

621.382(07)

№ 4888

P851

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**



**Федеральное государственное  
автономное образовательное  
учреждение высшего  
профессионального образования  
«Южный федеральный университет»**



**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ В Г. ТАГАНРОГЕ**

**Кафедра радиоприемных устройств и  
телевидения**

**Руководство к лабораторной работе  
Исследование дифференциального каскада  
по курсу  
Схемотехника аналоговых электронных  
устройств**



Таганрог 2012

УДК 621.382(076.5)+621.375(076.5)

Кравец А.В., Шибаета Е.М. Руководство к лабораторной работе «Исследование дифференциального каскада» по курсу «Схемотехника аналоговых электронных устройств». — Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. — 32 с.

В данной работе изложены краткие описания лабораторных работ и краткие сведения о новом оборудовании. Приведены домашние и лабораторные задания, методические указания по выполнению лабораторных заданий.

Соответствует программе курса «Схемотехника аналоговых электронных устройств» для студентов всех форм обучения по направлению «Радиотехника».

Ил. 7. Библиогр.: 8 назв.

Рецензент В.Т. Лобач, канд. техн. наук, профессор кафедры РТС ТТИ ЮФУ.

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение принципов работы дифференциального каскада и определение его основных параметров.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 2.1. Общие положения

Дифференциальный усилитель (ДУ) — это симметричный усилитель с двумя входами и двумя выходами, используемый для усиления разности напряжений двух входных сигналов. ДУ используются в тех случаях, когда слабые сигналы можно потерять на фоне помех. Примерами таких сигналов являются цифровые сигналы, передаваемые по длинным кабелям, звуковые сигналы, радиотехнические сигналы, передаваемые по двухпроводному кабелю (двухпроводной кабель является дифференциальным), напряжения электрокардиограмм, сигналы считывания информации из магнитной памяти и многие другие. ДУ на приемном конце восстанавливает первоначальный сигнал, если синфазная помеха не очень велика. Простейшим случаем ДУ является дифференциальный каскад (ДК), как следует из названия, состоящий из одного каскада усиления.

ДК широко используются в качестве первого каскада операционных усилителей. Они играют важную роль при разработке усилителей постоянного тока, так как симметричная схема ДК по сути своей приспособлена для компенсации температурного дрейфа.

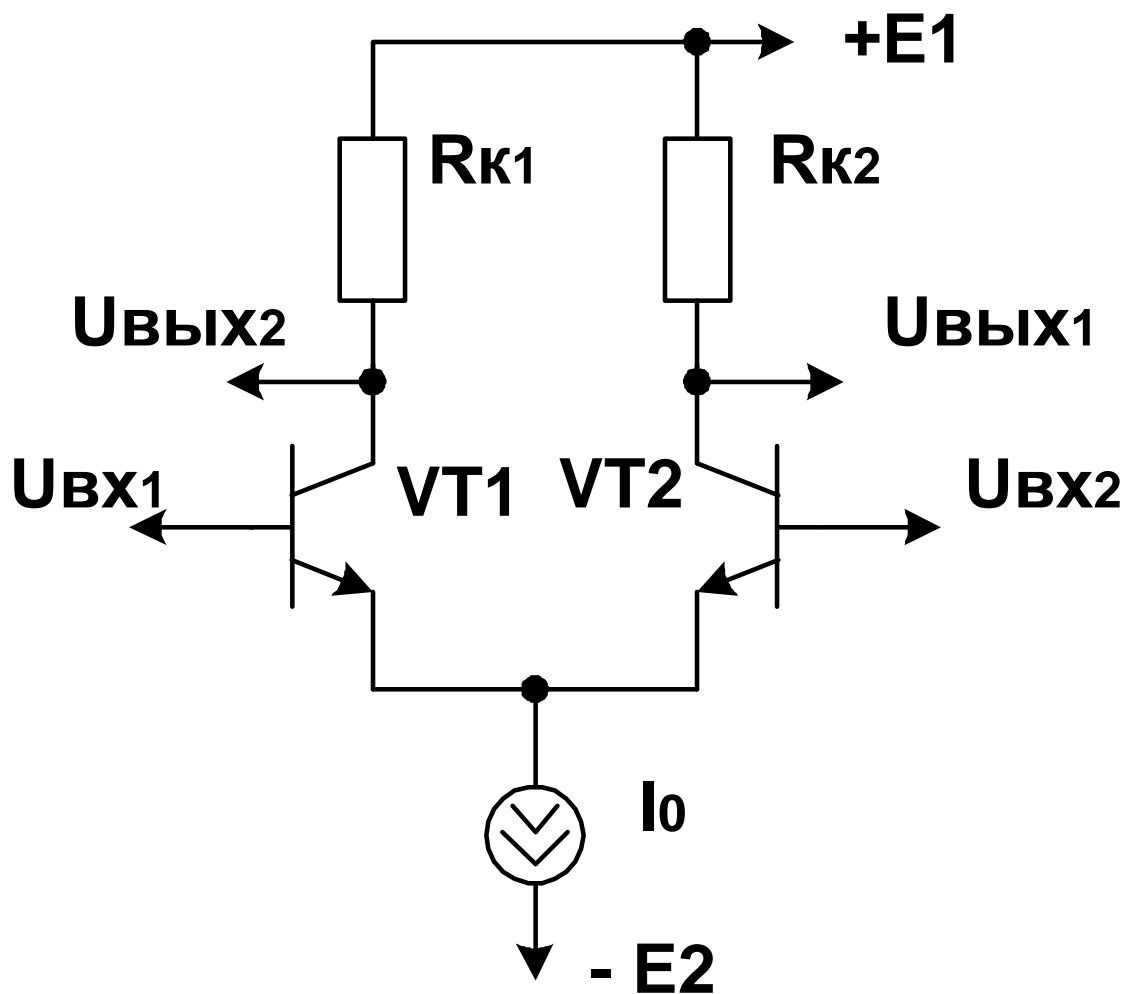


Рис. 1. Принципиальная схема ДК

Основная схема ДК приведена на рис. 1. В общую эмиттерную цепь ДК включен источник стабильного тока, который обеспечивает постоянство токов  $I_{к1} + I_{к2} = I_0$ . Ток  $I_0$  не должен зависеть от уровня сигнала на входе ДК (даже при коротком замыкании в цепи нагрузки этого генератора ток  $I_0$  должен оставаться неизменным).

