

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра автоматизации производственных процессов

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ ТРАНЗИСТОРОВ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы по курсам
«Общая электротехника и электроника», «Электротехника и электроника»,
«Электроника и схемотехника»
для студентов направлений 220700.62 «Автоматизация технологических
процессов и производств», 220400.62 «Управление в технических системах»,
090303.65 «Информационная безопасность автоматизированных систем»,
231000.62 «Программная инженерия», 220301.65 «Автоматизация
технологических процессов и производств (в машиностроении)»
очной и заочной форм обучения

Курган 2013

Кафедра: «Автоматизация производственных процессов»

Дисциплины: «Общая электротехника и электроника», «Электротехника и электроника», «Электроника и схемотехника»

Составили: канд. техн. наук, доцент Б.П. Кудряшов
ст. преподаватель А.А. Иванов

Работа выполнена при равноценном участии авторов

Утверждена на заседании кафедры «3» июля 2013 г.

Рекомендована методическим советом института «30» августа 2013г.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследовать основные схемы включения транзисторов, освоить расчет элементов этих схем.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Транзистор как элемент усилительного или переключающего устройства включается обычно таким образом, что один из его элементов является входным, другой выходным, а третий общим относительно входа и выхода. В цепь входного электрода включается источник сигнала, а в выходную цепь - нагрузочный резистор.

В связи с этим различают три основных схемы включения транзистора. При выборе схемы включения транзистора по переменному току следует учитывать особенности различных схем.

Схема включения с общей базой (ОБ) обладает малым входным сопротивлением и большим выходным. Однако небольшая зависимость параметров этой схемы от температуры и более широкая полоса частот усиливаемого сигнала выгодно отличает ее от других схем. В схеме с ОБ достигаются максимальные значения коллекторного напряжения.

Схема включения транзистора с общим эмиттером (ОЭ) обладает наибольшим усилением сигнала по мощности, но при этом параметры схемы сильно зависят от температуры, а полоса усиливаемых частот уже, чем в каскаде с СБ. Входное и выходное сопротивления в каскаде с ОЭ различаются менее, чем в схеме с ОБ, что позволяет строить многокаскадные усилители.

Схема включения транзистора с общим коллектором (ОК) имеет большое входное и малое выходное сопротивление, поэтому широко применяется с целью согласования каскадов и для усиления сигнала по току.

1. Схема каскада с общим эмиттером

В этой схеме эмиттер транзистора заземляется, входной сигнал подается на базу, а нагрузка включается в цепь коллектора (рис. 1.)

Коэффициент усиления по току каскада с ОЭ

$$K_I = I_K/I_6 = B \quad (1)$$

где I_K - ток коллектора; I_6 - ток базы; B – статистический коэффициент усиления тока транзистора, так как входной ток является током базы.

Коэффициент усиления каскада по напряжению находятся по закону Ома;

$$K_u = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\Gamma}} = \frac{I_K R_k}{I_{\text{ВХ}} R_{\text{ВХ}}} = \frac{I_K R_k}{I_6 (R_{\Gamma} + h_{11Э})} = \frac{B R_k}{R_{\Gamma} + h_{11Э}} \quad (2)$$

где R_{Γ} - сопротивление источника сигнала; $h_{11Э}$ - входное сопротивление транзистора; U_{Γ} - напряжение источника сигнала; R_k - сопротивление резистора в цепи коллектора транзистора.

Входное сопротивление транзистора в схеме с ОЭ рассчитывается через сопротивление эмиттера, зависящее от тока

$$r_{6Э} = h_{11Э} = (B + 1) \frac{U_T}{I_3} \quad (3)$$

где U_T – термический потенциал.

Обычно в схемах с ОЭ сопротивление источника сигнала выбирается на порядок меньше, чем сопротивление перехода база – эмиттер ($R_{\Gamma} \ll r_{6Э}$), поэтому коэффициент усиления по напряжению можно рассчитывать по формуле:

$$K_u = \frac{B R_k}{R_{\Gamma} + h_{11Э}} \approx \frac{B R_k}{h_{11Э}} = \frac{B R_k}{(B + 1)(U_T/I_3)} \approx R_k S \quad (4)$$

где $S = \frac{I_3}{U_T} = \frac{1}{r_3} \approx \frac{B}{h_{11Э}}$ - крутизна.

