

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный
институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ
НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

Утверждено редакционно-издательским
советом института
в качестве методических указаний
к лабораторным работам

Куйбышев 1985

УДК 621.375.018.756

В указаниях приведено описание двух лабораторных установок, позволяющих исследовать основные характеристики и свойства усилительных каскадов с общим эмиттером и общим коллектором. Для закрепления материала дан список контрольных вопросов.

Методические указания предназначены для студентов спец. 0705, изучающих курс "Основы радиоэлектроники".

Составитель В.В.Ф а д е е в

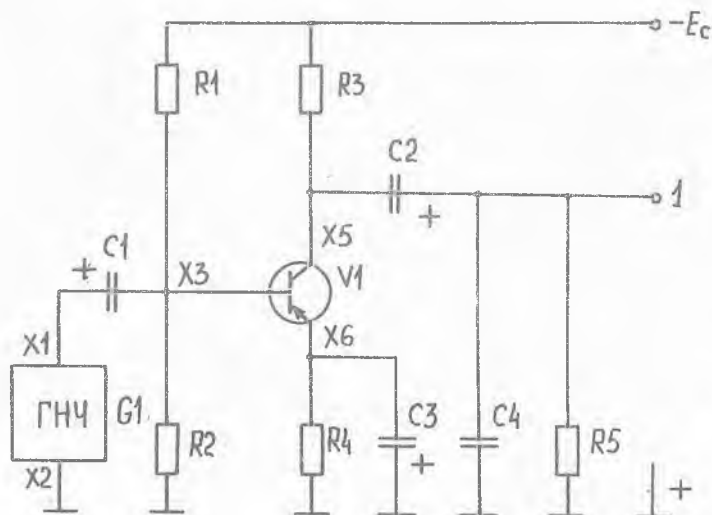
Рецензенты: доц. В.В.Мотов, доц. Ю.С.Быховский

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ (ШИФР 87Л-01/14)

Цель работы: изучение влияния различных элементов схемы на основные характеристики усилителя переменных сигналов.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Схема исследуемого каскада приведена на рисунке. В качестве активного элемента используется биполярный транзистор р-п-р структуры типа МП40 (V_1).



Р и с. 1. Схема резистатного УНЧ на транзисторе

Входной разделительный конденсатор C_1 предотвращает нарушение нормального режима работы каскада, которое может быть вызвано действием постоянной составляющей усиленного сигнала. Выходной разделительный конденсатор C_2 предотвращает попадание постоянного напря-

жения в цепь нагрузки R_5 . Элементы R_1, R_2, R_4 задают режим работы транзистора и обеспечивают температурную стабилизацию коллекторного тока. Усиленный сигнал снимается с коллекторной нагрузки R_3 . Блокирующий конденсатор C_3 , включенный в цепь эмиттера, ослабляет действие отрицательной обратной связи по переменному току, возникающей из-за введения резистора R_4 . В зависимости от значения C_3 нейтрализация обратной связи происходит в области средних и верхних частот или только на верхних частотах. Этот эффект используется для расширения полосы пропускания усилительного каскада. Конденсатор C_4 моделирует емкостную составляющую нагрузки, а также входную и выходную емкость усилительного элемента и емкость монтажа.

ОБОРУДОВАНИЕ И АППАРАТУРА

Схему исследуемого каскада собирают на испытательной панели 87Л-01/14.

Для сборки используют следующие элементы:

транзистор $V1$ (МП40).....	1 шт
резисторы $R1$ (22 кОм, переменный).....	1 шт
$R2$ (1,2 кОм).....	1 шт
$R3$ (1 кОм).....	1 шт
$R4$ (200 Ом).....	1 шт
$R5$ (2,4 кОм).....	1 шт
конденсаторы $C1$ (0,1 мкФ; 20 мкФ).....	2 шт
$C2$ (20 мкФ).....	1 шт
$C3$ (0,1 мкФ; 20 мкФ).....	2 шт
$C4$ (510 пФ; 0,033 мкФ).....	2 шт
Проводники соединительные.....	6 шт

В работе также используют: ГН2 - регулируемый источник напряжения, АВМ1 - измеритель тока и напряжения, ГНЧ - генератор низкой частоты.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Пользуясь принципиальной схемой, изображенной на передней панели лабораторного стенда, собрать схему усилителя. При сборке использовать $C1 = C3 = 20$ мкФ, $C4 = 510$ пФ.