Рассмотрим принцип действия ДК и его усилительные параметры на примере простейшей биполярной схемы на рис. 1. Предположим, что оба транзистора ДК имеют строго одинаковые характеристики и параметры, и  $R_{к1} = R_{к2}$ . При этом условии, если входной сигнал  $U_{вх} = 0$ , то и напряжение

между выходами ДК  $U_{вых2} - U_{вых1} = 0$ .

Для идеального симметричного ДК в режиме баланса эмиттерный ток  $I_0$  делится поровну между двумя усилительными транзисторами. Если пренебречь базовыми токами, можно считать, что коллекторные токи транзисторов одинаковы и равны

$$I_{k_1} = I_{k_2} = 0,5I_0.$$

Это соотношение не изменится, если оба входных напряжения получат приращения на одну и ту же величину (синфазный сигнал). Так как в этом режиме коллекторные токи остаются равными друг другу, то будет постоянна и разность выходных напряжений. Отсюда следует, что коэффициент усиления синфазного сигнала равен нулю.

В идеальном ДК синфазный сигнал на его входах не вызывает появление дифференциального выходного сигнала. Однако в реальной схеме наблюдается небольшой дифференциальный выходной сигнал. Он обусловлен неполной идентичностью характеристик транзисторов, разницей в значениях коллекторных сопротивлений  $R_{k1}$  и  $R_{k2}$  и внутренних сопротивлений источников, подключенных к входам каскада.

Напряжение на коллекторе каждого транзистора, называемое напряжением баланса, относительно нулевой шины равно

$$U_{к1,2} = E_1 - 0,5I_0R_k.$$

Если  $U_{ex1} > U_{ex2}$ , то изменяется распределение токов в

ДК:  $I_{к1}$  увеличивается, а  $I_{к2}$  — уменьшается. Их сумма при этом остается равной  $I_0$ . Поэтому  $\Delta I_{к1} = -\Delta I_{к2}$ . Таким образом, разность входных напряжений в отличие от синфазного управления вызывает изменение выходного напряжения.

При этом

$$U_{вых1} = E_1 - I_{к1}R_{к}; \quad U_{вых2} = E_1 - I_{к2}R_{к}.$$

Полный дифференциальный выходной сигнал наблюдается между выходами ДУ

$$U_{вых2} - U_{вых1} = (I_{к1} - I_{к2})R_{н}.$$

Изменение выходных сигналов прекращается, когда весь ток переключится в транзистор VT1. Транзистор VT2 в этом случае перейдет в состояние отсечки. Максимальная разность сигналов между выходами равна

$$U_{вых2} - U_{вых1} = I_0 R_{к},$$

а напряжение на коллекторе транзистора VT1 имеет минимальный уровень  $E_1 - I_0 R_{н}$ .

Изменение напряжения  $U_{эб}$ , происходящее под воздействием температуры, действует как синфазный сигнал и, следовательно, слабо влияет на работу схемы. Поэтому для уменьшения дрейфа нуля в усилителях постоянного тока широко применяют ДК. Из-за малого дрейфа нуля ДК используют и для усиления однополярного сигнала. В этом случае один из двух входов ДК имеет нулевой потенциал. На рис. 2 показаны способы подачи дифференциального сигнала на ДК.

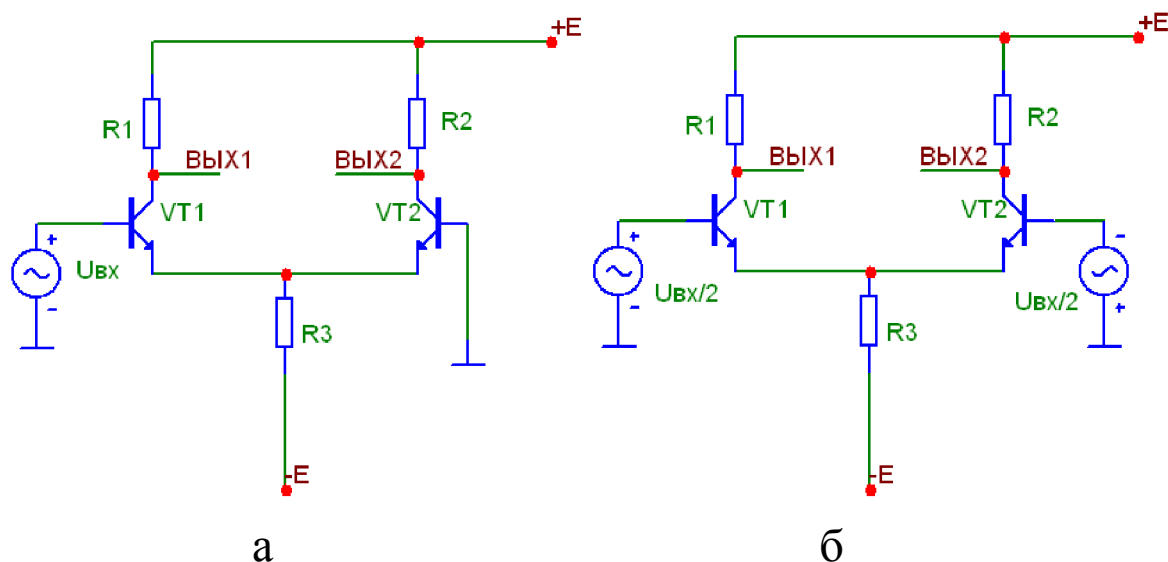


Рис. 2. Способы подачи сигналов на ДК:

*а* — несимметричное подключение входов;

*б* — симметричное подключение входов

Дифференциальный усилитель, как указывалось выше, управляется разностью напряжений, которая приложена между его входами. Сигнал, имеющийся между входами, называется дифференциальным.