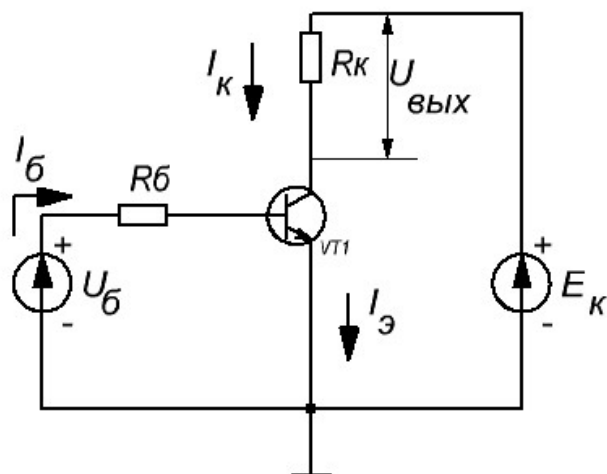


Рис. 1. Схема включения транзистора с общим эмиттером

2. Схема включения транзистора с общим коллектором (ОК)

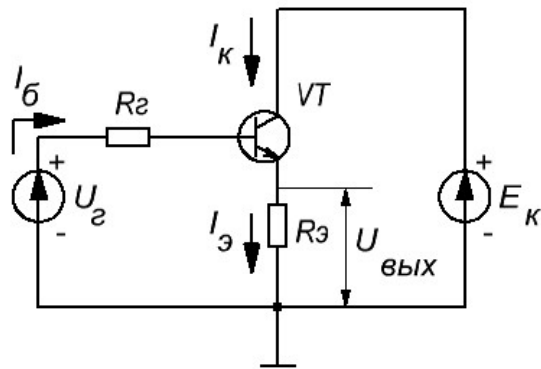
В каскаде с ОК напряжение сигнала подается на базу транзистора относительно отрицательного полюса коллекторного источника питания E_k (рис. 2,а), а коллектор подключен непосредственно к положительному полюсу источника питания. Таким образом, в нагрузку проходит коллекторный ток и ток базы.

Коэффициент усиления каскада по току определяется величиной статического коэффициента усиления по току транзистора.

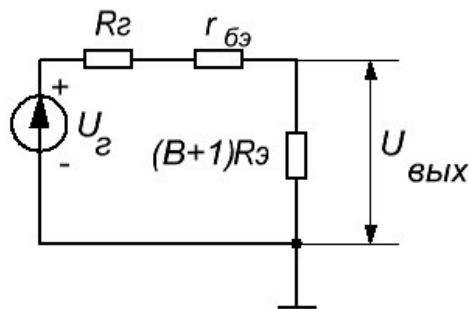
$$K_y = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}} = \frac{I_{\text{э}}}{I_{\text{б}}} = \frac{I_{\text{к}} + I_{\text{б}}}{I_{\text{б}}} = B + 1 \quad (6)$$

Коэффициент усиления каскада с ОК по напряжению близок к 1. Его можно рассчитать по эквивалентной схеме (рис. 2,б). Здесь R_3 увеличено в $B+1$ раз, так как через него протекает ток в $B+1$ раз больший тока базы

$$K_u = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{(B + 1)R_3 I_{\text{б}}}{[R_{\text{г}} + h_{11\text{э}} + (B + 1)R_3] I_{\text{б}}} \quad (7)$$



а)



б)

Рис. 2. Схема включения транзистора с общим коллектором а) и его эквивалентная схема б).

Выходное сопротивление каскада с ОЭ определяется параллельным включением сопротивления нагрузки R_k и выходного сопротивления транзистора

$$r_{к9} = 1/h_{22э}, \quad R_{вых} = R_k // 1/h_{22э}$$

Усиление по мощности для каскада с ОЭ составляет:

$$K_p = K_I K_u = BR_k S \quad (5)$$

Если учесть, что $R_r + h_{11э} \ll (B + 1)R_э$ то можно считать, что $K \approx 1$. Входное сопротивление схемы также можно рассчитать по эквивалентной схеме

$$R_{вх} = R_r + h_{11э} + (B + 1)R_э \approx BR_э \quad (8)$$

Выходное сопротивление каскада с ОК рассчитывается по схеме (рис2,б), но при этом необходимо все сопротивления разделить на $B+1$:

$$R_{\text{вых}} = R_э // [(R_Г + h_{11э}) / (B + 1)] \quad (9)$$

Коэффициент усиления по мощности каскада с ОК всегда меньше $B+1$. Каскад с ОК охвачен полной последовательной обратной связью, что позволяет использовать его для стабилизации напряжения. При фиксированном напряжении на базе на эмиттере будет напряжение, меньшее на величину $\sim 0,6$ В (для кремниевого транзистора), слабозависящее от тока эмиттера.

