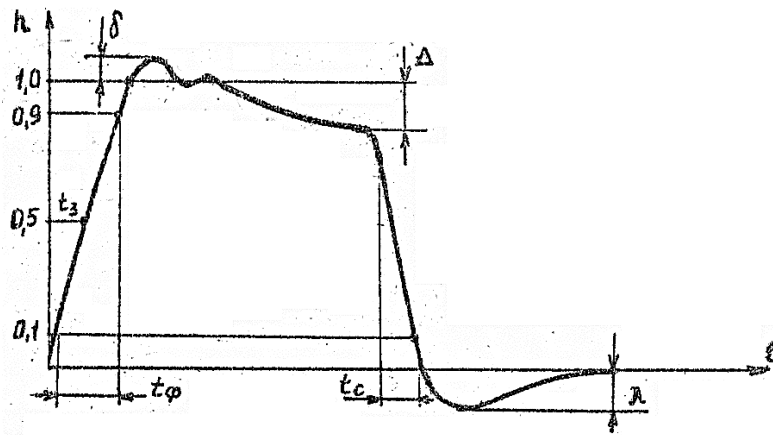


Рис. 2.23. Переходная характеристика.

t_ϕ — длительность фронта или время установления импульса;

t_c — время спада импульса;

δ — выброс вершины импульса;

Δ — спад вершины импульса;

λ — отрицательный выброс импульса.

Входное и выходное сопротивление усилителя.

Входное сопротивление усилителя определяет условия согласования усилителя с источником сигнала. Максимальная мощность сигнала будет передаваться на вход усилителя при равенстве входного сопротивления $R_{вх}$ внутреннему сопротивлению источника сигнала R_g .

Применительно к усилителям на биполярных транзисторах, $Z_{вх}$ можно найти косвенным путем в соответствии со схемой измерений рис. 2.24.

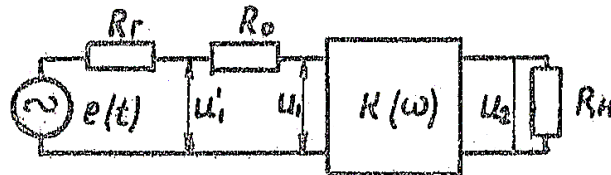


Рис. 2.24. Входное и выходное сопротивление усилителя.

$$Z_{вх} = \frac{R_0}{\frac{u_1'}{u_1} - 1};$$

R_0 — известное образцовое сопротивление.

На средних частотах $Z_{вх} \approx R_{вх}$.

Выходное сопротивление характеризует согласование усилителя с потребителем (нагрузкой). Величина $Z_{вх}$ определяется экспериментально по характеристикам холостого хода $E_{ХХ}$ и короткого замыкания $I_{КЗ}$. На линейном участке $Z_{вых} = \frac{E_{ХХ}}{I_{КЗ}}$. Учитывая, что при коротком замыкании выхода транзисторного усилителя могут выйти из строя транзисторы, для измерения $Z_{вых}$ используют косвенный метод. Измеряют напряжение на выходе $E_{ХХ}$ при отключенной нагрузке $R_n = \infty$, если это невозможно, то в качестве R_n выбирают сопротивление несоизмеримо большее (примерно в 1000 раз) чем штатное R_n . Повторяют

измерение $U_{\text{ВЫХ}}$, не изменяя входного напряжения, при известном сопротивлении $R_{\text{Н}}$. В этом случае $Z_{\text{ВЫХ}} = \frac{E_{\text{ХХ}} - U_{\text{ВЫХ}}}{\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{R_{\text{Н}}}}$ или $Z_{\text{ВЫХ}} = R_{\text{Н}} \left(\frac{E_{\text{ХХ}}}{U_{\text{ВЫХ}}} - 1 \right)$.

На средних частотах $Z_{\text{ВЫХ}} \approx R_{\text{ВЫХ}}$.

3. Описание лабораторного стенда

В состав лабораторного стенда входят:

- Осциллограф цифровой GDS820C;
- Генератор сигналов SFG-2110;
- Источник питания постоянного тока E3631A;
- Вольтметр переменного тока ВЗ-56;
- Мультиметр цифровой DT9205A или M830L;
- Макет усилителя, с набором элементов.
- Соединительные провода.

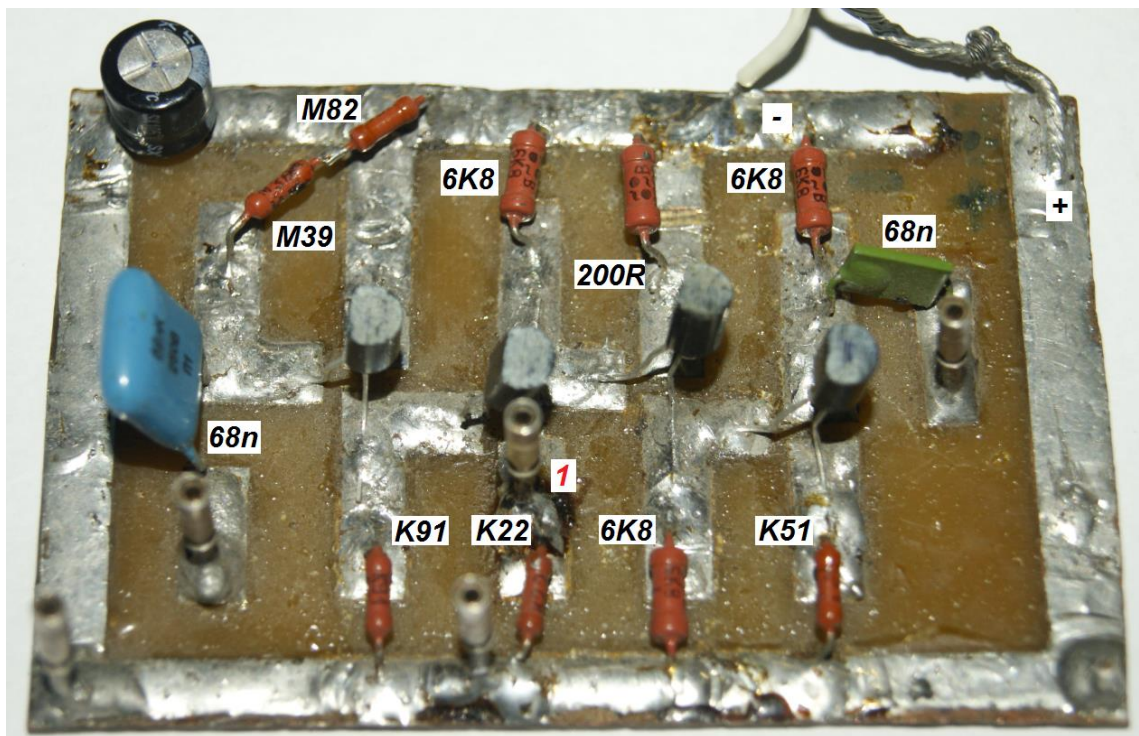


Рис. 2.25(10) Макет широкополосного усилителя с гальванической связью.

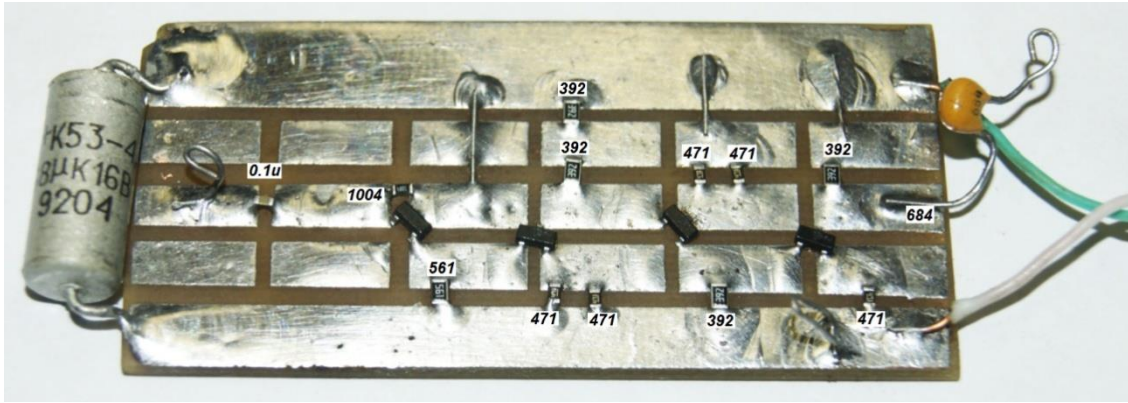


Рис. 2.26(11) Макет широкополосного усилителя с гальванической связью.

