

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»
(СПбГУТ)

Лабораторная работа № 4

“Исследование свойств модели резисторного каскада с общей базой в частотной и временной областях на ПК”

Выполнила бригада:
группа №№№
состав (перечень)
Фамилии И.О.

Санкт-Петербург
2020

Лабораторная работа № 4

“Исследование свойств модели резисторного каскада с общей базой в частотной и временной областях на ПК”

Цель работы: в режиме малого сигнала. Выполнить анализ в частотной и временной областях. Исследовать свойства каскада при изменении сопротивления источника сигнала, нагрузки и элементов схемы. Определить входное и выходное сопротивления каскада, коэффициент усиления.

Приборы и оборудование: работа выполняется в компьютерной среде моделирования работы электрических схем FASTMEAN версии 6.0.

Объектом исследования является схема усилительного каскада на биполярном транзисторе с общей базой. По определению в схеме с ОБ база транзистора присоединяется к проводу, общему для входа и выхода каскада. На рис. 1, а показано простейшее изображение схемы с ОБ.

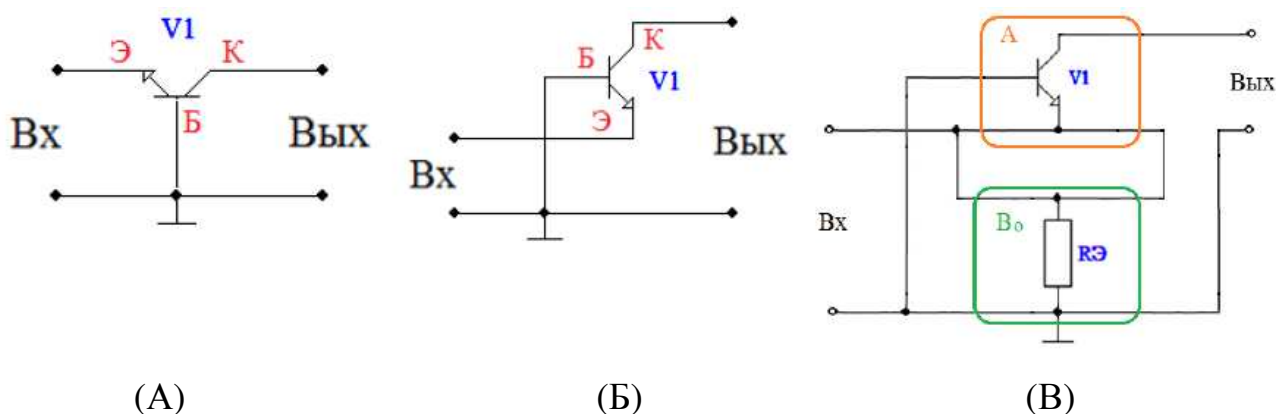


Рис. 1. Схема включения транзистора с ОБ (а, б) и структура обратной связи в каскаде с ОБ (в)

Другое представление транзистора с ОБ показано на рис. 1, б. Такое изображение каскада с ОБ позволяет рассматривать его как структуру с ОЭ, охваченную ОС. В этой схеме имеет место параллельная по входу и последовательная по выходу отрицательная ОС (рис. 1, в). Полная принципиальная схема каскада ОБ представлена на рис. 2)