1.3. Схема включения транзистора с общей базой (ОБ)

В схеме с общей базой (рис. 3). также как и в схеме с ОЭ напряжение сигнала прикладывается между эмиттером и базой, но от источника сигнала потребляется ток, разный току эмиттера транзистора. Это накладывает определенные ограничения на применение данной схемы.

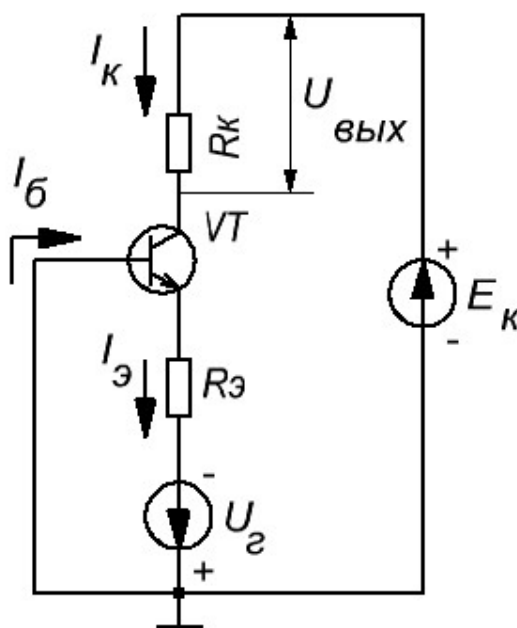


Рис..3. Схема включения транзистора с общей базой

В соответствии со схемой рис.1.3 коэффициент усиления по току составляет

$$K_y = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}} = \frac{I_к}{I_э} = \frac{B}{B + 1} < 1 \quad (10)$$

Каскад с ОБ повторяет ток источника сигнала. В связи с тем, что база транзистора заземлена можно считать, что ток, потребляемый от источника сигнала $I_{\Gamma} = U_{\Gamma}/(R_{\Gamma} + r_{\text{э}}) \approx U_{\Gamma}/R_{\Gamma}$. Причем этот ток не зависит от входного сопротивления транзистора. В соответствии со схемой входное сопротивление каскада с ОБ

$$R_{\text{вх}} \approx r_{\text{э}} = 1/S \quad (11)$$

имеет величину, равную выходному сопротивлению каскада с ОК.

Выходное сопротивление схемы с ОБ рассчитывается аналогично каскаду с ОЭ, если принять сопротивление источника сигнала

$$R_{\text{ввых}} = R_{\text{к}}//r_{\text{кэ}} \quad (12)$$

С учетом сопротивления источника сигнала:

$$R_{\text{ввых}} = R_{\text{к}}//r_{\text{кэ}} \left(1 + \beta \frac{R_{\Gamma}}{r_{\text{бэ}} + R_{\Gamma}} \right)$$

Коэффициент усиления каскада с общей базой по напряжению в соответствии со схемой рис.1.3

$$U_{\text{ввых}} = I_{\text{к}}R_{\text{к}} = \frac{U_{\Gamma}R_{\text{к}}}{R_{\Gamma} + r_{\text{э}}} \cdot \frac{B}{B + 1},$$

откуда

$$K_u = \frac{U_{\text{ввых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{R_{\text{к}}}{R_{\Gamma} + r_{\text{э}}} \cdot \frac{B}{B + 1} \approx \frac{R_{\text{к}}}{R_{\Gamma}} \quad (13)$$

Если сопротивление источника сигнала $R_{\Gamma} = 0$, то усиление по напряжению будет такое же как и в каскаде с ОЭ:

$$K_u = \frac{R_{\text{к}}}{r_{\text{э}}} \cdot \frac{B}{B + 1} \approx \frac{R_{\text{к}}}{r_{\text{э}}} = R_{\text{к}}S$$

Исходя из свойств каскада с ОБ следует, что последовательное включение таких каскадов нецелесообразно, так как не позволяет получить усиление ни по току, ни по напряжению.