Точка заземления дифференциального сигнала, как видно из рис. 2, может быть выбрана произвольно.

## 2.2. Малосигнальные усилительные параметры ДУ

Проведем анализ работы ДК с целью определения его усилительных параметров при различных схемах включения источников сигнала и подключения нагрузки. Для упрощения расчетов будем считать, что внутреннее сопротивление генератора тока имеет конечную величину.

В схеме на рис. 3,а генератор стабильного тока (ГСТ) моделируется резистором  $R_3$  и источником напряжения  $E_K - U_{эб}$ .

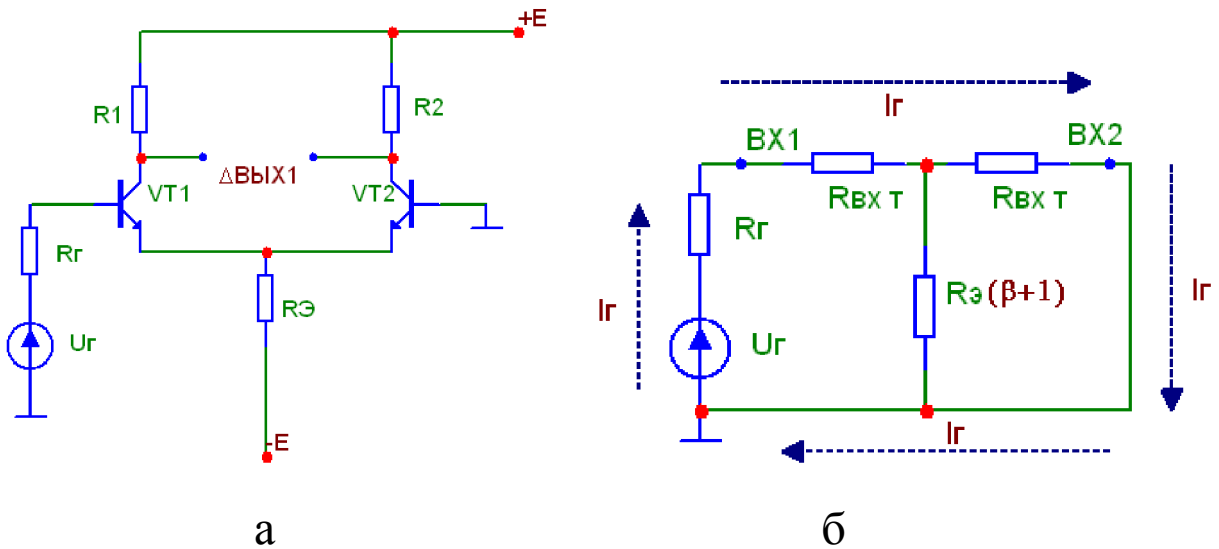


Рис. 3. Распределение потенциалов и токов в схеме ДК:

а — схема ДК; б — эквивалентная схема входной цепи ДК

Предположим также, что схема на рис. 3,а абсолютно симметрична, т. е. сопротивления резисторов, входящих в каждое плечо, и параметры транзисторов одинаковы. Предполагаются одинаковыми и входные сопротивления транзисторов  $VT1$ ,  $VT2$ . Допустим также, что внутреннее сопротивление источника сигнала  $R_2$  намного меньше входного сопротивления, а напряжение  $U_2$  близко к нулю.

Так как схема ДК симметрична, то ток  $I_0$  делится поровну между усилительными транзисторами. В режиме малого сигнала приращение коллекторных токов  $\Delta I_k$  много меньше  $0,5I_0$ . Во входной цепи усилителя от источника  $U_2$  течет ток сигнала:

$$I_{ex} = I_c = U_2 / (R_2 + 2R_{BX T}) = U_2 / (2 R_{BX T}).$$

Цепь входного сигнала показана на рис. 3,б пунктирной линией. В базу транзистора  $VT1$  ток втекает, и его коллекторный ток увеличивается, а из базы транзистора  $VT2$  вытекает, и коллекторный ток уменьшается. Соответственно



на коллекторных резисторах создаются приращения выходных сигналов

$$\Delta U_{RK} = \pm \Delta I R_k = \pm \beta I_c R_k.$$

Подставив в приведенное выражение значение входного тока, определим дифференциальный коэффициент усиления

$$K_\partial = \Delta U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}} = 2R_k \beta / (2R_{BX T}) = S R_k, \quad (1)$$

где  $S = \Delta I_c / \Delta U_{\text{эб}} = \beta / R_{BX T}$  — крутизна усиления транзистора.

Минимальный коэффициент усиления по напряжению ДК соответствует  $K_{U_\partial}$  для одиночного каскада с ОЭ. Это происходит потому, что в режиме, близком к балансу, на каждый транзистор поступает половинное входное напряжение  $U_{\text{вх}}/2$ , а приращения сигналов между выходами двух транзисторов суммируются. В этом режиме крутизна усиления наибольшая.

Формула (1) верна как для биполярных, так и для униполярных дифференциальных каскадов, усилительные транзисторы которых имеют крутизну  $S$ . Если в выражение (1) подставить значение крутизны биполярного транзистора

$$S = I_c / \varphi_T = I_0 / 2\varphi_T,$$

то получим зависимость  $K_\partial$  от тока, равную

$$K_\partial = R_k I_0 / (2\varphi_T).$$

Дифференциальный коэффициент усиления биполярного ДК прямо пропорционален сопротивлению нагрузки  $R_k$ , уровню тока  $I_0$  и обратно пропорционален температурному коэффициенту. Значение  $K_\partial$  от коэффициента  $\beta$  не зависит (при  $\beta \gg 1$ ).

На рис. 3,б показана малосигнальная эквивалентная схема входной цепи ДК, нагружающая дифференциальный источник сигнала. Так как эмиттерный ток каждого транзистора в  $(\beta+1)$  раз превышает базовый, то сопротивление резистора пересчитывается в контур входного тока с коэффициентом  $(\beta+1)$ . Так как сопротивление  $R_э$  велико, то можно считать, что входное дифференциальное сопротивление ДК, наблюдаемое между его входами  $Vx 1$  и  $Vx 2$ , равно

$$R_{ex \partial} = 2\varphi_T (\beta + 1) / I_э = 4\varphi_T (\beta + 1) / I_0.$$

Рассмотрим теперь случай, когда оба входа ДК объединены и на них подан общий синфазный сигнал  $E_c$  (рис. 4).