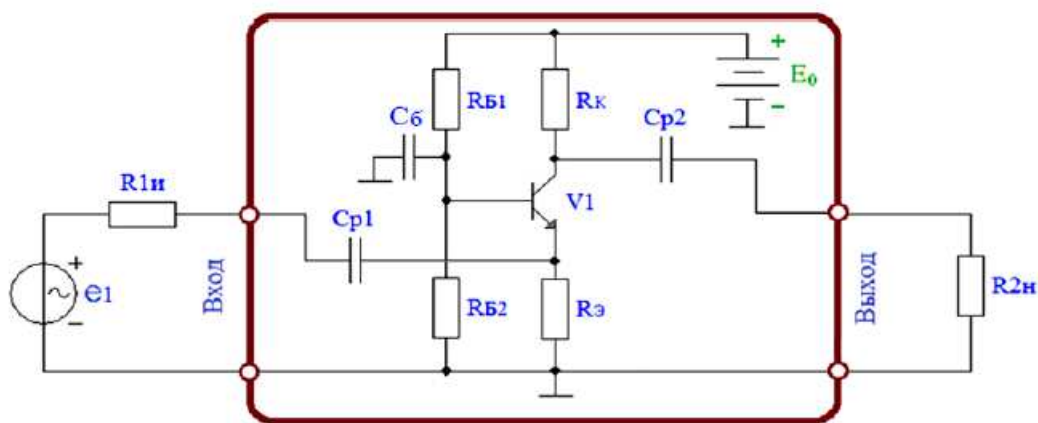


Рис. 2. Принципиальная схема каскада ОБ

Переменная составляющая сигнала поступает на эмиттер транзистора через разделительный конденсатор C_{p1} (узел 4), а передается в нагрузку $R_{2н}$ (узел 8) через разделительный конденсатор C_{p2} из коллектора. База транзистора (узел 2) при помощи конденсатора большой ёмкости C_B соединяется с землёй и, таким образом, становится общей для входа и выхода усилителя. В соответствующем частотном диапазоне (на средних частотах) сопротивление конденсатора C_B переменному току практически равно нулю, поэтому напряжение на базе по сигналу также практически равно нулю. Дополнительно в схему введён резистор $R1$, предусмотренный для измерения входного сопротивления в узле 4. Другие элементы эквивалентной схемы соответствуют приведённым на рис. 2, в лабораторной работе № 1-2 Д [1].

В этой работе моделируется усилитель на основе реального действующего макета. Для проведения исследования на ПК используется эквивалентная схема усилителя с ОБ для переменного тока, которая изображена на рис. 3.

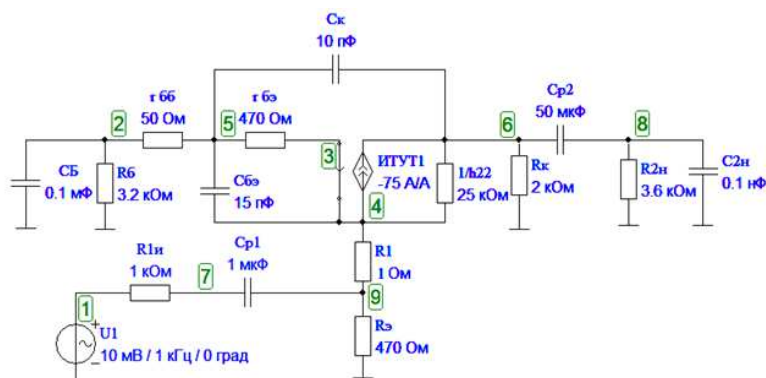


Рис. 3. Эквивалентная схема усилителя с ОК для переменного тока

Вследствие малого входного сопротивления схемы с ОБ, при одинаковых номинальных значениях элементов в других схемах включения транзистора (ОЭ и ОК), в ней возникают значительные линейные искажения. В области нижних частот существенно уменьшается коэффициент усиления. Такой же эффект наблюдается при прохождении через усилитель прямоугольных импульсов большой длительности. Возникает эффект дифференцирования. По этой причине следует увеличивать ёмкости разделительных конденсаторов. В нашем случае это в первую очередь C_{p1} . Ситуация усугубляется ещё тем, что увеличение сопротивления $R_{1и}$ увеличивает постоянную времени $C_{p1} \cdot R_{1и}$ и уменьшает искажение импульсного сигнала, но одновременно катастрофически уменьшает сквозной коэффициент усиления на средних частотах.

Ход работы:

Исследование состоит из следующих пунктов.

1. Составление эквивалентной схемы каскада с ОБ.
2. Измерение входного и выходного сопротивлений каскада с ОБ.
3. Расчет функций АЧХ и ПХ с помощью Fastmean, определение параметров полученных амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и переходной характеристики (ПХ):

По АЧХ:

$K_{скв}$ – сквозной коэффициент усиления на средней частоте в дБ,

f_n – частота нижнего среза, f_v – частота верхнего среза;

По ПХ:

t_n – время нарастания,

Δ – спад вершины импульса при заданной длительности импульса t_n .

4. Определение влияния на АЧХ и ПХ изменений сопротивлений источника сигнала $R_{1и}$ и нагрузки $R_{2н}$ (рис. 2).

5. Определение влияния на АЧХ и ПХ изменений емкости разделительного конденсатора C_{p1} (рис. 2).