Для того, чтобы увеличить входное сопротивление каскада с ОБ, используют так называемую каскодную схему включения (рис. 4). В этой схеме

каскад с ОЭ является источником сигнала для каскада с общей базой. В этой схеме входное сопротивление соответствует каскаду с ОЭ, а частотные свойства - каскаду с ОБ. Можно также построить схему по принципу каскад с ОК - каскад с ОБ.

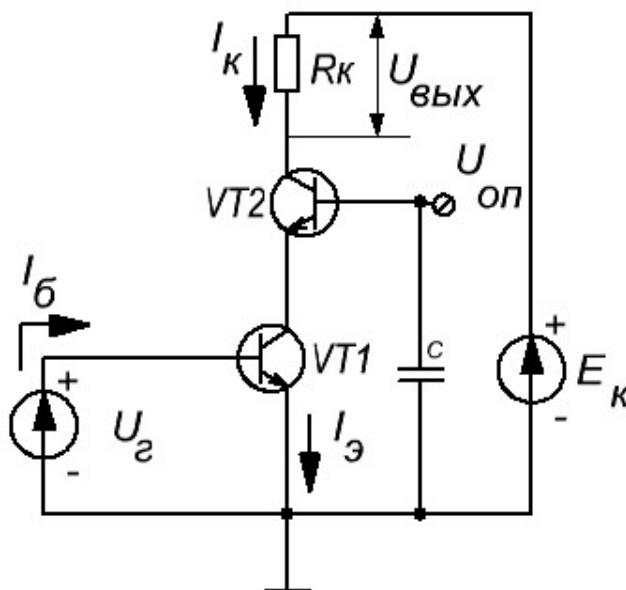


Рис. 4. Каскодная схема включения транзисторов

1.4. Частотные свойства транзисторных каскадов с ОЭ, ОК и ОБ

На рис. 5, а показана схема каскада с ОЭ, учитывающая наличие межэлектродных емкостей $C_{кб}$, $C_{бэ}$, $C_{кэ}$, определяемых конструкцией транзистора. Из схемы следует, что к выводу базы подключены емкости $C_{кб}$ и $C_{бэ}$, образующие вместе с резистором пассивный фильтр нижних частот (НЧ), который определяет полосу пропускаемых частот каскада. Цепь $R_k C_{кэ}$ образует второй ФНЧ, постоянная времени которого значительно меньше, чем у цепи $R_{г}(C_{бэ} + C_{кэ})$. Поэтому частотные свойства каскада определяются, в основном, входным ФНЧ. В каскаде с ОЭ проявляется эффект Миллера, увеличивающий

емкость перехода коллектор - база $C_{кб}$ в $(K + 1)$ раз. Дело в том, что на коллекторе развивается напряжение $U_{вых} = K_u U_{г}$ противофазное входному, и это приводит к образованию частотнозависимой отрицательной обратной связи по напряжению (ООСН). Эта ООСН приводит к снижению коэффициента усиления по напряжению с ростом частоты сигнала. Для расширения полосы частот каскада с ОЭ необходимо стремиться к снижению сопротивления источника сигнала $R_{г}$.

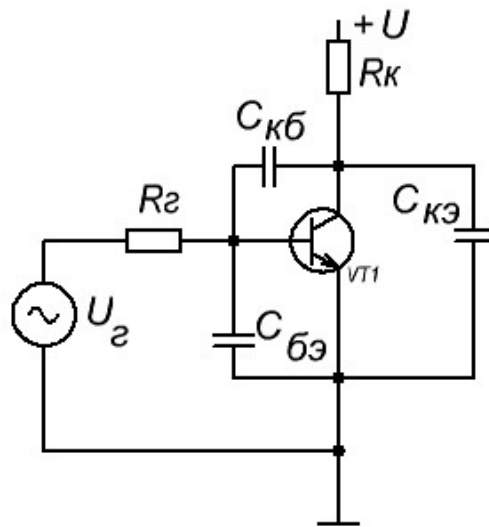


Рис. 5. Паразитные емкости в каскаде с ОЭ;