Измерительный стенд формируется в соответствии с заданием из предложенного перечня приборов по указаниям методического руководства либо по указанию преподавателя.

4. Рабочее задание

Задание 1. Схема широкополосного усилителя.

По топологии предложенного макетного образца широкополосного усилителя восстановить схему электрическую принципиальную. При выполнении задания учитывать информацию о циклёвке активных элементов (приложение 3). По итогу выполнения задания в отчете должна быть изображена схема электрическая принципиальная макета широкополосного усилителя с обозначением номиналов схемы. В ходе работы на этой схеме в ключевых точках указать потенциал по постоянному току относительно общего проводника.

Задание 2. Настройка макета усилителя.

Макет широкополосного усилителя выполнен с гальванической связью между каскадами. При изменении напряжения питания изменяется режим работы всего усилителя. Настройка усилителя сводится к подбору амплитуды напряжения питания, таким образом, чтобы при подачи синусоидального напряжения на вход усилителя на выходе имелся усиленный сигнал той же частоты, максимальной амплитуды и не искаженной формы.

Промерить потенциалы в ключевых (контрольных) точках по постоянному току относительно общей шины, значения нанести на схему электрическую принципиальную.

Задание 3. Измерения АЧХ.

Произвести измерение амплитудно-частотной характеристики усилителя, по результатам измерений построить график АЧХ с логарифмическими шкалами.

Задание 4. Измерения АХ.

Произвести измерение амплитудной характеристики усилителя. Измерения проводить на частоте 1кГц, при локальных подъемах АЧХ и на частоте с максимальным усилением, обе характеристики построить в одних осях.

Задание 5. Исследование влияния обратной связи в усилителе.

Подключить в схему усилителя элемент обратной связи (конденсатор), повторить измерения задания 3 и 4. Полученные результаты отметить на графиках задания 3, 4 выделив цветом или начертанием.

Задание 6. Выводы.

По результатам измерений и исследованию схемы широкополосного усилителя сделать выводы. В выводах рассмотреть вопросы:

- зависимости режима работы от напряжения питания, влияние на форму сигнала;
- АЧХ и АХ с внесенной обратной связью и без;
- влияет ли введение обратной связи на режим работы (по постоянному току) усилителя;
- за счет чего происходит изменение динамического диапазона усилителя при внесении ООС.

Выводы соотнести со схемой электрической принципиальной и графиками, полученными в ходе работы.

5. Контрольные вопросы

1. Назовите способы расширения полосы пропускания в области верхних и нижних частот.
2. Каково назначение первого и третьего каскадов усилителя (рис. 2.25, 2.26)?
3. Укажите, какими видами обратной связи охвачен второй каскад усилителя (рис. 2.25, 2.26)?
4. Какие каскады, на Ваш взгляд, играют решающую роль в формировании АЧХ в исследуемом ШПУ?
5. Каким образом происходит измерение амплитудной характеристики? Что означают нижний и верхний пороги характеристики?
6. Что такое динамический диапазон усилителя и чем он обусловлен?
7. Каким образом происходит измерение АЧХ (в логарифмическом масштабе)? Какие допущения при этом принимаются?
8. Что происходит со схемой ШПУ при изменении напряжения питания? Как подобрать оптимальное напряжение питания?
9. Оцените величину входного/выходного сопротивления ШПУ (рис. 2.25, 2.26).
10. В чем заключается особенность усилителя D класса?
11. В каком классе усиления работает ШПУ (рис. 2.25, 2.26)? Ответ пояснить.
12. Возможны ли в ШПУ (рис. 2.25, 2.26) искажения типа «ступеньки» и почему?

Лабораторная работа №3. Исследование автогенераторного датчика.

1. Цель работы

Целью работы является:

- ознакомление с конструкцией и принципом действия автогенераторных датчиков;
- исследование схем построения автогенераторных датчиков;
- исследование влияния внешних объектов на работу автогенераторных датчиков;

2. Сведения необходимые для выполнения работы

Перед выполнением работы полезно ознакомиться со следующими вопросами:

- общие условия самовозбуждения генераторов электрических колебаний;
- обобщенная трехточечная схема генератора;
- емкостной генераторный датчик;
- автогенераторный индуктивный датчик с использованием магнитной компоненты;
- автодинный СВЧ датчик.

Генератором электрических колебаний называется устройство, позволяющее преобразовать энергию постоянного тока в энергию электрических колебаний, возникающих в его схеме самопроизвольно, без периодического воздействия внешнего возбуждающего напряжения.

Общие условия самовозбуждения генераторов электрических колебаний

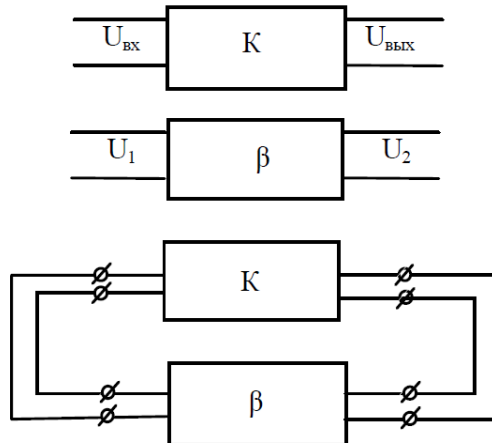


Рис. 3.1. Структура автогенератора.

Рассмотрим автогенератор как структуру, содержащую два основных звена: усилительное (K) и звено обратной связи с коэффициентом передачи (рис.3.1)

Обозначим

$$\dot{K} = \frac{\dot{U}_{\text{ВЫХ}}}{\dot{U}_{\text{ВХ}}} = ke^{i\varphi_k}$$

\dot{K} - комплексный коэффициент усиления усилительного звена, где $\dot{U}_{\text{вх}}$ и $\dot{U}_{\text{вых}}$ - входное и выходное напряжение усилительного звена.

$$\dot{\beta} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} = \beta e^{i\varphi_\beta}$$

$\dot{\beta}$ - комплексный коэффициент передачи напряжения цепи обратной связи), где \dot{U}_1 - напряжение на входе, а \dot{U}_2 - напряжение на выходе цепи обратной связи. Комплексная форма выражений вызвана необходимостью учета сдвигов фаз, создаваемых усилительным звеном и цепью обратной связи.

При наличии в схеме автогенератора колебаний должно выполняться условие:

$$\dot{K}\dot{\beta} = K\beta e^{i(\varphi_k + \varphi_\beta)}$$

Из этого равенства вытекает:

- 1) $K\beta = 1$ - условие баланса амплитуд
- 2) $\varphi_k + \varphi_\beta = 2p\pi$ - условие баланса фаз

Здесь K - модуль коэффициента усиления усилительного каскада, β - модуль коэффициента передачи цепи обратной связи, φ_k - фазовый сдвиг, создаваемый усилительным каскадом, φ_β - фазовый сдвиг, создаваемый цепью обратной связи, $p = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$

Эти условия являются очень важными в теории автогенераторов.

Основной предпосылкой к самовозбуждению автогенератора и переходу его в режим установившихся колебаний является положительная обратная связь, характеризуемая совпадением фазы напряжения на выходе цепи обратной связи и входе усилителя.

Под действием положительной обратной связи малые флуктуационные колебания, возникающие в схеме генератора после включения напряжения питания, усиливаются усилительным каскадом K и передаются по цепи обратной связи вновь на выход усилителя. При каждом обходе по замкнутому контуру, содержащему усилитель и цепь обратной связи, сигнал на входе и выходе усилительного звена прогрессивно возрастает. Такой рост продолжается до тех пор, пока процесс самовозбуждения не завершается установившимся режимом, для которого и выполняются условия баланса амплитуд. Для самовозбуждения автогенератора в начальный момент времени необходимо выполнение условия: $K\beta > 1$.

Если бы характеристика усилительного звена была линейной, это привело бы к бесконечному росту амплитуды автоколебаний. Поэтому усилительное звено должно обладать нелинейной характеристикой. Переход к установившемуся режиму обусловлен постепенным уменьшением коэффициента усиления усилительного звена в связи с уменьшением наклона амплитудной характеристики при росте сигнала, что характерно для всех видов усилителей (рис. 3.2).

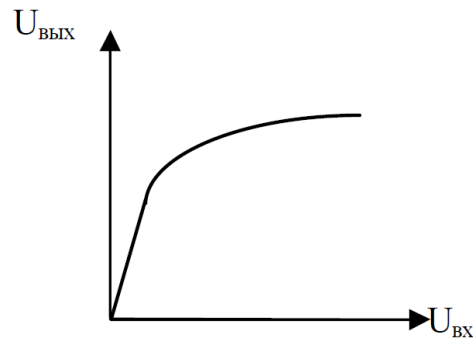


Рис. 3.2. Коэффициент усиления.