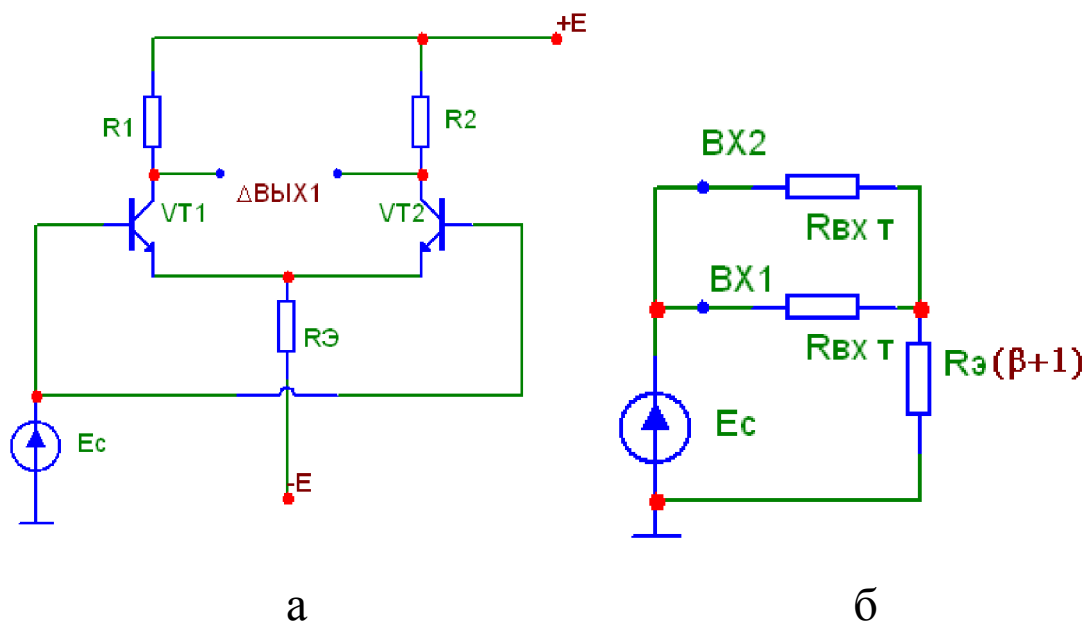


Рис. 4. Определение коэффициента передачи синфазного сигнала: а — схема для расчета синфазного коэффициента передачи; б — эквивалентная схема входного сопротивления ДК для синфазного сигнала

В синфазном режиме за счет тока синфазного сигнала

$I_{cc}/2$  уровень тока  $I_c$  увеличивается на величину  $I_{cc}(\beta+1)$ . Соответственно приращение коллекторных токов составляет  $\Delta I = 0,5\beta I_{cc}$ . На рис. 4,б показана эквивалентная схема входной цепи ДК для синфазного сигнала.

Так как

$$I_{cc} = E_c / [0,5R_{BXT} + R_9(1 + \beta)],$$

то приращение коллекторного напряжения равно

$$\Delta U_{вых} = \Delta I R_k \cong E_c R_k / (2R_9).$$

Таким образом, если входное сопротивление транзистора много меньше сопротивления  $R_9$ , то абсолютное значение коэффициента передачи синфазного сигнала равно

$$K_c = R_k / 2R_9 \quad (2)$$

и уровень тока  $I_{cc}$  оказывается тем меньше, чем больше выбрано сопротивление резистора  $R_9$ . Выражение (2) приблизительно, так как оно не отражает увеличение  $K_c$  за счет асимметрии плеч ДК и не учитывает  $R_2$ . Реально  $K_c$  имеет большое число составляющих, которые сложным образом зависят от разбаланса элементов, структуры схемы и частоты сигнала.

Если синфазная ошибка накладывается на выходной дифференциальный сигнал одного плеча, то ее можно пересчитать во входную цепь через полный дифференциальный коэффициент усиления, т. е.  $K_\partial$ . Выходные синфазные ошибки усиления сигнала, приведенные к входу, позволяют определить минимальный уровень входного сигнала между входами, который может

быть обнаружен на фоне выходных сигнальных ошибок.

Таким образом, напряжение  $E_c$ , присутствующее на входах ДУ, вызывает между этими входами эквивалентное дифференциальное напряжение ошибки, равное

$$\Delta U_c = E_c K_c / K_\partial.$$

Качество ДК характеризуется отношением  $K_\partial/K_c$  коэффициентом ослабления синфазного сигнала (КОСС), показывающим способность ДК различать дифференциальный сигнал на фоне синфазного напряжения. Отношение

$$\frac{K_\partial}{K_c} = \frac{2 \cdot R_\partial S R_k}{R_k} = 2 \cdot R_\partial S$$

пригодно для анализа любых (полевых и биполярных) ДК.

Для биполярного ДК

$$\frac{K_\partial}{K_c} = \frac{2\beta R_\partial}{R_{BXT}} = \frac{I_0 R_\partial}{\Phi_T}.$$

Наиболее часто используется логарифмическая форма этого параметра: коэффициент ослабления синфазного сигнала в децибелах

$$K_{oc\ c\phi} = 20 \lg \frac{K_{U\partial}}{K_{Uc}}.$$

Для современных полупроводниковых ДК значение КОСС находится в пределах от 60 до 100 дБ.

Синфазное входное сопротивление  $R_c$ , как и  $K_c$ ,

определяется выходным сопротивлением генератора стабильного тока  $R_{\sigma}$ . Значение  $R_c$  всегда на несколько порядков больше, чем  $R_{\sigma}$ :

$$R_{\text{вх}c} = 0,5R_{\text{вх}T} + (\beta + 1)R_{\sigma} \cong (1 + \beta)R_{\sigma}.$$

Выходное сопротивление ДК определяется параллельным включением резистора коллекторной нагрузки  $R_k$  и выходным сопротивлением усилительного транзистора.