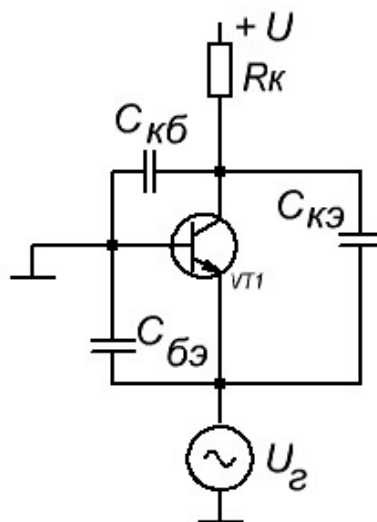


Рис. 6. Паразитные емкости в каскаде с ОБ;

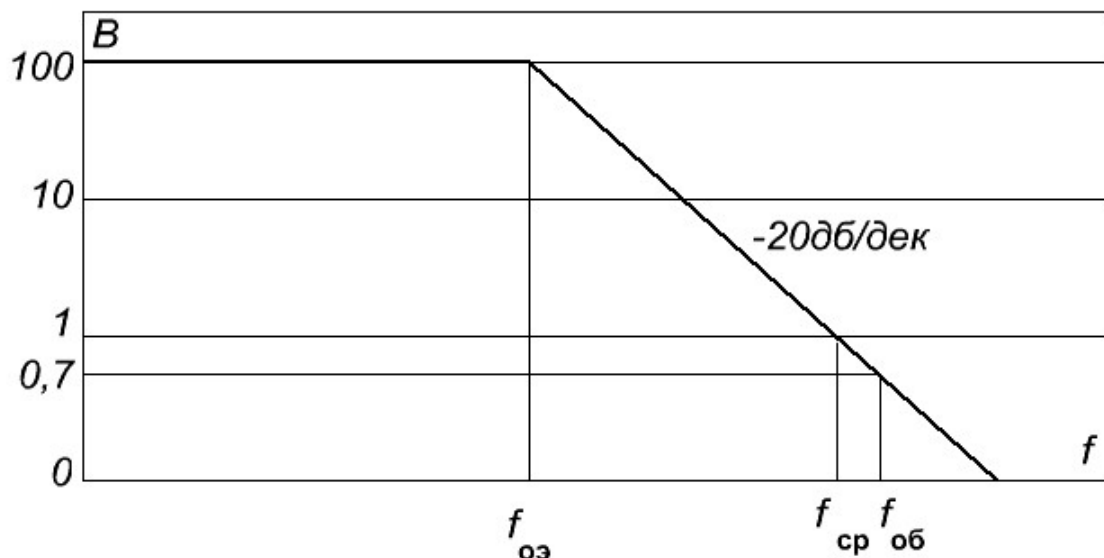


Рис. 7. частотная характеристика коэффициента усиления транзистора.

В каскаде с общей базой (рис. 6) эффект Миллера не проявляется, так как выходной контур экранирован от входного путем заземления базы транзистора, и цепь ООСН в результате этого разрывается. Кроме того, выходное сопротивление источника сигнала в каскаде с ОБ на 1-2 порядка меньше, чем в каскаде с ОЭ (это вызвано малым входным сопротивлением каскада с ОБ), и это уменьшает постоянную времени входного ФНЧ.

На рис. 7 показаны частотные характеристики транзистора в каскадах с ОЭ и ОБ. Уменьшение усиления каскада с ОЭ начинается с частоты $f_{\beta} = f_T / \beta$ и за этой частотой равно $-20 \frac{\text{дБ}}{\text{дек}}$. На частоте $f_T \beta = 1$, и транзистор перестает усиливать входной ток. Для схемы с ОБ коэффициент усиления тока падает до уровня 0,7 на частоте f_{α} большей частоты f_T .

Таким образом, на высокой частоте применение каскада с ОБ предпочтительнее.

В каскаде с ОК эффект Миллера не проявляется, так как коллектор транзистора для частоты сигнала заземлен через источник питания, а напряжение на эмиттере изменяется в фазе со входным.