2. Установить напряжение источника питания ГН2 $E_n = 10$ В.

Для контроля напряжения использовать измерительные блоки АВМ1 или ИВ, смонтированные в правой стойке лабораторного стенда.

3. Подать напряжение питания на схему. Изменяя резистор R_1 , установить на коллекторе транзистора V_1 напряжение $U_k = 5$ В. С помощью блока АВМ1 замерить напряжение в точках X_3 , X_5 , X_6 .

4. Снять амплитудную характеристику усилителя:

а) включить ГНЧ. Подключить осциллограф к выходу (1:1) ГНЧ и установить частоту сигнала $f = 1$ кГц. Частота определяется как $f = 1/T$, где T – период следования сигнала. Для точного определения T с помощью переключателя "mS /ДЕЛ", "μS /ДЕЛ", расположенного на передней панели осциллографа, установить скорость развертки луча такой, чтобы на экране осциллографа умещалось 1,5–2 периода следования входного сигнала. Период T определяется по выбранному значению скорости развертки. Устойчивость изображения регулируется ручками "СТАБ" и "УРОВЕНЬ".

б) подключить осциллограф к нагрузке (точка I). Подать напряжение с выхода (1:1) ГНЧ на вход усилителя. Плавно увеличивая амплитуду входного сигнала, добиться появления ограничения сигнала. При этом одновременно с изменением входного сигнала необходимо с помощью переключателя "V /ДЕЛ" изменять чувствительность усилителя вертикального отклонения осциллографа с тем, чтобы размер изображения на экране по вертикали составлял примерно 2/3 максимально возможного. Амплитуда (или двойная амплитуда) сигнала определяется по установленной чувствительности осциллографа.

Зарисовать форму сигнала в точках X_3 , X_5 . Найденное значение выходного напряжения $U_{вых}$ соответствует точке перегиба амплитудной характеристики;

в) уменьшая входной сигнал (с помощью ручки "АМПЛИТУДА" и дополнительных выходов (1:10), (1:100)), снять амплитудную характеристику. Амплитуду входного сигнала измерять с помощью осциллографа в точке X_3 . Шаг изменения входного напряжения должен соответствовать выбранному шагу изменения выходного напряжения $\Delta U_{вых} = U_{вых} / k$. Число контрольных точек k зависит от требуемой точности определения амплитудной характеристики, обычно $k = 5$. При необходимости отдельные (нелинейные) участки характеристики можно снять более подробно, с меньшим шагом.

5. Исследовать влияние конденсаторов C_1 , C_3 и C_4 на амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) усилителя:

а) установить выходное напряжение ГНЧ, соответствующее середине линейного участка амплитудной характеристики;

изменяя частоту входного сигнала с помощью переключателя "ДИАПАЗОН" (грубо) и ручки "ЧАСТОТА" (плавно) качественно исследовать АЧХ, определяя при этом область нижних, средних и верхних частот;

в областях нижних и верхних частот определить частоты сигналов, соответствующие уровням выходного сигнала 0,9; 0,7; 0,5 от уровня сигнала в области средних частот. Занести полученные данные

$U_{вых} = U_{вых}(f)$ в таблицу;

б) установить в схему элементы $C1 = 0,1$ мкФ и повторить п. а);

в) установить в схему элементы $C1 = 20$ мкФ, $C4 = 0,033$ и повторить п. а);

г) установить в схему элементы $C1 = 0,1$ мкФ, $C3 = 0,1$ мкФ и повторить п. а). Определить, во сколько раз уменьшился коэффициент усиления в этом случае в области средних частот по сравнению с п. а).

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование лабораторной работы, ф.и.о. студента, группа, год.
2. Принципиальная схема экспериментальной установки.
3. Экспериментально полученные таблицы с результатами измерений, графики и осциллограммы напряжений.
4. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Физическая эквивалентная схема биполярного транзистора и его основные параметры.
2. Принципиальная схема резисторного каскада по схеме с общим эмиттером, назначение элементов, принцип действия усилителя.
3. Эквивалентная схема резисторного каскада по схеме с общим эмиттером.
4. Назначение и схемы цепей питания усилительных элементов по постоянному току.
5. Принцип действия цепочек термостабилизации.
6. Назначение конденсатора С3 и его влияние на амплитудно-частотную характеристику усилителя.