В принципе, генератор с самовозбуждением мало отличается от усилительной ступени с цепью обратной связи. Одно из отличий заключается в том, что часто усилитель должен усиливать полосу частот, и поэтому в качестве нагрузки используется апериодическая нагрузка (резистор, дроссель, трансформатор). Генератор генерирует чаще всего колебание одной частоты, поэтому в качестве нагрузки используется параллельный колебательный контур, сопротивление которого на резонансной частоте максимально и имеет активный характер.

$$R_{\text{экв}} = \rho \cdot Q, \text{ где } \rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

ρ – волновое сопротивление, Q – добротность.

Наиболее часто, в усилительном звене генератора используются биполярные и полевые транзисторы, а также операционные усилители. Максимум частотной характеристики подобного усилителя с резонансной нагрузкой соответствует резонансной частоте контура, поэтому условие баланса амплитуд будет выполняться только на этой частоте, что и определит частоту генерируемых колебаний. Примером подобного генератора является транзисторный генератор с индуктивной обратной связью (рис.3.3).

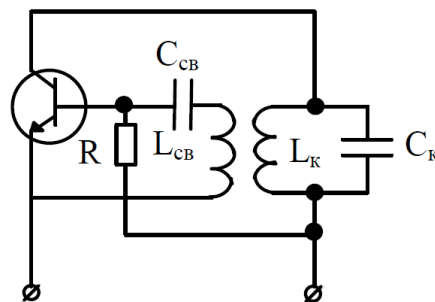


Рис. 3.3. Схема генератора с индуктивной обратной связью.

В этой схеме цепь обратной связи образована катушкой контура L_k и катушкой обратной связи в цепи базы $L_{св}$. Возникающие в контуре слабые электрические колебания (в момент включения) наводят в катушке связи переменную э.д.с., которая создает переменное возбуждающее напряжение в цепи базы. Для этого, катушка обратной связи должна быть так присоединена к выводам базы и эмиттера транзистора, чтобы входное напряжение у нее имело фазу, сдвинутую на 180° по отношению к фазе выходного напряжения усилительного звена. Этим обеспечивается нулевой сдвиг (следовательно, положительная обратная связь) между входным и выходным напряжениями в петле

обратной связи, так как усилительное звено, в котором включен транзистор по схеме с общим эмиттером, также создает фазовый сдвиг, равный 180° .

Обобщенная трехточечная схема генератора.

Рассмотренные выше схемы с индуктивной связью и большинство других существующих схем генераторов могут быть приведены к так называемой обобщенной трехточечной схеме (рис. 3.4).

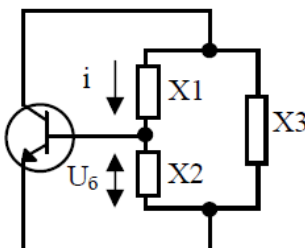


Рис. 3.4. Обобщенная трехточечная схема генератора.

Для выполнения условий самовозбуждения в этой схеме должны удовлетворяться следующие требования:

1. Сопротивления $X1$ и $X2$ должны иметь разные знаки.
2. Сопротивление $X1$ должно быть по абсолютной величине больше $X2$.
3. Сопротивления $X2$ и $X3$ должны иметь разные знаки.

При выполнении первых двух требований обеспечивается баланс фаз, т.к. напряжение на базе транзистора, равное \dot{U}_6 оказывается сдвинутым на 180° относительно напряжения на коллекторе, равного $\dot{I}[X1 + X2]$.

При выполнении третьего требования сопротивление третьей ветви, равное $X1 + X2$ и сопротивление правой ветви $X3$ приобретают разные знаки и образуют колебательный контур LC , резонансная частота которого и определяет частоту генерируемых колебаний.

Ёмкостной генераторный датчик.

Краткие теоретические сведения.

Понятие ёмкость. Ёмкостью C уединенного проводника (проводящего тела), т.е. проводника бесконечно удаленного от всех остальных проводников (проводящих тел) называется величина заряда q , необходимого для сообщения этому проводнику потенциала φ равного единице. При этом предполагается, что постоянная в выражении потенциала выбрана так, чтобы в бесконечности потенциал равнялся нулю.

В абсолютной системе единиц ёмкость измеряется в единицах длины – см. В практической системе единиц ёмкость выражается в фарадах. В практике используют более мелкие единицы мкФ, нФ, пФ.

Если проводник (проводящее тело) не уединен, то потенциал, приобретаемый им при сообщении определенного заряда, существенно зависит от формы и расположения проводников (проводящих тел). Это обусловлено тем, что поле заряженного тела вызывает перераспределение зарядов на соседних с ним проводниках (телах), что сопровождается изменением ёмкости.

Свойство распределения заряда послужило основой для использования емкостного датчика в качестве обнаружителя неоднородностей, проводящих объектов в окружающем пространстве.

Принцип работы емкостного датчика.

Конструктивно емкостной датчик представляет собой две изолированные друг от друга металлические пластины площадью S_1 и S_2 соответственно. Они расположены в одной плоскости и электрически подключены параллельно к колебательному контуру автогенератора, выполненного на биполярном транзисторе рис. 3.5.

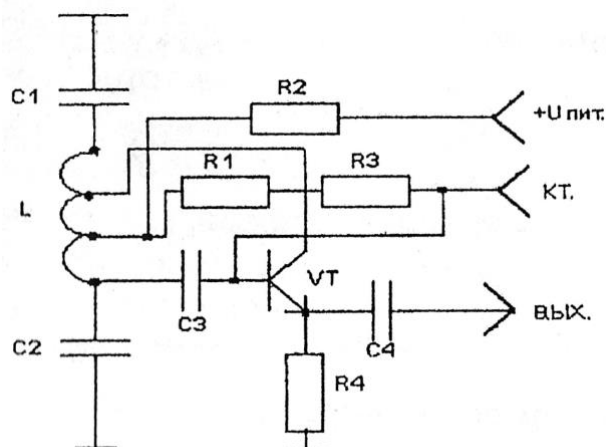


Рис. 3.5. Электрическая схема ёмкостного генераторного датчика.

Принцип работы ёмкостного датчика заключается в том, что при появлении в электрическом поле, создаваемом датчиком, постороннего тела обладающего проводимостью образуются электрические ёмкости, величина которых зависит от расстояния, положения, геометрических размеров тела и его расположения относительно датчика. Поскольку эти емкости оказываются подключенными параллельно колебательному контуру, то происходит изменение его частоты. Таким образом, в этой системе датчик-объект информационным параметром является частота генерации, которая изменяется при воздействии объекта на датчик. Количественные характеристики для случая взаимодействия датчика с телом (объектом) с достаточной для практики точностью можно получить только для простейших случаев. Например, расположение датчика над металлической плоскостью, линейные размеры которой значительно превышают линейные размеры емкостного датчика. Предполагается, что пластины датчика параллельны плоскости объекта. Схема взаимодействия изображена на рис. 3.6.

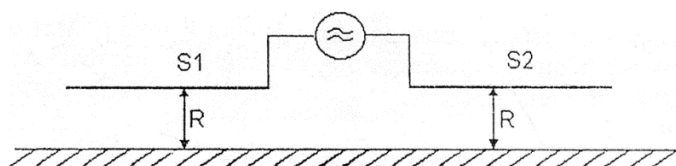


Рис. 3.6. Схема взаимодействия датчика с землей.

Между пластиной датчика с площадью S_1 и металлической плоскостью образуется емкость C_1 .

$$C1 = \frac{\varepsilon_{\text{возд}} \cdot S1}{4 \cdot \pi \cdot R}$$

и соответственно

$$C2 = \frac{\varepsilon_{\text{возд}} \cdot S2}{4 \cdot \pi \cdot R}$$

где $\varepsilon_{\text{возд}} = 1,0006$ – относительная диэлектрическая проницаемость.

Между пластинами датчика так же образуется емкость $C5$, которая оказывается параллельно включенной ёмкости катушки индуктивности и активного элемента и монтажа автогенератора. Обозначим их $C6$. В этом случае электрическая схема колебательного контура имеет вид

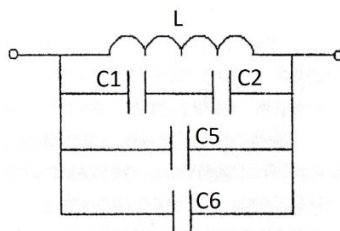


Рис. 3.7. Электрическая схема колебательного контура.