### 2.3. ДК с отрицательной обратной связью

Сравнительно узкий линейный участок передаточных характеристик ДК не позволяет применять ДК для усиления без искажений сигналов с амплитудами свыше 20–25 мВ. Этот недостаток легко устраняется введением ООС по току, которая, кроме того, повышает входное сопротивление и стабильность работы схемы. Для этого в эмиттерную цепь каждого транзистора включается резистор (рис. 5).

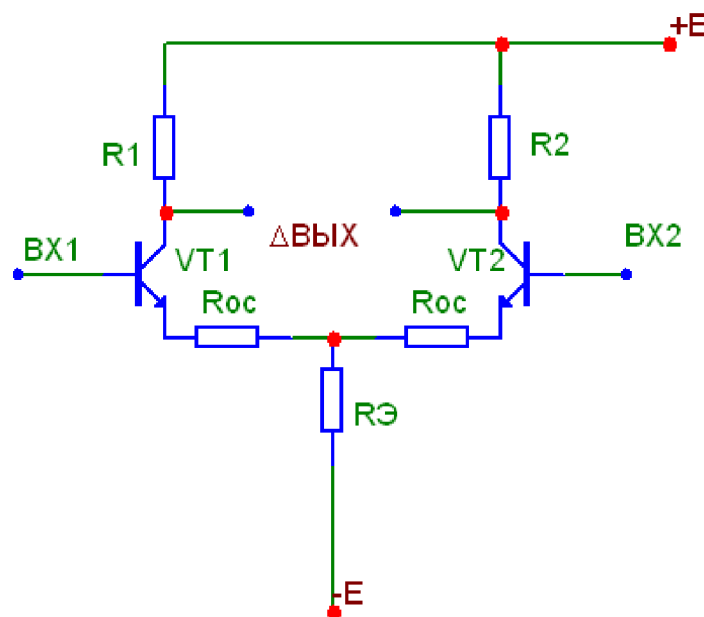


Рис. 5. ДК с ООС по току

Если разность напряжений  $U_{ex\partial} = U_{ex1} - U_{ex2}$  изменяется на величину  $\Delta U$ , то напряжение на обоих резисторах также изменится примерно на величину  $\Delta U$ . Приращение коллекторного тока равно

$$\Delta I_{k_1} = -\Delta I_{k_2} \cong \Delta U / 2R_{oc}.$$

Тогда коэффициент усиления ДК по напряжению равен

$$K_{\partial} \approx R_k / (2R_{oc}).$$

Анализ показывает, что максимальное значение крутизны в схеме на рис. 5 при  $U_{ex\partial} = 0$  и  $I_{k1} = I_{k2} = 0,5I_0$  равно

$$S_{\max oc} = 0,5I_0 / (\varphi_T + I_0 R_{oc}),$$

что в  $(1 + 2S_{\max} R_{\partial})$  раз меньше крутизны ДК без обратной связи ( $S_{\max} = I_0 / (2\varphi_T)$ ). Однако ООС с помощью резисторов  $R_{\partial}$  улучшает линейный участок передаточных характеристик, ухудшает ограничительную способность ДК и увеличивает его входное сопротивление. На прохождение синфазного сигнала резисторы  $R_{\partial}$  не влияют.

Если в схеме ДК применить два источника стабильного тока, как показано на рис. 6,а, например, при помощи токового зеркала, то ООС по току можно обеспечить с помощью одного резистора. При отсутствии входного сигнала по этому резистору не будет протекать ток. Это дает возможность с помощью резистора изменять коэффициент усиления без изменения величины выходного потенциала при отсутствии сигнала.

В ряде случаев в усилителях требуется регулировать усиление электронным способом. Электронное

регулирование усиления применяется в устройствах связи, таких как усилители высокой и промежуточной частоты, поскольку увеличивает динамический диапазон по входному сигналу.

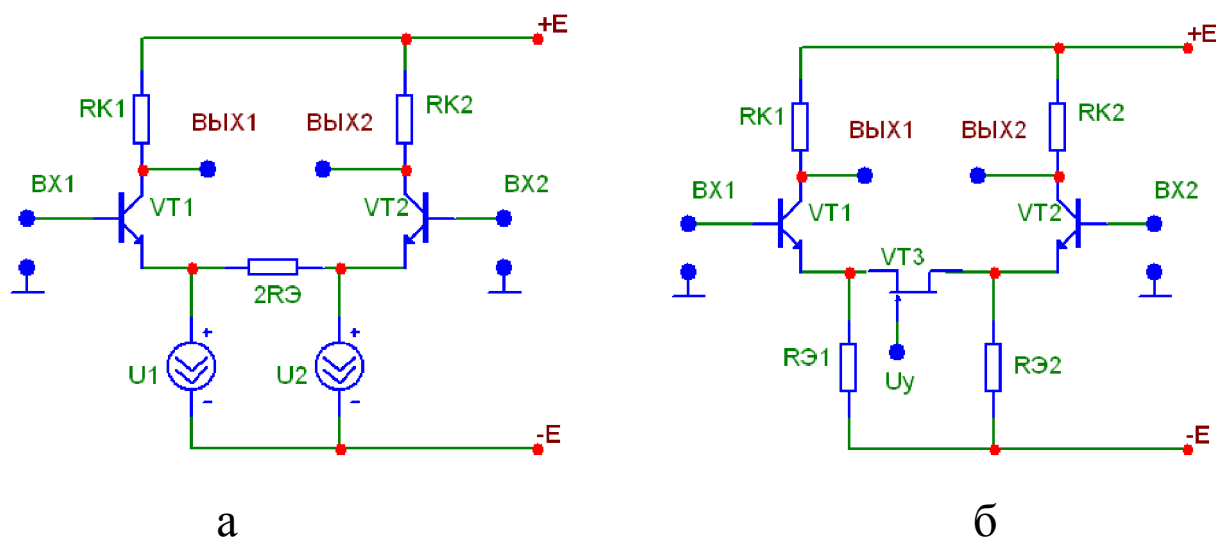


Рис. 6. Введение ООС по току в ДК:

а — с помощью одного резистора; б — ДК с электронной регулировкой коэффициента усиления

Электронное регулирование усиления позволяет управлять усилением с помощью замкнутой схемы автоматической регулировки усиления (АРУ).