Протокол работы и обработка результатов измерений:

I Измерение входного сопротивления каскада

Активизировав кнопку “частотные характеристики” измеряем входное сопротивление. Для измерения на частоте 1 кГц, устанавливаем близкие к ней граничные частоты, (например 900 Гц и 1100 Гц). Записываем в диалоговом окне по оси Y выражение $\text{mag}(U(7)/I(R1))$. По графику АЧХ с помощью линейки определяем $R_{вх}$, установив линейку на частоте 1 кГц. Записывая разные выражения по оси Y $\text{mag}(U(9)/I(R1))$ и $\text{mag}(U(4)/I(R1))$, можно определить входное сопротивление соответственно в узле 9 и в узле 4, т.е. с учётом сопротивления R_3 и без него.

По результатам измерений в отчет добавить скриншоты окна с измерениями и внести данные в таблицу № 1. Сделать выводы о полученной величине входного сопротивления в сравнении с ранее исследованными схемами с ОЭ и ОК.

Таблица 1. Измерение входного сопротивления каскада с ОК

Измерение	Величина входного сопротивления, Ом
с учётом сопротивления R_6	
без учёта сопротивления R_6	

II Измерение выходного сопротивления каскада

Измерение выходного сопротивления в схеме с ОБ практически ничем не отличается от измерения выходного сопротивления в схеме с ОЭ. В этом случае необходимо произвести ряд изменений в схеме рис. 3. Отключить нагрузку ($R_{2н}, C_{2н}$). Источник сигнала необходимо перенести к выходу усилителя, левый вывод $R_{1и}$ соединить с землёй. Для измерения выходного сопротивления усилителя требуется вспомогательный резистор между источником сигнала и выходом усилителя $R1$. Его сопротивление рекомендуется выбирать равным $R_{2н}$. Измерение выходного сопротивления транзистора без учёта резистора в

коллекторе R_K требует ещё одного вспомогательного сопротивления R_2 . Величина его может составлять всего 1 Ом (рис.4).

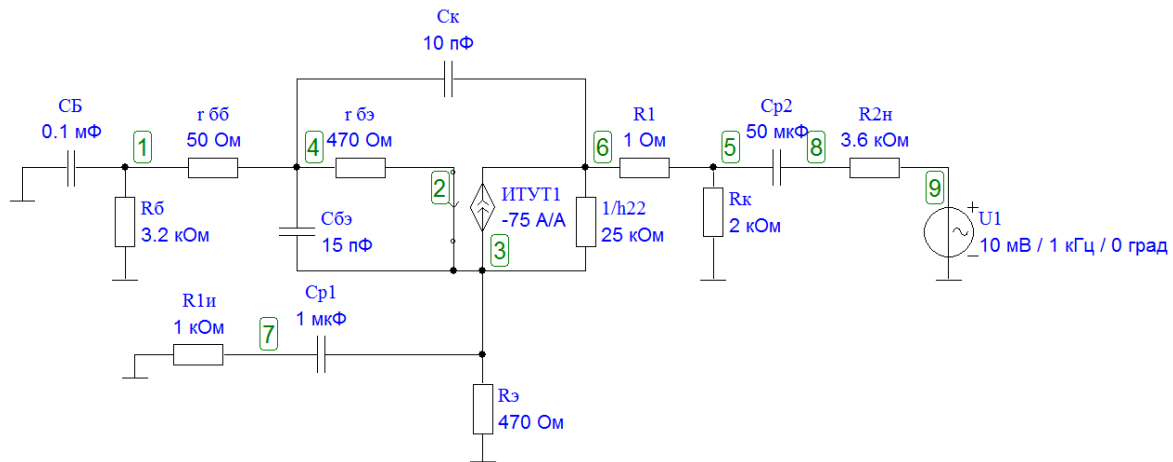


Рис. 4. Эквивалентная схема усилителя с ОБ для измерения выходного сопротивления

По результатам измерений в отчет добавить скриншот окна с измерениями с включенной линейкой и записать полученный результат с указанием единиц измерения. Добавить вывод о полученных результатах измерения выходного сопротивления каскада с ОБ, сопоставив со значениями выходного сопротивления ранее исследованных схем с ОЭ и ОК.