Эквивалентна ёмкость контура будет

$$C_{\text{экв}} = \frac{C1 \cdot C2}{C1 + C2} + C5 + C6$$

Частота генерации будет

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L \cdot C_{\text{экв}}}}$$

Индуктивность однослойной катушки без сердечника

$$L = \frac{0.394 \cdot r^2 \cdot N^2}{9 \cdot r + 10 \cdot l}$$

где N – количество витков; r – радиус катушки; l – длина катушки.

Поскольку $C1$ и $C2$ зависят от расстояния, то очевидно, что частота генерации будет изменяться с изменением расстояния. Таким образом, появление любого проводящего объекта в зоне действия емкостного датчика будет сопровождаться изменением частоты автогенератора. Это изменение частоты может быть измерено различными способами.

Автогенераторный индуктивный датчик с использованием магнитной компоненты.

Индуктивный датчик представляет собой автогенератор, в котором в качестве индуктивности колебательного контура используется измерительный элемент – экранированная многovitковая рамочная антенна. Экранирование рамки практически полностью исключает влияние емкостных связей датчика с исследуемым объектом, для этой же цели последовательно рамке с индуктивностью L_k включен конденсатор $C1$, рис 3.8. Поскольку экран рамки выполнен из немагнитного материала, он практически не приводит к уменьшению чувствительности датчика.

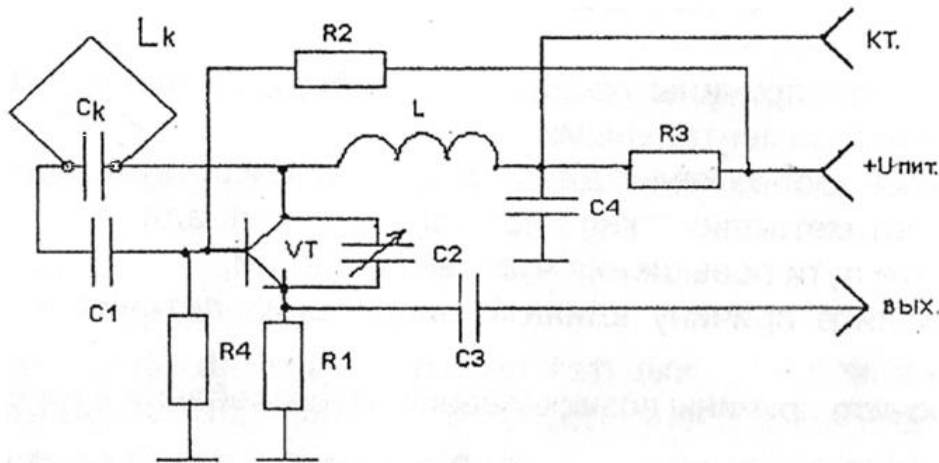


Рис. 3.8. Электрическая схема индуктивного датчика.

С помощью резисторов $R1$, $R2$, $R3$ устанавливается режим работы автогенератора и обеспечивается температурная стабильность. Рамка имеет собственную емкость (витки изолированного провода образуют емкость с экраном рамки) включенную параллельно индуктивности L_k . Конденсатор $C1$ исключает влияние колебательного контура на задание рабочей точки на входе транзистора. Индуктивность L исключает шунтирование рамки цепью питания. Полезный сигнал может сниматься с цепи коллектора (нагрузки $R3$) по постоянному току и с цепи эмиттера – сигнал генерируемой частоты.

Принцип работы индуктивного датчика.

При включении питания автогенератор при отсутствии вблизи рамки (рамочной антенны) ферромагнитных или проводящих электрический ток тел возбуждается и через некоторое время начинает работать в установившемся (стационарном) режиме.

Частота генерируемых колебаний в этом случае определяется параметрами колебательного контура и определяется по формуле:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L_k \cdot C1}}$$

В формуле в качестве контура учитывается L_k и $C1$ образующие последовательный колебательный контур, однако необходимо учитывать собственную емкость катушки индуктивности (рамки) C_k .

Электромагнитная энергия, создаваемая автогенератором в колебательном контуре, частично излучается в окружающее пространство. Причем максимум магнитной компоненты поля будет направлен вдоль оси рамки, т.е. перпендикулярно ее плоскости.

Работу датчика целесообразно рассмотреть для двух частных случаев: взаимодействие с ферромагнитным телом небольшой проводимостью (ферриты, пермаллои...) и проводящим телом, имеющим малое удельное сопротивление (медь, алюминий...).

Взаимодействие с ферромагнитным телом.

Появление вблизи рамки тела с магнитной проницаемостью μ приводит к концентрации магнитных силовых линий электромагнитного поля, увеличению потокосцепления Ψ , что сопровождается увеличением индуктивности

$$L = \frac{d\Psi}{di}$$

где L – собственная индуктивность рамки, $d\Psi$ – приращение потокосцепления, di – приращение тока в рамке.

В общем случае на изменение индуктивности сказывается эффективная магнитная проницаемость, которая зависит от μ материала объекта, размеров объекта, его положения и расстояния до рамочной антенны.

При взаимодействии датчика и ферромагнитного тела частота генерации f_μ

$$f_\mu = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{C1 \cdot (L_k + \Delta L_k)}}$$

т.е. частота генерации понизится. Одновременно с этим изменится режим работы автогенератора, т.е. токи и напряжения, действующие в его цепях, в следствие изменения его нагрузки. Таким образом, в качестве информации о появлении ферромагнитного объекта в поле рамки можно использовать изменение часты генерации или постоянного напряжения на сопротивлении $R3$.

Взаимодействие с проводящим телом.

При появлении вблизи рамочной антенны проводящего тела электромагнитное поле вызывает появление в последнем вихревых токов, которые создают собственное поле, противодействующее основному. Это сопровождается уменьшением потокосцепления Ψ , созданного рамкой, то есть уменьшением ее индуктивности. Одновременно в результате взаимодействия с объектом, объектом потребляется часть энергии излучения. Можно считать, что в колебательный контур вносятся потери и соответственно изменяется нагрузка автогенератора и соответственно режим работы.

Таким образом, в результате взаимодействия с токопроводящим объектом происходит повышение частоты генерации и изменение постоянного напряжения на $R3$. Так же как и в предыдущем случае, эти изменения частоты или напряжения на $R3$ могут использоваться как информация об объекте.

Автодинный СВЧ датчик.

Краткие теоретические сведения.

Автодинные датчики СВЧ диапазона, работают в частотном диапазоне в пределах 1...5 ГГц и выше. При этом выходной информативный сигнал, реакция на объект либо препятствие, составляет десятки - сотни кГц и единицы милливольт по постоянному току.

Автодинный датчик — это активная приемопередающая система, параметры которой изменяются под воздействием отраженного от объекта сигнала. Порядок работы автодинного датчика следующий: при включении источника питания в датчике спустя некоторое время возникают установившиеся колебания с частотой пропорциональной размеру полоска (конструктивная колебательная система). Колебательная система автодинного датчика является открытой, с низкой устойчивостью и способна реагировать на влияние из вне, т.е. изменять частоту колебаний. В автодине полосок является одновременно и колебательной системой задающей частоту работы, приемной и

передающей антенной. Во время работы автодинного датчика полосок излучает электромагнитную энергию в пространство (рис.3.9) которая, распространяясь, ослабляется в пространстве в простейшем случае в \sqrt{L} раз, где L - расстояние.

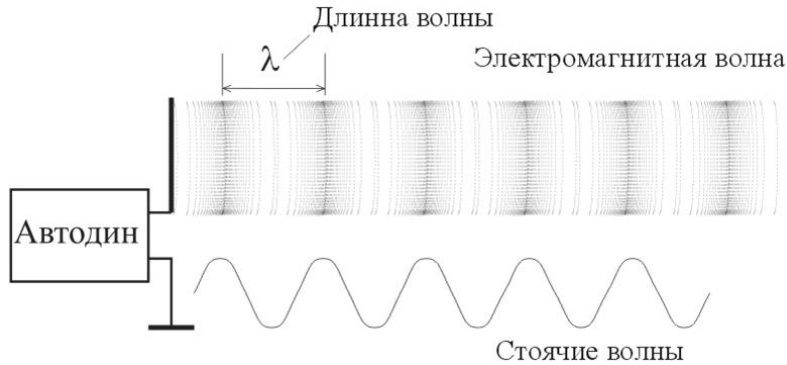


Рис. 3.9. Работа автодинного датчика

Рабочая частота автодинного датчика рассчитывается исходя из размеров колебательной системы. Длина полоска составляет четверть длины волны (рис. 3.9). Длина волны и частота связаны соотношением.

$$f(\text{кГц}) = \frac{300000}{\lambda(\text{м})}$$

Поскольку в области действия автодинного датчика практически всегда присутствует препятствие (земля, пол, стены, различные объекты), то электромагнитная волна частично отражается от него, частично поглощается и некоторая доля электромагнитной волны способна проникнуть сквозь препятствие (рис. 3.10).