В усилителях на дискретных элементах электронная регулировка усилением достигается, как правило, путем смещения рабочей точки одного или нескольких каскадов или постановкой диодного аттенюатора между каскадами. В монолитных интегральных схемах, в которых неприемлема связь между каскадами только по переменному току, такие методы регулирования усиления приводят к нежелательным сдвигам уровня постоянного напряжения в схеме и, следовательно, не могут применяться.

На рис. 6,б приведена схема ДК, в которой регулировка усиления осуществляется электронным способом. В этой схеме в качестве управляемого напряжением элемента связи между каскадами на биполярных транзисторах VT1 и VT2 используется зависящее от приложенного напряжения сопротивление канала полевого транзистора. Полевой транзистор с каналом n-типа легко изготовить одновременно с биполярными транзисторами. Так как исток и сток полевого транзистора имеют почти одинаковые потенциалы, через канал протекает очень небольшой постоянный ток. Следовательно, уровни смещения по постоянному току в схеме не изменяются под действием управляющего напряжения  $U_y$ , которое приложено к затвору полевого транзистора.

Коэффициент усиления по напряжению можно выразить отношением сопротивления резистора нагрузки к сопротивлению канала между истоком и стоком полевого транзистора. Величина сопротивления между стоком и истоком является функцией управляющего напряжения  $U_y$ . Для полевого транзистора с равномерным распределением примесей в канале эта зависимость приближенно выражается в следующем виде:

$$R_{cu} = R_{cu0} / \sqrt{1 - U_y / U_0},$$

где  $R_{cu}$  — величина сопротивления между истоком и стоком при нулевом управляющем напряжении;  $U_0$  — напряжение отсечки полевого транзистора.

Таким образом, коэффициент усиления схемы на рис. 6,б по напряжению имеет вид



$$K_{\partial} = \frac{R_n}{2R_{cuo}} \sqrt{1 - U_y / U_0} .$$

При коэффициенте усиления 20 дБ диапазон автоматической регулировки усиления оказывается не менее 40 дБ в рабочем диапазоне частот.

### 3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка для испытаний дифференциального усилительного каскада состоит из исследуемого устройства (рис.7) и следующих приборов: генератора синусоидальных сигналов, цифрового осциллографа и универсального источника питания.

В настоящей работе исследуются три схемы ДК на две дискретных элементах и одна на микросхеме. На рис. 7 показана схема макета, изображенная на панели лабораторного макета.

Переключатель S1 используется при измерении входных сопротивлений каскадов. Переключатели S5 и S6 используются при измерении выходных сопротивлений каскадов на дискретных элементах и интегральной микросхеме соответственно.

Гнёздо X1 является входом, X2 — контрольное гнездо для подключения осциллографа, X3 и X4 — выходы усилительного каскада на дискретных элементах, а X5, X6 — выходы усилительного каскада на интегральной микросхеме.

Выбор соответствующей схемы включения ДК производится переключателями S2, S3, S4 положение переключателей указано в табл.1.