7. Причины частотных искажений на нижних частотах.
8. Причины частотных искажений на верхних частотах.
9. Переходные характеристики усилительного каскада и их связь с частотными характеристиками.
10. Нагрузочные прямые усилительного каскада по постоянному и переменному току.
11. Влияние положения рабочей точки (напряжения коллектор-эмиттер и постоянной составляющей коллекторного тока) на нелинейные искажения и форму амплитудной характеристики.
12. Режимы работы усилительных элементов.
13. Факторы, влияющие на коэффициент усиления в области средних частот.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

У ш а к о в В.Н. Основы радиоэлектроники и радиотехнические устройства. -М.:Высшая школа, 1976.

Ц ы к и н Г.С. Усилительные устройства. -М.:Связь, 1971.

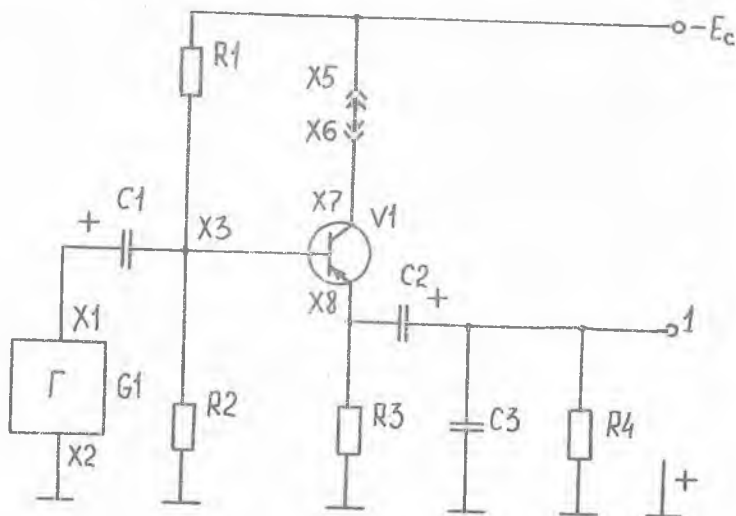
Г о л о в и н О.В., К у б и ц к и й А.А. Электронные усилители. -М.:Радио и связь, 1983.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИТТЕРНОГО ПОВТОРИТЕЛЯ
(ШИФР 87Л-01/15)

Ц е л ь р а б о т ы: изучение и экспериментальное исследование особенностей возникновения линейных и нелинейных искажений выходных сигналов эмиттерного повторителя.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Э м и т т е р н ы й п о в т о р и т е л ь — каскад с общим коллектором — представляет собой усилитель с глубокой отрицательной обратной связью по напряжению последовательного типа (рис.1).



Р и с. 1. Схема эмиттерного повторителя

Коэффициент усиления по напряжению этого каскада меньше единицы — он лишь повторяет входное напряжение. В то же время эмиттерный повторитель (ЭП) усиливает ток. Благодаря большой величине входного сопротивления $R_{вх}$ и малой величине выходного сопротивления $R_{вых}$ данный каскад является хорошим согласующим устройством.

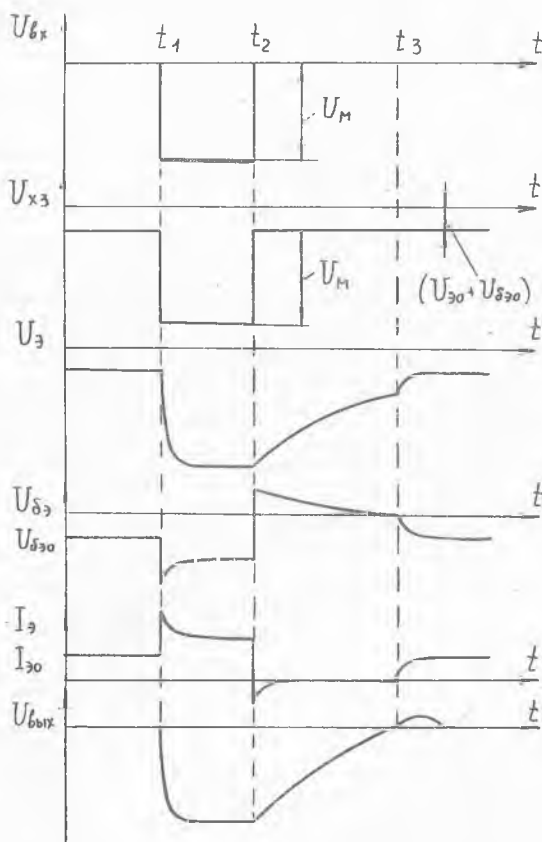
ЭП широко используется для передачи импульсов большой амплитуды в низкоомную, в том числе и емкостную, нагрузку от источников с большим внутренним сопротивлением. Малое $R_{вх}$ обеспечивает быстрое нарастание фронта импульса на выходе схемы даже при сравнительно большой величине емкости нагрузки C_H . Большой динамический диапазон способствует передаче импульсов без заметных нелинейных искажений. Значительное $R_{вх}$ позволяет заметно уменьшить уровень линейных (частотных) искажений, которые возникают во входной цепи из-за большого внутреннего сопротивления источников импульсов.