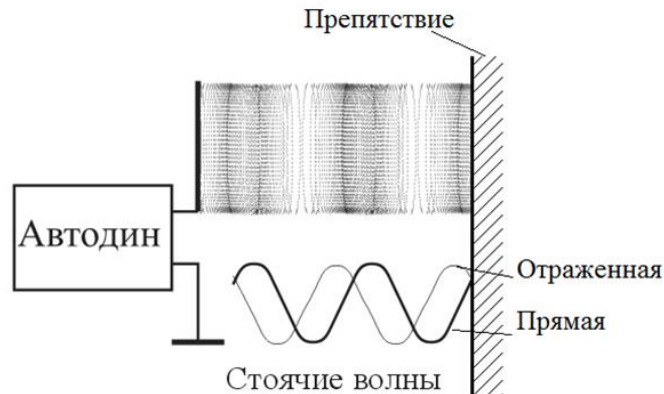


Рис. 3.10. Работа автодинного датчика при наличии препятствия.

В результате взаимодействия автодинного датчика и препятствия в ближней зоне между автодином и препятствием за счет сложения падающей и отраженной электромагнитной волны образуются стоячие волны. При этом модуль амплитуды стоячей волны зависит от координаты R по закону

$$|U| = \sqrt{U_{\text{пад}}^2 + U_{\text{отр}}^2 + 2U_{\text{пад}}U_{\text{отр}} \cos(2\beta_0 R)}$$

где $|U|$ - модуль амплитуды стоячей волны

$U_{\text{пад}}$ - амплитуда падающей волны

$U_{\text{отр}}$ - амплитуда отраженной волны

β_0 - фазовая постоянная

На практике чаще информативным параметром является частота колебаний. Частота колебаний и длина волны, жестко связаны практическим соотношением:

$$\lambda = \frac{30}{f}, \text{ при этом } \lambda - [\text{см}], f - [\text{ГГц}].$$

Конструктивно колебательная система автодинных датчиков строится по двум схемам:

- с заземленной колебательной системой, т.е. конец микро полосковой линии закорачивается конденсатором на общую шину. В этом случае $L = \frac{\lambda}{2}$, где L – длина колебательной системы в см, а λ - длина волны в см.
- с изолированной колебательной системой, т.е. конец микро полосковой линии напрямую не связан с общей шиной схемы. В этом случае $L = \frac{\lambda}{4}$, где L – длина колебательной системы в см, а λ - длина волны в см.

На рис. 3.11 показана зависимость напряжения стоячей волны от координаты R .

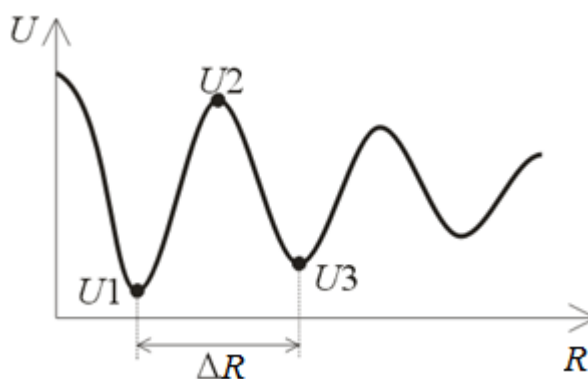


Рис. 3.11. Напряжение в ближней зоне при наличии затухания.

Показанная зависимость напряжения стоячей волны в пространстве в физическом смысле характеризует распределение электромагнитной энергии в ближней зоне автодинного датчика, по сути, является характеристикой напряженности поля. Поскольку автодин является открытой системой, т.е. на работу электрической схемы оказывают влияние внешние факторы и препятствие или объект поиска есть частный случай. Это влияние приводит к тому, что режим работы автодина меняется по закону изменения электромагнитного поля в ближней зоне датчика. Таким образом, если отражающее препятствие изменяет свое положение (перемещается по оси R), то картина стоячих волн изменяется, что вызывает изменение токов, протекающих в схеме автодина и соответственно несущей частоты. Этот факт позволяет производить измерения расстояний косвенным методом, т. е. зная закон изменения несущей частоты автодина либо уровень выходного напряжения можно поставить в соответствие измерение расстояния.

Автодинные датчики работают в двух типах систем:

- статической - объект либо препятствие, попадающее в область излученной электромагнитной волны, неподвижен или медленно меняет свое местоположение

- динамической - объект перемещается с некоторой скоростью относительно датчика, иногда скорость объекта превышает скорость звука.

В статической системе отражение электромагнитной волны от препятствия вызывает изменение фазы колебания на 180° . В этом случае отраженная волна действует в противофазе относительно излученной волны. Отраженная волна, распространяясь в пространстве до антенны автодинного датчика с ослаблением. При попадании отраженной волны в антенну происходит изменение режима работы автодина, фаза колебаний изменяется, пропорционально фазе, при которой произошло отражение электромагнитной волны от препятствия (рис. 3.10), это приводит к изменению частоты колебаний и режима работы по постоянному току. Автодин работает в новом установившемся режиме, частота колебаний сохраняется до тех пор, пока препятствие повторно не изменит своего положения. При перемещении препятствия в точках максимума и минимума стоячей волны устанавливается минимум и максимум сигнала, соответственно, изменения частоты в этих точках уходят в крайние значения частоты и выходное напряжение по постоянному току достигает максимального и минимального значения (рис. 3.12). В таком случае получаем возможность измерения расстояния с высокой точностью по линейному закону в пределах.

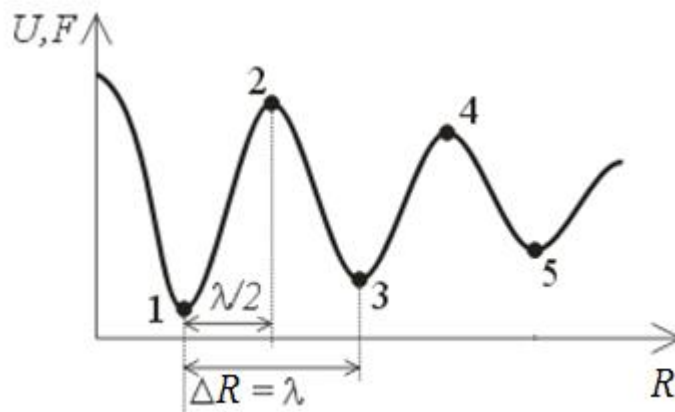


Рис. 3.12. Стоячие волны в ближней зоне.

В динамической системе отражение электромагнитной волны от препятствия вызывает изменение фазы колебания на 180° , аналогично статическому режиму. Однако в отличие от статического режима изменения положения препятствия происходят гораздо чаще, это приводит к тому, что колебания несущей частоты автодинного датчика приобретают частотную модуляцию, а поскольку автодинный датчик одновременно является и детектором, то на выходе схемы получаем сравнительно низкочастотное колебание - пропорциональное скорости изменения фазы колебания. Проще говоря, на выходе автодинного датчика получим низкочастотное колебание пропорциональное скорости объекта, и чем выше скорость объекта, тем выше частота колебаний на выходе.

Различные режимы передачи и соответствующая обработка автодинного сигнала позволяют в реальном времени получать информацию о размерах, объемных электрофизических свойствах исследуемых объектов, параметрах их движения (расстояние, скорость, ускорение, пройденный путь). Системы, построенные по автодинному принципу, имеют простейшую конструкцию приемно-передающего модуля,

который содержит автогенератор на СВЧ транзисторе, обеспечивающий одновременное выполнение функции передатчика и преобразователя полезного сигнала, отраженного от объекта.

Схемотехника и конструктивные особенности автодинного датчика.

Конструктивно автодинный датчик выполнен на одной печатной плате из фольгированного флана. Основную площадь занимает частото задающий колебательный контур, конструктивно выполненный в виде площадки с размерами равными четверти длины волны, и одновременно является передающей и приемной антенной. На рисунке 5 показана электрическая схема автодинного датчика.