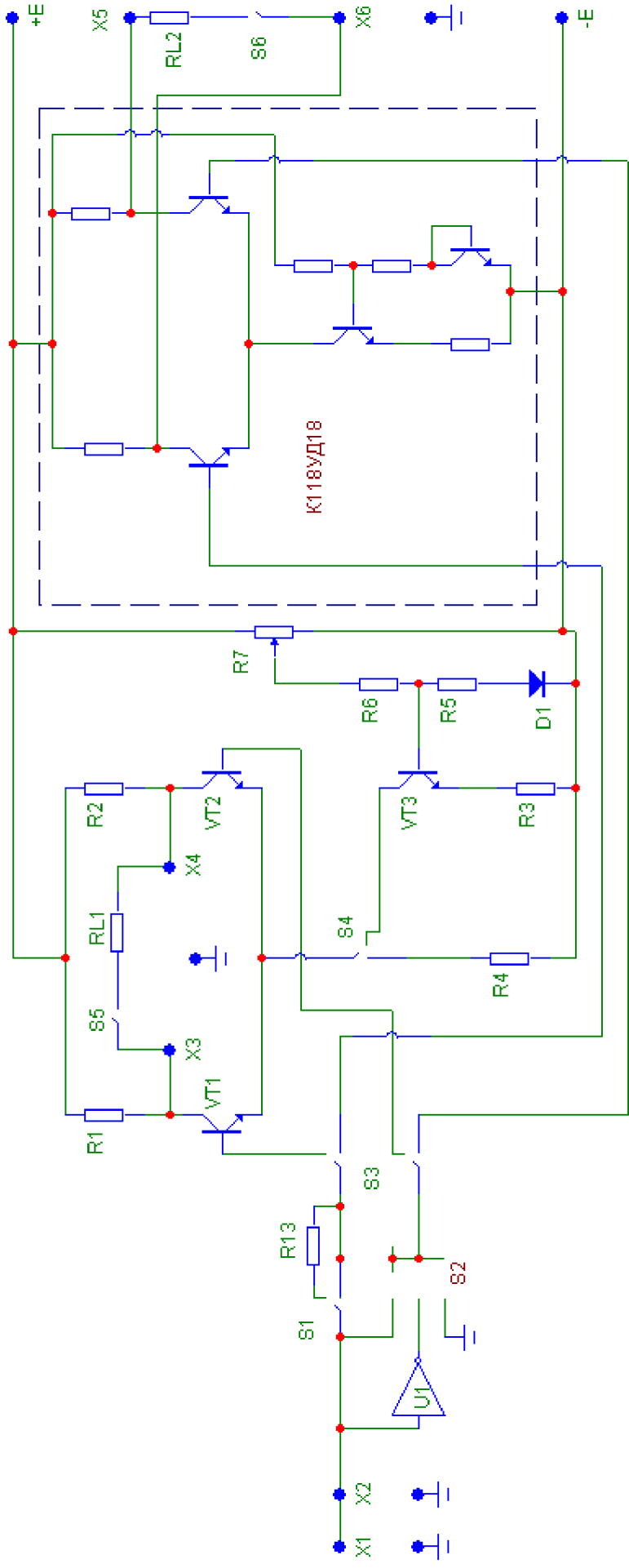


Рис.7. Схема лабораторного стенда

Выбор положения переключателей

Схема включения	S1	S2	S3	S4	S5	S6
ДК на дискретных элементах с симметричным входом	1	2	1	1	1	Не имеет значения
ДК на дискретных элементах с несимметричным входом	1	3	1	1	1	Не имеет значения
ДК на дискретных элементах с ГСТ в цепи эмиттеров	1	2	1	2	1	Не имеет значения
ДК на интегральной микросхеме	1	2	2	Не имеет значения	Не имеет значения	1

#### 4. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

1. Внимательно изучить данное методическое руководство к лабораторной работе.
2. Изучить по предлагаемым в конце методического руководства литературным источникам принципиальные схемы дифференциальных каскадов, основные

характеристики, их назначения, способы подачи сигналов, достоинства и недостатки. Изучить принцип работы дифференциального каскада при различных схемах включения.

3. Ознакомиться со структурной схемой установки и методикой определения основных качественных показателей каскада, изучить лабораторное задание и методику выполнения лабораторной работы.

4. Подготовить ответы на контрольные вопросы, приведенные в методических указаниях.

## **5. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ**

1. Ознакомиться с экспериментальной установкой для исследования дифференциального каскада. Снять амплитудную характеристику для схемы на дискретных элементах с симметричным входом, определить коэффициент усиления по напряжению на линейном участке, зарисовать осциллограммы. Повторить для дифференциального каскада на дискретных элементах с несимметричным входом, для дифференциального каскада на дискретных элементах с ГСТ и для каскада на интегральной микросхеме.

2. Построить АЧХ дифференциального каскада на дискретных элементах с симметричным входом и выходом. Измерить верхнюю граничную частоту по уровню 0,707 от значения на средних частотах. Повторить для дифференциального каскада на дискретных элементах с ГСТ и для каскада на интегральной микросхеме.

3. Определить коэффициент подавления синфазного

сигнала для дифференциального каскада на дискретных элементах с симметричным входом. Повторить для дифференциального каскада на дискретных элементах с ГСТ и для каскада на интегральной микросхеме.

4. Определить входное сопротивление схемы для дифференциального сигнала для дифференциального каскада на дискретных элементах, повторить для дифференциального каскада на дискретных элементах с ГСТ и для дифференциального каскада на интегральной микросхеме.

5. Измерить выходное сопротивление для дифференциального каскада на дискретных элементах, повторить для дифференциального каскада на дискретных элементах с ГСТ и для дифференциального каскада на интегральной микросхеме.

6. Проанализировать результаты эксперимента и сделать заключение.

## **6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОГО ЗАДАНИЯ**

1. Подготовить лабораторный макет к измерениям технических показателей каскада. Переключатели  $S1...S6$  установить в положение (для схемы ДК на дискретных элементах с симметричным входом) в соответствии с табл.1. Включить питание стенда. К входным гнездам  $X1$  подключить генератор синусоидальных колебаний, к  $X2$  — одноканальный осциллограф, а к выходным гнездам  $X3$ ,  $X4$  — двухканальный осциллограф в режиме «математика». С генератора синусоидальных колебаний подать в схему

сигнал частотой 1 кГц и амплитудой 10 мВ. При наличии нелинейных искажений выходного сигнала, контролируемых по осциллографу, уменьшить уровень входного сигнала. Убедиться в усилении сигнала схемой. Зарисовать полученные осциллограммы. Снять амплитудную характеристику. Уровень входного напряжения контролируется осциллографом на выходе генератора синусоидальных сигналов на частоте 1 кГц. Выходное напряжение измеряется осциллографом и контролируется форма выходного напряжения.

Для получения общего представления о характере кривых целесообразно, предварительно не записывая показаний, оценить изменения выходного напряжения и выделить участки с наиболее выраженной нелинейной зависимостью.

После этого снять характеристики по точкам. Наибольшее число точек следует снимать на нелинейных участках кривых, так как линейные участки достаточно четко определяются двумя-тремя точками. Повторить для дифференциального каскада на дискретных элементах с несимметричным входом, для дифференциального каскада на дискретных элементах с ГСТ и для каскада на интегральной микросхеме.

Результаты измерений свести в табл. 2.

По полученным данным построить графики на одном рисунке.

Для всех трех схем в середине линейного участка амплитудной характеристики определить коэффициент усиления по напряжению

$$K_u = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}.$$

Таблица 2

## Амплитудные характеристики каскадов

ДК на дискретных элементах с резистором в цепи эмиттеров	$U_{вх}, мВ$	
	$U_{вых}, мВ$	
ДК на дискретных элементах с ГСТ в цепи эмиттеров	$U_{вх}, мВ$	
	$U_{вых}, мВ$	
ДК на интегральной микросхеме	$U_{вх}, мВ$	
	$U_{вых}, мВ$	

2. Построить АЧХ для дифференциального каскада на дискретных элементах с симметричным входом. К входным гнездам X1 подключить генератор синусоидальных колебаний, к X2 — одноканальный осциллограф, а к выходным гнездам X3 — двухканальный осциллограф в режиме «математика». При частоте 1 кГц установить уровень

выходного напряжения 1 В, изменяя частоту генератора построить АЧХ. Данные занести в таблицу 3. Измерить верхнюю и нижнюю граничные частоты по уровню 0,707 от значения на средних частотах. Повторить для дифференциального каскада на дискретных элементах с ГСТ и для каскада на интегральной микросхеме.