III Измерение в частотной области (АЧХ)

Перед работой следует выполнить предварительный расчет $K_{СКВ}$ на средней частоте:

$$K_{ОБСКВ} = \frac{R_{\text{э}}}{R_{1И} + R_{\text{э}}} \cdot \frac{h_{21} R_{\text{Н}}}{h_{11} + R_{\Gamma} (1 + h_{21})},$$

где

$$R_{\Gamma} = R_{1И} \parallel R_{\text{э}} = \frac{R_{1И} \times R_{\text{э}}}{R_{1И} + R_{\text{э}}}, \quad R_{\text{Н}} = R_K \parallel R_{2Н} = \frac{R_K \times R_{2Н}}{R_K + R_{2Н}},$$

$$h_{11} = r_{б'б} + r_{б'э}.$$

Для определения параметров АЧХ ($K_{СКВ}$, f_H , f_B) необходимо получить изображение этой характеристики, вернув схему к виду, как на рис. 3. В диалоговом окне «частотные характеристики» из меню «анализ» следует задать

начальную частоту $f_{\text{нач}} = 10$ Гц и конечную $f_{\text{кон}} = 100$ МГц, установить логарифмическую развертку по частоте, что обеспечивает на частотной оси X логарифмический масштаб. АЧХ в двойном логарифмическом масштабе получаем, записав для оси Y выражение $\text{db}(\text{mag}(U(8)/U(1)))$. Сквозной коэффициент усиления определяем на средних частотах, где характеристика достигает максимального уровня. Граничные частоты $f_{\text{н}}$, $f_{\text{в}}$ определяем по уровню на 3 дБ ниже $K_{\text{скв}}$ дБ. Т.е. при получении в области средних частот значения, равного 25 дБ отнимаем из этого числа 3 дБ и по уровню $(25 - 3)$ дБ = 22 дБ определяем граничные частоты. Значения граничных частот находим с помощью инструментальной линейки.

Скриншоты окна измерений с линейкой на соответствующих отметках для измерений добавить в отчет, численные значения внести в таблицу № 2.

Таблица 2. Измерение АЧХ каскада с ОБ

$K_{\text{скв}}$, дБ	$(K_{\text{скв}} - 3)$, дБ	$f_{\text{н}}$, Гц	$f_{\text{в}}$, МГц	$\Delta f = f_{\text{в}} - f_{\text{н}}$, Гц

Определить по АЧХ коэффициент усиления тока схемы с ОБ, задав в диалоговом окне «частотные характеристики» выражение по оси Y , как отношение выходного и входного токов схемы $\text{db}(\text{mag}(I(R1)/I(R2)))$. Сопоставив со значениями, полученными при измерении параметров схемы усилительного каскада с ОЭ и ОК, сделать выводы. Сопоставить расчетное и экспериментальное значение сквозного коэффициента усиления схемы с ОБ в области средних частот.

IV Измерение во временной области (ПХ)

Предварительно необходимо рассчитать следующие параметры:

Спад вершины импульса Δ , выраженный в %:

$$\Delta = 2\pi f_{\text{н}\sqrt{2}} t_{\text{н}}$$

Рассчитанное время нарастания импульса:

$$t_{\text{н}} = \frac{0,35}{f_{\text{в}\sqrt{2}}}$$

Переходную характеристику на выходе усилителя получаем при подаче на вход усилителя напряжения прямоугольной формы. Для этого в эквивалентной схеме рис. 3 необходимо переключить источник сигналов с гармонических колебаний на меандр. Задать двухполярный сигнал ± 10 мВ. Частота следования прямоугольных импульсов устанавливается в зависимости от их длительности в расчете из формулы

$$f = 1/(2 \cdot t_{\text{и}}).$$

Для измерения различных переходных искажений выбраны $t_{\text{и}} = 25$ мкс и $t_{\text{и}} = 1.25$ мс. Конечное время в диалоговом окне рекомендуется выставить равным $(3 \dots 4) \cdot t_{\text{и}}$. Это позволит выбрать наиболее удобный импульс при измерении, любой полярности, что особенно важно при исследовании фронта импульса.

Убедитесь, что усилитель с ОБ не поворачивает фазу сигнала. Напоминаем, что для измерения времени нарастания импульса $t_{\text{н}}$ необходимо увеличить область начала импульса до установившегося уровня $U_{\text{уст}}$. С помощью линейки измерить это значение напряжения $U_{\text{уст}}$, вычислить значения $0.9 \cdot U_{\text{уст}}$ и $0.1 \cdot U_{\text{уст}}$. Навести линейку на полученные значения уровней напряжения, зафиксировать значения времени им соответствующие как t_2 и t_1 . Определить разность значений этих времен, которое и будет измеренным временем нарастания импульса.