Назначение элементов в схеме, рис. 3.13. Резистивный делитель из двух сопротивлений $R1$ и $R2$ задают рабочую точку транзистора по постоянному току. $R4$ ограничивает сквозной протекающий ток и задает уровень излучаемой мощности электромагнитной волны. Цепочка из $L1$, $R4$ и $C1$ выполняет роль низкочастотного фильтра и нагрузки. Цепочка $C1$, $C2$ и $L2$ фильтр цепи питания. $C1$ и $C2$ сглаживают пульсации источника питания и являются малым сопротивлением для высокочастотного колебания автогенератора, а совместно с $L2$ сопротивление которого на высокой частоте значительное, препятствует прохождению высокочастотных колебаний в источник питания и не допускает попадания электромагнитных наводок из первичной сети переменного тока ($\sim 220\text{В}$, 50 Гц). На выходе автодинного датчика, в точке 1 присутствует напряжение по постоянному току в единицы вольт, порядка $3 \dots 4$ В. При внесении проводящего объекта в область антенны происходит изменение режима работы автодина и изменяется частота высокочастотных колебаний, одновременно изменяется выходное напряжение, его изменения составляют единицы - десятки микроампер. Для того чтобы заметить и измерить эти изменения, в схему введен операционный усилитель $U1$, включенный по схеме масштабирующего усилителя. На входе операционного усилителя с помощью сопротивления $R8$ задается потенциал равный потенциалу в точке 1 (рис. 3.13). Тем самым формируется виртуальный нулевой потенциал на входе операционного усилителя. Теперь при измерении режима генерации автодинного датчика на выходе усилителя получаем заметное изменение напряжения. Однако в точке 2 на выходе операционного усилителя будем так же иметь сравнительно высокий потенциал, который не дает возможность подключить измерительный прибор непосредственно к выходу усилителя. Стрелку прибора либо зашкалит, либо в случае грубого прибора изменения будут малозаметны. С помощью сопротивления $R10$ задается потенциал равный или близкий по значению потенциалу в точке 2 (рис. 3.13). При таком подходе есть возможность использовать чувствительный измерительный прибор и его показания будут находиться в пределах рабочей шкалы.

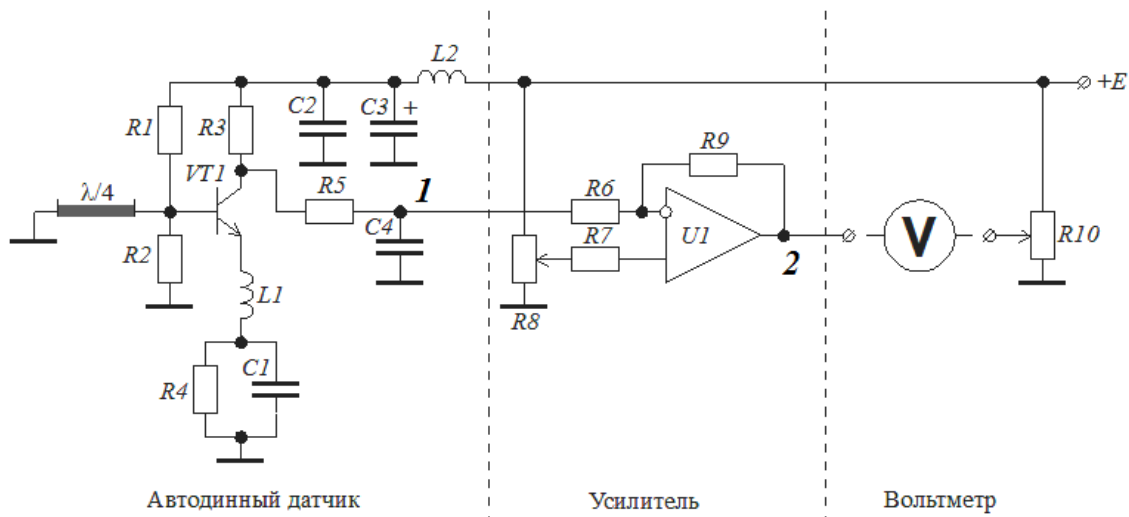


Рисунок 3.13. Электрическая схема автодинного датчика.

4. Рабочее задание

Задание 1. Схема автогенераторного датчика.

По топологии предложенного макетного образца автогенераторного датчика восстановить схему электрическую принципиальную. При выполнении задания учитывать информацию о циклёвке активного элемента (приложение 4). По итогу выполнения задания в отчете должна быть изображена схема электрическая принципиальная макета автогенераторного датчика с обозначением номиналов схемы.

Задание 2. Настройка измерительного стенда.

При изменении напряжения питания изменяется режим работы датчика. Настройка датчика сводится к определению частоты генерации датчика и подбору амплитуды напряжения питания, при котором генерация устойчива и присутствует реакция на внешние объекты.

Промерить потенциалы в ключевых (контрольных) точках по постоянному току относительно общей шины, значения нанести на схему электрическую принципиальную.

Задание 3. Измерения чувствительности/дальности/диаграммы направленности датчика.

Произвести измерение диаграммы направленности, т.е. зависимость амплитуды сигнала при размещении объекта при различных углах относительно плоскости датчика.

Произвести измерение дистанционной характеристики (дальности), т.е. зависимость амплитуды сигнала от расстояния до объекта расположенного в плоскости датчика.

Произвести измерение чувствительности датчика, т.е. определить максимальное расстояние, на котором объект однозначно различим на фоне шумов, либо минимальные размеры объекта на одном и том же расстоянии, а также чувствительность к объектам с различными физическими свойствами.

Задание 4. Измерения зависимости характеристик датчика от напряжения питания.

Произвести измерение чувствительности датчика при различных напряжениях питания

Задание 5. Выводы.

По результатам измерений и исследованию датчика сделать выводы. В выводах рассмотреть вопросы:

- зависимости режима работы от напряжения питания, влияние на дальность обнаружения объекта;
- с чем связана форма диаграммы направленности;
- какое влияние на датчик оказывают объекты с различными физическими свойствами.

Выводы соотнести со схемой электрической принципиальной, графиками и данными, полученными в ходе работы.

5. Контрольные вопросы

1. Опишите принцип действия автодинного датчика.
2. Каким образом с помощью автодинного датчика измеряется расстояние?
3. Какие преимущества и недостатки при измерении параметров автодинного датчика с помощью вольтметра?
4. Какие преимущества и недостатки при измерении параметров автодинного датчика с помощью анализатора спектра?
5. Что именно позволяет измерить автодинный датчик в статическом режиме расстояние или приращение расстояния?
6. Каково назначение элементов в схеме?
7. Объясните законы изменения частоты.
8. Объясните влияние объектов с различными физическими свойствами на датчик.
9. Зависит ли чувствительность датчика от размеров объекта поиска?
10. Что является источником возникновения автоколебаний в датчике?
11. Почему датчик изменяет режим работы при внесении объекта поиска в область действия датчика?
12. Объясните причины расхождения между вычисленными зависимостями и экспериментальными данными.

Приложение 1. Требования к отчету по лабораторной работе

Оформление отчета.

Отчет оформляется на листах формата А4. На титульном листе указывается дисциплина, наименование и номер лабораторной работы, фамилия преподавателя и студентов, номер группы и дата выполнения. Допускается выполнение индивидуального отчета, т.е. работы выполняется в команде, а результаты обрабатываются и оформляются в отчет индивидуально. Допускает оформление отчета «от руки».

Структурные, функциональные и электрические принципиальные схемы исследуемого объекта и схемы измерений выполняются в соответствии с действующими ГОСТами.

Отчет должен являться необходимым и достаточным описанием проделанной работы. По каждому пункту экспериментов должны быть указаны состав стенда (приборы и материалы, используемые в работе), схемы электрические принципиальные, функциональные и прочие поясняющие, что и как выполнять в ходе работы. Обязательно наличие рабочих формул, по которым производится расчет. В ходе работы составляется таблица данных, куда входят исходные параметры, результаты измерений, результаты расчетов. Таблица данных может быть оформлена в свободном и понятном стиле.

По завершению этапа измерений и расчетов строится вывод на основе полученных и ожидаемых результатов, соотносится с теорией. В случае несоответствия практического результата и теоретических ожиданий в выводе отмечается причина несоответствия и пути исправления.

Порядок защиты отчета.

После проведения лабораторной работы защищается отчет по работе (не сама лабораторная работа, а отчет).

Отчет оформляется группой студентов, каждый должен с ним ознакомиться и при необходимости внести поправки. Защита отчета индивидуальна, вопросы на защите не связаны с ролью в команде (в случае несоответствия в отчете должны быть готовы доделать отчет или доказать его состоятельность). При защите отчета пользоваться можно только самим отчетом, использование методического пособия, учебника или средств связи во время защиты недопустимо.