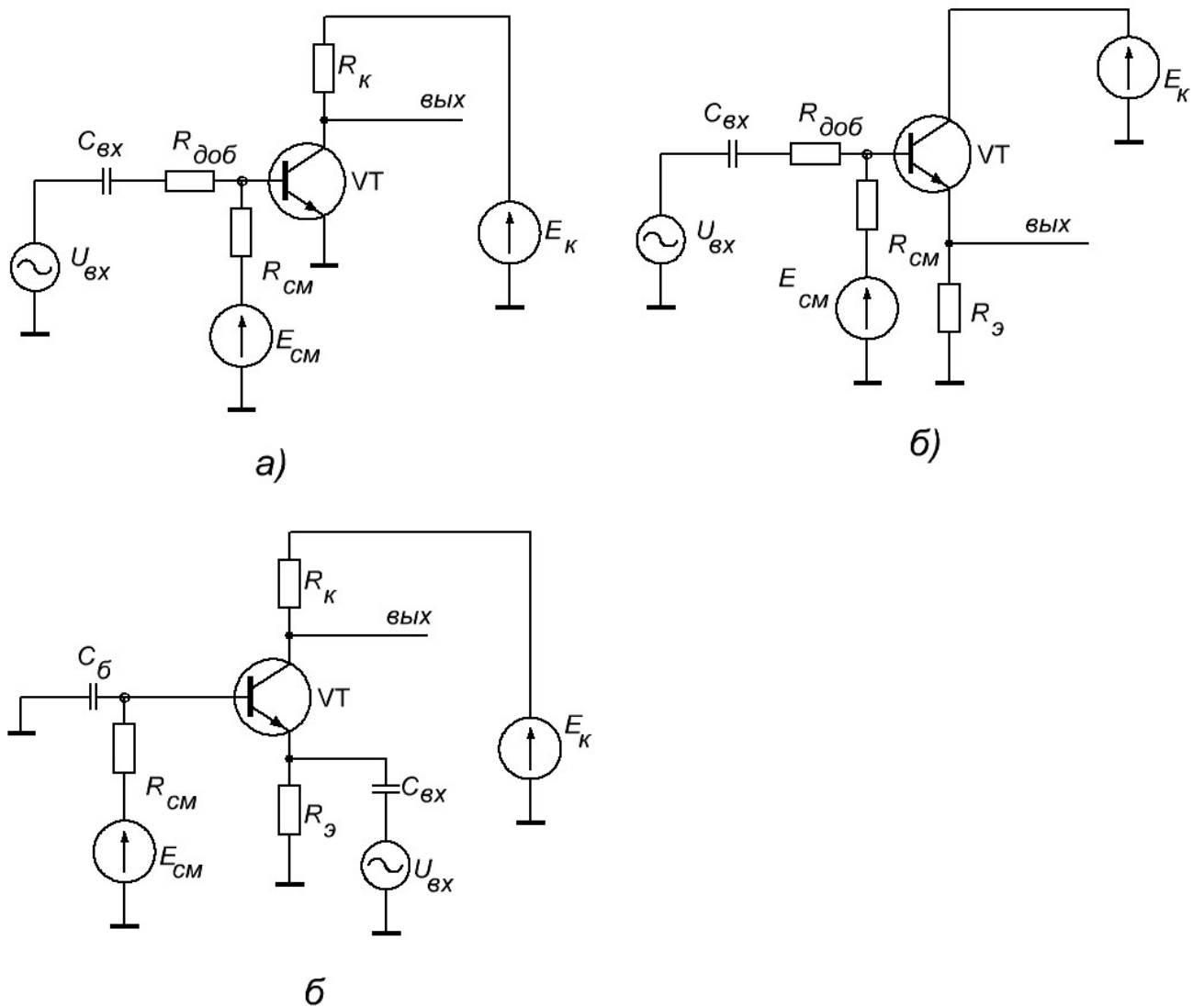


Рис. 8. Схемы для исследования каскадов с ОЭ (а), ОК (б), ОБ (в).

ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Для выполнения лабораторной работы требуются:

- 1) электронный осциллограф, (USB-осциллограф),
- 2) ампервольтметр цифровой, (USB-осциллограф),
- 3) функциональный генератор, (ПК с программой функционального генератора),
- 4) специальный стенд.
- 5) Работа может выполняться также в среде **Electronics Workbench** на ПК.

ЗАДАНИЕ

При выполнении лабораторной работы необходимо выполнить следующее.