По результатам измерений сделать скриншоты импульса и укрупненными участками области нарастания импульса с линейкой при измерениях, заполнить таблицу 3.

Таблица 3. Измерение ПХ каскада с ОБ

Время импульса	$t_{\text{и}} = 25$ мкс
Частота f , Гц	

Осциллограмма импульса	
Измеренный спад вершины импульса Δ , % $\Delta = \frac{U_{уст} - U_{вых}}{U_{уст}} \cdot 100\%$	
Рассчитанный спад вершины импульса Δ , %	
Осциллограмма увеличенной области нарастания импульса	
Измеренное время нарастания импульса $t_H = t_2 - t_1$, нс	
Рассчитанное время нарастания импульса t_H , нс	
Время импульса	$t_H = 1.25$ мс
Частота f , Гц	
Осциллограмма импульса	

Измеренный спад вершины импульса Δ , %	
$\Delta = \frac{U_{уст} - U_{вых}}{U_{уст}} \cdot 100\%$	
Рассчитанный спад вершины импульса Δ , %	

Сделать выводы по результатам, внесенным в таблицу, сопоставив расчетные и экспериментальные данные.

V Определение влияния на АЧХ и ПХ изменений сопротивлений источника сигнала $R_{1и}$ и нагрузки $R_{2н}$

Для определения влияния на параметры АЧХ и ПХ изменений сопротивлений источника сигнала $R_{1и}$ и сопротивления нагрузки $R_{2н}$ (рис. 3) необходимо производить вычисления АЧХ и ПХ при значениях $R_{1и}$ и $R_{2н}$, указанных в табл. 4. При этом значения всех остальных элементов схемы остается неизменным. Наглядные представления о влиянии элементов схемы дают попарные изображения. В этом пункте надо построить две пары АЧХ и по две пары ПХ для импульсов разной длительности. С этой целью необходимо включить пункт «параметр» в диалоговом окне построения ПХ и АЧХ.

Результаты моделирования свести в табл. 4, дать выводы по данным в таблице.

Таблица 4. Оценка влияния параметров схемы на ПХ и АЧХ

№ п/п	$R_{1и}$	$R_{2н}$	$K_{скв}$	f_n	f_v	Δ при $t_{и} = 1.25\text{мс}$	t_n при $t_{и} = 25\text{ мкс}$
	кОм	кОм	дБ	кГц	МГц	%	нс
1	1	3.6					

2	1	10					
3	0.1	3.6					
4	0.1	10					

V Определение влияния на АЧХ и ПХ изменений емкостей разделительного конденсатора C_{p1} .

Необходимо произвести вычисление АЧХ и ПХ при значениях емкостей разделительного конденсатора C_{p1} , равных 10 мкФ и 1 мкФ. При этом значения остальных элементов схемы рис. 3. Результаты моделирования свести в табл. 5, дать выводы по данным в таблице.

Таблица 5. Оценка влияния параметров схемы на ПХ и АЧХ

№ п/п	C_{p1}	$K_{скв}$	f_n	f_v	Δ при $t_H = 1.25$ мс
	мкФ	дБ	кГц	МГц	%
1	1				
2	10				

Сделать обобщенные выводы по свойствам схемы с ОБ.

Контрольные вопросы для подготовки к защите

1. Каково назначение имеющихся в схеме элементов?
2. Каковы пути прохождения постоянных и переменных токов?
3. Какой вид ОС формирует схему каскада с ОБ?
4. Как влияет увеличение сопротивления $R_{1И}$ на АЧХ?
5. Почему при одинаковых значениях элементов полоса пропускания в каскаде с ОБ не совпадает с полосой пропускания в каскаде с ОЭ?
6. Почему в каскаде ОБ верхняя граничная частота выше, чем в ОЭ?
7. Почему в каскаде ОБ не происходит инверсии сигнала на выходе?
8. Как выглядит эквивалентная схема каскада для области нижних, средних и верхних частот?
9. Как выглядит ПХ в области больших и малых времен?
10. Как влияет изменение номинальных значений элементов схемы на АЧХ и ПХ?