В конце каждой работы приводится список вопросов для подготовки к защите. Во время защиты вопросы могут быть сформулированы иначе, чем в методическом пособии. Получив вопрос, дается время (в разумных пределах ... 2-3 минуты) на обдумывание ответа, при необходимости изобразить для ответа схемы, графики, формулы ... можно использовать обратную сторону отчета.

Результат защиты оценивается по 100 бальной системе с отметкой на титульном листе и возвращается студенту для передачи не защитившимся членам команды. После того как все члены команды, указанные на титульном листе отчета, получают отметку о защите отчет сдается преподавателю, преподаватель вносит результаты защиты в журнал. Поскольку отчет коллективный, то и ответственность должна быть коллективной, пока все члены команды не защитят отчет, отметка о защите в журнал не ставится.

Приложение 2. XL4016 выдержка из datasheet.

Функции

- Широкий диапазон входного напряжения от 8 В до 40 В.
- Выходное напряжение регулируется от 1,25 В до 36 В.
- Максимальный рабочий цикл 100%
- Минимальное падение напряжения 0,3 В
- Фиксированная частота переключения 180 кГц
- 8А, постоянный выходной ток
- Внутренняя оптимизация мощности MOSFET
- Высокий КПД до 96%
- Превосходное регулирование линии и нагрузки
- Встроенная функция отключения при перегреве
- Встроенная функция ограничения тока
- Встроенная функция защиты от короткого замыкания на выходе
- Встроенная защита от перенапряжения на входе
- Доступен в корпусе TO220-5L.

Общее описание

XL4016 — это ШИМ-понижающий преобразователь постоянного тока в постоянный ток с фиксированной частотой 180 кГц, способен управлять нагрузкой до 8А с высокой эффективностью, и низким коэффициентом пульсаций и регулировки выходного напряжения. Требуется минимум внешних компонентов, преобразователь прост в использовании и включает в себя источник внутреннего опорного высокостабильного напряжения и генератор фиксированной частоты. Схема управления ШИМ способна регулировать коэффициент заполнения линейно от 0 до 100%. При срабатывании функции защиты от короткого замыкания, рабочая частота ШИМ снижается от 180 кГц до 48 кГц.

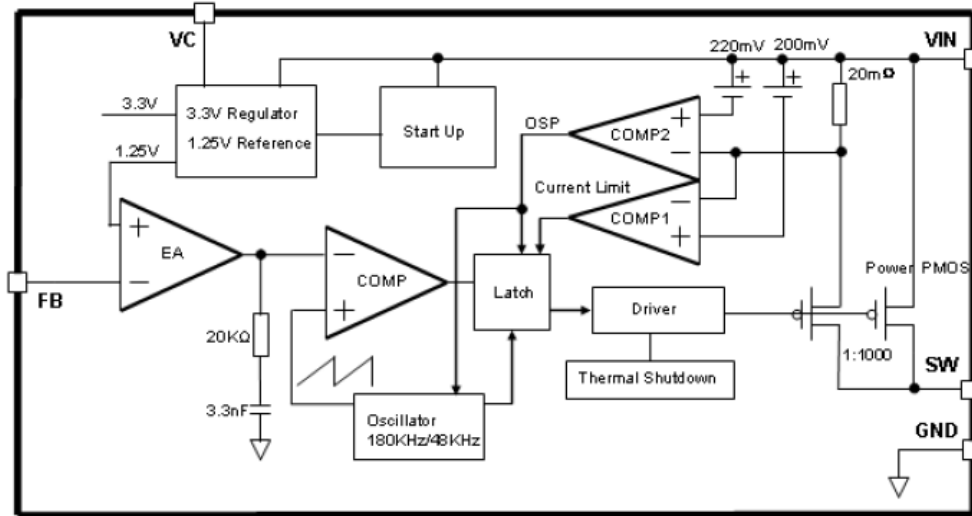
Конфигурация выводов



№	наименование	Описание
1	GND	Общая шина
2	FB	Обратная связь, ожидается напряжение 1,25В
3	SW	Выход, коммутатор входного напряжения
4	VC	Вывод для внешнего конденсатора фильтра
5	VIN	Входное напряжение от 8В до 40В

Металлическая часть соединена с «SW»

Функциональная блок-схема.



Типичная схема включения.

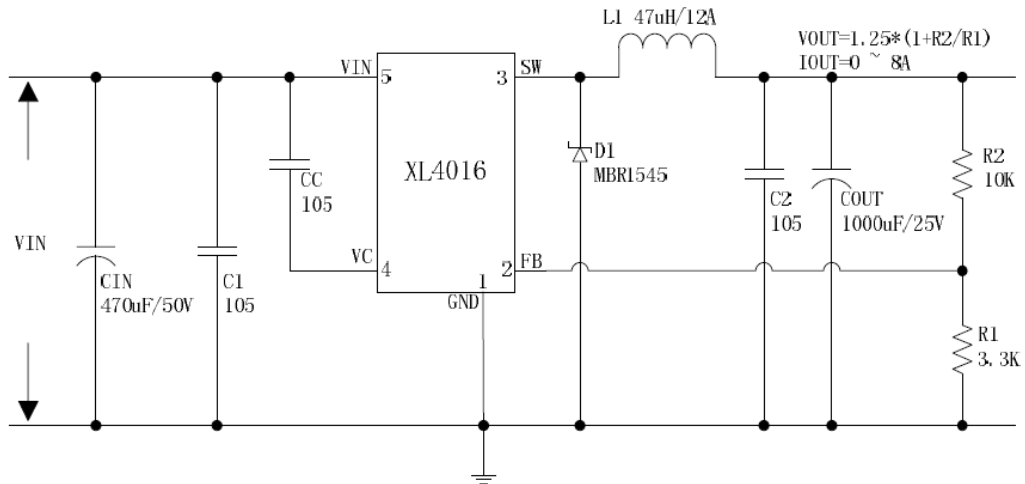
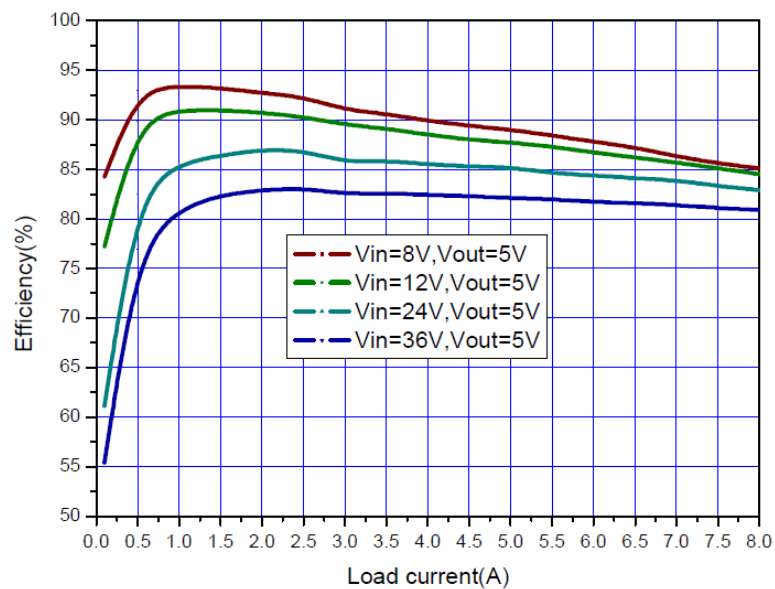
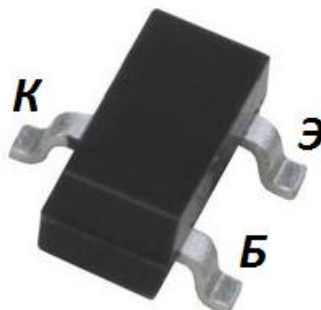


График КПД в зависимости от входного напряжения, для частного случая.



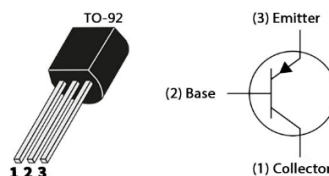
Приложение 3. Краткие справочные данные по активным элементам, используемым в лабораторной работе 2.

Корпуса элементов и конфигурация выводов. Корпуса элементов и конфигурация выводов.



Транзистор в корпусе SOT23.

Транзистор КТ3107.