Благодаря действию обратной связи в ЭП существенно уменьшается уровень нелинейных искажений при передаче сигналов большой амплитуды. Однако это происходит до тех пор, пока в схеме действует обратная связь. Если же амплитуда сигнала настолько велика, что под его воздействием нарушается нормальная работа усилительного каскада, вследствие чего нарушается действие обратной связи, то резко возрастает уровень нелинейных искажений. Так например, если сигнал большой амплитуды запирает транзистор или вводит его в насыщение, то петля обратной связи разрывается.

Отмеченные особенности передачи сигналов большого уровня наиболее ярко проявляются в случае заметной емкостной составляющей нагрузки $C_H (C_3)$. На рис.2 условно показаны эпюры напряжения в различных точках схемы при передаче отпирающего (отрицательного для транзистора р-п-р структуры) импульса.

Пусть в исходном состоянии через транзистор протекает ток эмиттера $I_э = I_{э0}$. Напряжение в точке X8 будет равно $U_{э0} = I_{э0} R_3$, напряжение между базой и эмиттером $U_{бэ} = U_{вх} - U_э = U_{бэ0}$. Разделительный конденсатор большой емкости C2 заряжен до напряжения $U_{э0}$, конденсатор C3 (емкость нагрузки) разряжен до нуля, т.е. $U_{ввх} = 0$. В момент времени t_1 приходит импульс отрицательной полярности. Поскольку напряжение на C3 скачком измениться не может, напряжение $U_{бэ}$ резко увеличивается, что приводит к значительному возрастанию тока $I_э$. Бросок тока $I_э$ быстро заряжает C3. Напряжение $U_э$ принимает новое установившееся значение. Величины $U_{бэ}$ и $I_э$ уменьшаются до соответствующих квазистационарных значений.

В момент времени t_2 кончается входной импульс. Напряжение $U_{бэ}$ и ток $I_э$ скачком уменьшаются. Если крутизна и амплитуда входного запирающего (положительного) перепада достаточно велики (напряжение на C3 не успевает следить за изменением $U_{вх}$), то $U_{бэ}$ может стать положительным, и транзистор VI закроется. Конденса-



Р и с. 2. Эпюры напряжений в схеме ЭП

тор СЗ будет перезаряжаться через относительно большое сопротивление $R3 \parallel R4$ по экспоненциальному закону до тех пор, пока $U_{\delta 3}$ не станет отрицательным. С момента t_3 транзистор начинает приоткрываться, включается цепь обратной связи, выходное сопротивление ЭП уменьшается, и скорость перезаряда начинает очень быстро возрастать. Поэтому последний участок заднего фронта получается крутым.

Таким образом, при передаче прямоугольного импульса повторитель вносит в сигнал нелинейные искажения, причем открывающий фронт оказывается коротким, а закрывающий фронт — искаженным, растянутым. Для уменьшения нелинейных искажений необходимо обеспечивать нормальную работу усилительного элемента во всем диапазоне изменений входного сигнала. Поэтому при использовании ЭП для передачи импульсных сигналов большой амплитуды с крутыми перепадами приходится выбирать усилительный элемент не только исходя из его частотных и усилительных свойств, но и учитывая максимально допустимую величину тока. По этой причине иногда для увеличения пределов изменения тока применяется параллельное включение усилительных элементов.

Аналогичные нелинейные искажения возникают и при передаче через повторитель непрерывных сигналов, если они имеют достаточно большую скорость и амплитуду.

Наличие емкостной составляющей нагрузки C_H оказывает существенное влияние и на характер входного импеданса. Анализ процессов, протекающих в схеме, показывает, что если C_H невелика, то комплексное сопротивление Z_{BX} состоит из активной составляющей R_{BX} и емкостной составляющей C_{BX} , причем $R_{BX} = (\beta + 1)R_3 \parallel R_4$ (без учета сопротивления базового делителя). При большой C_H в эквивалентной схеме Z_{BX} появляются индуктивность и отрицательное сопротивление. Наличие отрицательного сопротивления может привести к самовозбуждению схемы или к появлению колебательного процесса (выбросов) на вершине передаваемого импульса. Для устранения этого эффекта в цепь базы часто включают небольшое добавочное сопротивление $R_{доб}$.