3.1 В соответствии с вариантом задания необходимо до выполнения лабораторной работы рассчитать элементы схем с ОЭ, ОК, ОБ и их основные параметры ($K_i, K_u, r_{вх}, r_{вых}$). Варианты задания приведены в таблице 1;

Таблица 1

Варианты задания

Вариант Параметры	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_{пит}, В$	14	12	10	9	8	7	6	5
$I_k, мА$	2	3	4	5	6	7	8	10
1) Напряжение рабочей точки $U_{(кэ)A} = 0,5U_{пит}$ 2) Сопротивление резистора $R_э$ в схеме с ОБ принять разным $0,2R_k$ 3) Выходное сопротивление источника сигнала принять равным $R_r=2000\text{Ом}$.								

3.2. На лабораторном стенде собрать соответствующую схему (рис.8), установить требуемые значения сопротивлений резисторов, установить напряжения питания и с помощью базового тока транзистора $I_b = E_1/R_{см}$ выставить напряжение на выходе схемы, равное половине напряжения питания (Сопротивление $R_{см}$, установить, равным 100кОм). Подавая на вход синусоидальный сигнал, измерить сигнал на выходе схемы. При этом необходимо, чтобы искажений формы сигнала на выходе не наблюдалось.

По отношению амплитуд сигналов на выходе и входе рассчитать фактическое значение коэффициента усиления каскада по напряжению. Сравнить полученное значение с расчетным. Измерение производить на частоте 400-1000 Гц,

3.3. Для схем с ОЭ и ОК рассчитать фактическое входное сопротивление по падению напряжения на добавочном резисторе $R_{доб}$ (влияние резистора $R_{см}$ не учитывать). Сравнить полученные результаты с расчетными.

3.4. Для схемы с ОБ по фактическому коэффициенту усиления по напряжению рассчитать внутреннее сопротивление источника сигнала R_r , (обязательно учесть R_3).

3.5. Для всех схем экспериментально установить значение предельной частоты усиления. Для этого на вход схем подайте синусоидальный сигнал, амплитудой, например 10мВ, и увеличивайте его частоту до тех пор, пока усиление в схеме с ОЭ и ОБ не будет равным 1, в схеме с ОК - пока напряжение не уменьшится до 0,7 В. Сделайте выводы.

3.6. Все измеренные параметры сведите в общую таблицу. Опишите полученные результаты. Укажите на область применения исследованных схем.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое включение транзистора наиболее подходит для усилителя сигнала низкой частоты по мощности, по току?
2. В чем сходство и в чем различие схем включения транзистора с ОБ и ОЭ?
3. От каких параметров каскада зависит крутизна усиления S ?
4. Как влияет температура на коэффициент усиления по напряжению расхода с ОЭ, ОК, ОБ?
5. Чем объясняются хорошие частотные параметры схемы с ОБ?
6. Что такое эффект Миллера?
7. Какие комбинации схем включения Вы знаете? Для каких целей они применяются?
8. Зависит ли в схеме с ОЭ коэффициент усиления по напряжению от напряжения источника питания?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. У. Хоровиц, П. Хилл. Искусство схемотехники. М.: Мир, 2003. – 704с
2. Лачин В.И. Электроника: учебное пособие для студентов вузов, / В. И. Лачин, Н. С. Савелов. - Ростов н/Д: Феникс, 2002-2007. – 703с.
3. Гусев В.Г.Г. Электроника и микропроцессорная техника : учебник для студентов вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. - М.: Высшая школа, 2005. - 792 с.:

4. Миловзоров О.В. Электроника: Учебник для вузов/ О.В. Миловзоров, И.Г. Панков. - М.: Высшая школа, 2004-2005. - 288 с.

5. Немцов М.В. Электротехника и электроника : учебник для вузов / М. В. Немцов. - М.: Издательство МЭИ, 2003. – 596с.

6. Жаворонков М.А. Электротехника и электроника : учебное пособие для студентов вузов. - М.: Академия, 2005. – 394с.

Кудряшов Борис Петрович

Иванов Алексей Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ ТРАНЗИСТОРОВ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы по курсам
«Общая электротехника и электроника», «Электротехника и электроника»,
«Электроника и схемотехника»
для студентов направлений 220700.62 «Автоматизация технологических
процессов и производств», 220400.62 «Управление в технических системах»,
090303.65 «Информационная безопасность автоматизированных систем»,
231000.62 «Программная инженерия», 220301.65 «Автоматизация
технологических процессов и производств (в машиностроении)»
очной и заочной форм обучения

Авторская редакция

Подписано к печати 08.11.13	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1,0	Уч.-изд. л. 1,0
Заказ 181	Тираж 20	Не для продажи

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.