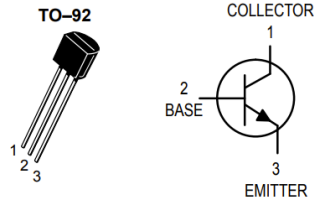
Основные электрические параметры КТ3107

Параметры	Обозначение	Ед. изм.	Режимы измерения	Min	Max
Обратный ток коллектора	$I_{кб0}$	нА	$U_{кб} = 20В, I_э = 0$		100
Обратный ток эмиттера	$I_эб0$	мкА	$U_эб = 5В, I_к = 0$		100
Статический коэффициент передачи тока	h_{21e}		$U_{кб} = 5В, I_э = 2мА$	70	800
Напряжение насыщения коллектор - эмиттер	$U_{кэ} (нас)$	В	$I_к = 10мА, I_б = 0,5мА$		0,2
Напряжение насыщения база - эмиттер	$U_{бэ} (нас)$	В	$I_к = 10мА, I_б = 0,5мА$		0,8
Емкость коллекторного перехода	$C_{кк}$	пФ	$U_{кб} = 10В, I_э = 0, f = 10МГц$		7,0
Граничная частота коэффициента передачи тока	$f_{гр}$	МГц	$U_{кб} = 5В, I_к = 10 мА$	250	
Коэффициент шума	$K_{ш}$	дБ	$U_{кэ} = 3В, I_к = 0,2мА, f = 1МГц, R_г = 3кОм$		4-10

Значения предельно допустимых электрических режимов эксплуатации КТ3107

Параметры	Обозначение	Ед. изм.	Значение
Напряжение коллектор - база	$U_{кб max}$	В	25-50
Напряжение коллектор - эмиттер	$U_{кэг max}$	В	20-45
Напряжение эмиттер - база	$U_эб max$	В	5
Постоянный ток коллектора	$I_к max$	мА	100
Рассеиваемая мощность коллектора	$P_к max$	мВт	300
Температура перехода	T_j	°C	150

Транзистор КТ3102.



Основные электрические параметры КТ3102

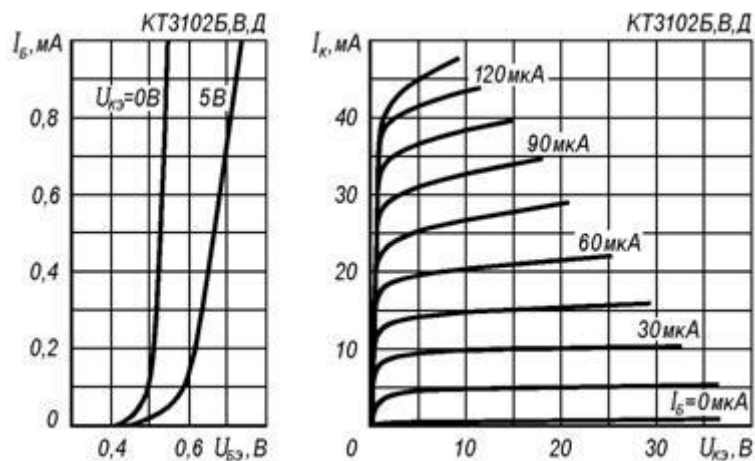
Параметры	Обозначение	Ед. измер	Режимы измерения	Min	Max
Обратный ток коллектора	$I_{кбо}$	нА	$U_{кб}=U_{кб\ max}, I_э=0$		15-50
Обратный ток эмиттера	$I_эбо$	мкА	$U_эб=5В$		10
Статический коэффициент передачи тока	h_{21E}		$U_{кб}=5В, I_э=2мА, f=50Гц$	100	1000
Емкость коллекторного перехода	C_k	пФ	$U_{кб}=5В, f=10МГц$		6,0
Модуль коэффициента передачи тока на высокой частоте КТ3102АМ,БМ,ВМ,ГМ,ЖМ,ИМ,КМ КТ3102ДМ,ЕМ	$ h_{21E} $		$U_{кб}=5В, I_э=10мА, f=100МГц$	2 3	
Коэффициент шума	$K_{ш}$		$U_{кэ}=5В, I_к=0,2мА$		4,0
Постоянная времени цепи обратной связи	k^*	пс	$U_{кб}=5В, I_э=10мА, f=30МГц$		100

Значения предельно допустимых электрических режимов эксплуатации КТ3102

Параметры	Обозначение	Ед. измер.	Значение
Напряжение коллектор-база	$U_{кб\ max}$	В	20-50
Напряжение коллектор-эмиттер ($R_{бэ}=10кОм$)	$U_{кэг\ max}$	В	20-50
Напряжение эмиттер-база	$U_эб\ max$	В	5
Постоянный ток коллектора	$I_к\ max$	мА	200
Импульсный ток коллектора ($t_u < 40мкс, Q > 500$)	$I_к, и\ max$	мА	250
Рассеиваемая мощность коллектора	$P_к\ max$	мВт	250
Температура перехода	T_j	°С	125

Классификация КТ3102

	$U_{кб\ max}, В$	$U_{кэг\ max}, В$	h_{21e}	$I_{кбо}, нА$	$U_{кб}, В$	$K_{ш}, дБ$
КТ3102АМ	50	50	100-250	50	50	10
КТ3102БМ	50	50	200-500	50	50	10
КТ3102ВМ	30	30	200-500	15	30	10
КТ3102ГМ	20	20	400-1000	15	20	10
КТ3102ДМ	30	30	200-500	15	30	4
КТ3102ЕМ	20	20	400-1000	15	20	4
КТ3102ЖМ	50	50	100-250	50	50	-
КТ3102ИМ	50	50	200-500	50	50	-
КТ3102КМ	20	30	200-500	15	30	-



Приложение 4. Краткие справочные данные к лабораторной работе 3.

Philips Semiconductors

Product specification

NPN 5 GHz wideband transistor

BFR92

DESCRIPTION

NPN transistor in a plastic SOT23 envelope primarily intended for use in RF wideband amplifiers and oscillators. The transistor features low intermodulation distortion and high power gain; due to its very high transition frequency, it also has excellent wideband properties and low noise up to high frequencies.

PNP complement is BFT92.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
Code: P1p	
1	base
2	emitter
3	collector

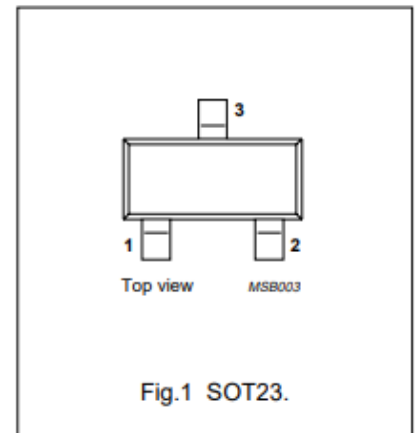


Fig.1 SOT23.

QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYP.	MAX.	UNIT
V_{CB0}	collector-base voltage	open emitter	–	20	V
V_{CE0}	collector-emitter voltage	open base	–	15	V
I_C	DC collector current		–	25	mA
P_{tot}	total power dissipation	up to $T_s = 95\text{ }^\circ\text{C}$; note 1	–	300	mW
f_T	transition frequency	$I_C = 14\text{ mA}$; $V_{CE} = 10\text{ V}$; $f = 500\text{ MHz}$; $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$	5	–	GHz
C_{re}	feedback capacitance	$I_C = 2\text{ mA}$; $V_{CE} = 10\text{ V}$; $f = 1\text{ MHz}$	0.4	–	pF
G_{UM}	maximum unilateral power gain	$I_C = 14\text{ mA}$; $V_{CE} = 10\text{ V}$; $f = 500\text{ MHz}$; $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	18	–	dB
F	noise figure	$I_C = 2\text{ mA}$; $V_{CE} = 10\text{ V}$; $f = 500\text{ MHz}$; $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$; $Z_s = \text{opt.}$	2.4	–	dB
V_o	output voltage	$d_{im} = -60\text{ dB}$; $I_C = 14\text{ mA}$; $V_{CE} = 10\text{ V}$; $R_L = 75\text{ }\Omega$; $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$; $f_{(p+q-r)} = 493.25\text{ MHz}$	150	–	mV

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CB0}	collector-base voltage	open emitter	–	20	V
V_{CE0}	collector-emitter voltage	open base	–	15	V
V_{EBO}	emitter-base voltage	open collector	–	2	V
I_C	DC collector current		–	25	mA
P_{tot}	total power dissipation	up to $T_s = 95\text{ }^\circ\text{C}$; note 1	–	300	mW
T_{stg}	storage temperature		–65	150	$^\circ\text{C}$
T_j	junction temperature		–	175	$^\circ\text{C}$

Note

- T_s is the temperature at the soldering point of the collector tab.