Выходное сопротивление схемы с общим коллектором Z'_{BYX} также носит сложный комплексный характер. Упрощенно его можно представить в виде последовательного соединения активного сопротивления R'_{BYX} и индуктивности L_{BYX} . При этом $R_{BYX} = (R_{r3} / (\beta + 1)) + 1/S_3$, где R_{r3} — эквивалентное выходное сопротивление генератора сигнала (с учетом базового делителя); S_3 — крутизна эмиттерного тока, т.е. крутизна характеристики $I_3 = f(U_{E3})$. Поскольку для биполярных транзисторов крутизна имеет порядок 100...400 мА/В, то активная составляющая $R'_{BYX} \approx 1/S_3$ составляет десятки Ом.

Наличие индуктивности L_{BYX} объясняется инерционностью транзистора. При резких изменениях входного сигнала обратная связь не успевает вступить в действие, поэтому выходное сопротивление схемы не уменьшается, тогда как при медленно изменяющихся сигналах оно

уменьшается из-за действия обратной связи. Полное выходное сопротивление ЭП $Z_{\text{вых}}$ равно параллельному соединению сопротивлений $Z'_{\text{вых}}$ и R_3 . С учетом конечного комплексного сопротивления источника сигнала, емкостей эмиттерного и коллекторных переходов характер $Z_{\text{вых}}$ существенно усложняется - в выходной цепи образуется LC -контур. При работе на омическую нагрузку потери в этом контуре оказываются сравнительно высокими, поэтому переходные процессы в ЭП носят аperiodический характер. При подключении емкостной нагрузки добротность контура повышается, что часто приводит к самовозбуждению ЭП.

Коэффициент передачи на напряжение ЭП на средних частотах зависит от величины нагрузки и режима работы усилительного элемента: $K_0 = \frac{S_2 R_2}{1 + S_2 R_2}$, где $R_2 = R_3 \parallel R_4$.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Схему исследуемого эмиттерного повторителя собирают на испытательной панели 87Л-01/15.

Для сборки используют следующие элементы:

транзистор $V1$ (МП40).....	1 шт
резисторы $R1$ (22 кОм, переменный).....	1 шт
$R2$ (10 кОм).....	1 шт
$R3$ (1 кОм, 200 Ом).....	2 шт
$R4$ (510 Ом).....	1 шт
конденсаторы $C1$ (0,1 мкФ, 20 мкФ).....	2 шт
$C2$ (20 мкФ).....	1 шт
$C3$ (0,1 мкФ).....	1 шт
переключатель.....	1 шт
проводники соединительные.....	7 шт

В работе также используют: ГН2 - регулируемый источник напряжения, АВМ1 - измеритель тока и напряжения, ГНЧ - генератор низкой частоты, ГПИ - генератор прямоугольных импульсов.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать схему ЭП без конденсатора $C3$. Разделительный конденсатор $C1$ установить равным 0,1 мкФ, резистор $R3 = 1 \text{ кОм}$.

2. Установить напряжение источника питания $E_n = 10 \text{ В}$. Для

контроля напряжения использовать измерительные блоки АВМІ или ИВ, смонтированные в правой стойке лабораторного стенда.

3. Подать напряжение питания на схему. Изменяя резистор $R1$, установить на эмиттере транзистора $V1$ напряжение $U_{э0} = 5$ В. Замерить напряжение в точках ХЗ, ХВ, Х7.

4. Исследовать влияние входного сопротивления эмиттерного повторителя на линейные искажения выходного сигнала:

а) включить ГНЧ, для чего подключить осциллограф к выходу (1:1) ГНЧ и установить частоту сигнала 1 кГц, амплитуду 0,5 В. Устойчивость изображения на экране осциллографа устанавливается переключателем "СИНХР" и ручками "СТАБ", "УРОВЕНЬ". Размер по вертикали (примерно 2/3 от максимально возможного) устанавливается переключателем " V /ДЕЛ";

б) снять частотную характеристику схемы в области нижних частот:

подключить осциллограф к выходу схемы (точка 1), подать напряжение с ГНЧ в точки Х1, Х2. Изменяя частоту сигнала, определить нижнюю граничную частоту по уровню 0,7;

в) исследовать линейные искажения прямоугольных импульсов, передаваемых схемой:

подключить осциллограф к выходу " LГ " ГПИ. Установить длительность отрицательных импульсов 100 мкс, частоту следования 1 кГц, амплитуду 0,5 В. При установке требуемых параметров импульсной последовательности следует помнить, что ГПИ управляется от ГНЧ. Поэтому частота следования импульсов регулируется органами управления в ГНЧ. Для устранения сбоев в работе ГПИ длительность импульсов рекомендуется устанавливать, начиная с малых значений;

подключить осциллограф к выходу схемы. Подать сигнал с ГПИ на вход схемы. Зарисовать форму импульса на выходе схемы и измерить количественные характеристики: амплитуду, величину спада, выброс после импульса;

г) убрать транзистор $V1$ из схемы. Точки ХЗ и ХВ соединить проводником. Повторить пп.б), в).

5. Исследовать процесс возникновения нелинейных искажений импульсных сигналов:

а) установить в схему транзистор $V1$ и конденсатор СЗ. Конденсатор С1 = 0,1 заменить на конденсатор С1 = 20,0;

б) подавая на вход отрицательные импульсы амплитудой 0,5, 1, 2, 3 В (частота и длительность прежние), зарисовать эпюры напряже-

ния на выходе повторителя (точка I) и на промежутке база-эмиттер (общий провод от осциллографа в этом случае подключить в точку X8);
 в) подать на вход положительные импульсы и повторить п.б);
 г) установить в схему резистор $R_3 = 200 \text{ Ом}$. Подать на вход положительный импульс амплитудой I В. Зарисовать форму выходного импульса.

6. Исследовать процесс возникновения нелинейных искажений синусоидальных сигналов.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование лабораторной работы, Ф.И.О. студента, год.
2. Принципиальная схема экспериментальной установки.
3. Экспериментально полученные данные и осциллограммы напряжений.
4. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Линейные и нелинейные искажения сигналов. Причины их появления.
2. В чем отличие эмиттерного повторителя как согласующего устройства от трансформатора?
3. Как зависит крутизна эмиттерного тока от режима работы транзистора и частоты передаваемого сигнала?
4. От каких факторов зависит входное сопротивление эмиттерного повторителя?
5. Меняется ли входное сопротивление повторителя в течение времени передачи прямоугольного импульса?
6. От каких факторов зависит выходное сопротивление эмиттерного повторителя?
7. В отличие от каскада с общим эмиттером, полоса пропускания повторителя в области верхних частот расширяется с увеличением сопротивления нагрузки. В чем причина этого явления?
8. Чем ограничивается максимальная амплитуда передаваемого импульса отпирающей полярности при:
 - резистивной нагрузке;
 - нагрузке с заметной емкостной составляющей

9. Чем ограничивается максимальная амплитуда передаваемого импульса запирающей полярности при:

резистивной нагрузке;

нагрузке с заметной емкостной составляющей?

10. Почему амплитудно-частотная характеристика эмиттерного повторителя в режиме малого сигнала оказывается шире, чем при передаче сигналов большого уровня?

11. Зависит ли глубина обратной связи и уровень нелинейных искажений в повторителе от внутреннего сопротивления источника сигнала?

12. Методы повышения входного и уменьшения выходного сопротивлений эмиттерных повторителей. Сложные повторители.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

А г а х а н я н Т.М. Линейные импульсные усилители. -М.:Связь, 1970.

М а м о н к и н И.Г. Усилительные устройства. -М.:Связь, 1977.

С т е п а н е н к о И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. -М.:Энергия, 1973.

Г о л о в и н О.В., К у б и ц к и й А.А. Электронные усилители. -М.:Радио и связь, 1983.

Составитель Владимир Васильевич Фадеев

Редактор Е.Д.Антипова
Техн.редактор Н.М.Каленюк
Корректор Н.С.Купринова

Подписано в печать 11.10.85. Формат 60x84 1/16.
Печать оперативная. Бумага оберточная белая.
Усл.п.л. 0,93. Уч.-изд.л. 0,9. Т.250 экз.
Заказ 6407 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт имени академика С.П.Королева, г.Куйбышев, ул.Молодогвардейская, 151.

Обл.тип. им. В.П.Мяги, г.Куйбышев, ул.Венцека, 60.