Таблица 3

## Амплитудно-частотные характеристики каскадов

ДК на дискретных элементах с резистором в цепи эмиттеров	Ф, Гц	
	$U_{ВХ}$ , мВ	
	$U_{ВЫХ}$ , мВ	
	$K_u$	
ДК на дискретных элементах с ГСТ в цепи эмиттеров	Ф, Гц	
	$U_{ВХ}$ , мВ	
	$U_{ВЫХ}$ , мВ	
	$K_u$	
ДК на интегральной микросхеме	Ф, Гц	
	$U_{ВХ}$ , мВ	
	$U_{ВЫХ}$ , мВ	
	$K_u$	

По полученным данным построить графики на одном рисунке.

3. Для определения коэффициента подавления синфазного сигнала необходимо переключить



переключатель S2 в положение «1» для подачи синфазного сигнала. Установив уровень сигнала в соответствие середине линейного участка амплитудной характеристики на частоте 1 кГц, определить коэффициент передачи схемы. По формуле

$$K_{ос\ cф} = \frac{K_{U\ \partial}}{K_{U\ c}},$$

где  $K_{U\ \partial}$  – коэффициент усиления дифференциального сигнала;

$K_{U\ c}$  – коэффициент передачи синфазного сигнала, определить коэффициент подавления синфазного сигнала. Повторить для дифференциального каскада на дискретных элементах с ГСТ и для каскада на интегральной микросхеме.

4. При нахождении переключателя S1 в положении «1» установить величину выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$  равной 1 В. Для измерения входного сопротивления с помощью переключателя S1 на вход каскада подключается дополнительное сопротивление  $R_{\partial}$ , равное 1 кОм. Зафиксировав изменение выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$ , рассчитать входное сопротивление по формуле

$$R_{\text{вх}} = \frac{R_{\partial} U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых}0} - U_{\text{вых}}}.$$

Повторить для дифференциального каскада на дискретных элементах с несимметричным входом, для дифференциального каскада на дискретных элементах с ГСТ

и для каскада на интегральной микросхеме.

5. При нахождении переключателей S1, S5 и S6 в положении «1» установить величину выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$  равной 1 В. Для измерения выходного сопротивления с помощью переключателя S5 параллельно к выходу подключается дополнительное сопротивление  $R_0$ , равное 5,6 кОм. Зафиксировав изменение выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$  рассчитать выходное сопротивление по формуле

$$R_{\text{вых}} = R_0 \left( \frac{U_{\text{вых}0}}{U_{\text{вых}}} - 1 \right).$$

Повторить для дифференциального каскада на дискретных элементах с ГСТ и для каскада на интегральной микросхеме.

Результаты проведенных исследований свести в табл. 4.

Таблица 4

Параметры усилительного каскада

Параметры	Схемы включения транзисторов		
	ДК с R	ДК с ГСТ	ДК на ИМ
Коэффициент усиления по напряжению $K_U$			
Входное сопротивление $R_{\text{вх}}$ , Ом			
Выходное сопротивление $R_{\text{вых}}$ , Ом			
Верхняя граничная частота $f_{\text{в}}$ , кГц			
Коэффициент подавления синфазной составляющей			

## 7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен быть выполнен в соответствии с требованиями ГОСТ ЕСКД и должен содержать:

1. Электрическую принципиальную схему установки.
2. Принципиальные схемы каскадов с различными схемами включения ДК.
3. Результаты измерений амплитудных характеристик в виде таблиц и графиков. Графики амплитудных характеристик каскада для всех схем включения ДК привести на одном рисунке в одном масштабе.
4. Результаты измерений амплитудно-частотных характеристик в виде таблиц и графиков. Графики амплитудно-частотных характеристик каскада для всех схем включения ДК привести на одном рисунке в одном масштабе.
5. Результаты измерений входных сопротивлений.
6. Результаты измерений выходных сопротивлений.
7. Результаты измерений коэффициентов усиления.
8. Результаты измерений коэффициентов ослабления синфазного сигнала.
9. Рисунки осциллограмм.
10. Выводы по полученным результатам.

## Контрольные вопросы

1. Особенности схемотехники ДК.
2. В чем существенное отличие схем ДК в дискретном и интегральном исполнении?
3. Почему каскад называется дифференциальным?
4. Перечислить элементы, из которых состоит простейший ДК.
5. Чему равна разность потенциалов между коллекторами транзисторов  $V_{T1}$  и  $V_{T2}$  при подаче на вход синфазных сигналов?
6. Чему равна разность потенциалов между коллекторами транзисторов  $V_{T1}$  и  $V_{T2}$  при подаче на вход разных по фазе сигналов?
7. Перечислить и охарактеризовать важнейшие характеристики ДК.
8. Записать выражение для определения коэффициента усиления ДК в случае источника сигнала с малым внутренним сопротивлением.
9. По какой формуле можно определить коэффициент усиления синфазного сигнала?
10. Как определяется коэффициент подавления синфазной составляющей?

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Мамонкин И. Г. Усилительные устройства. — М.: Связь, 1977. — 357с.
2. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учебное пособие для приборостроит. спец. вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1991. — 622 с.
3. Прянишников В.А. Электроника: Полный курс лекций. — 3-е изд., испр. и доп. — СПб.: Учитель и ученик: КОРОНА–принт, 2003. — 416 с.
4. Фолкенберри Л. Применение операционных усилителей и линейных интегральных схем. — М.: Мир, 1995. — 250 с.
5. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство: Пер. с нем. — М.: Мир, 1982. — 512 с.
6. Мошиц Г., Хорн П. Проектирование активных фильтров: Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 320 с.
7. Мамонкин И.Г. Усилительные устройства. — 2-е изд. — М.: Связь, 1977. — С. 310—346.
8. Масленников В.В., Сироткин А.П. Избирательные RC-усилители. — М.: Энергия, 1980. — 217 с.

**Кравец Андрей Владимирович**  
**Шмбаева Елена Михайловна**

**Руководство к лабораторной работе**  
**Исследование дифференциального каскада**  
по курсу  
**Схемотехника аналоговых электронных устройств**

Ответственный за выпуск Кравец А.В.

Редактор Проценко И.А.

Корректор Надточий З.И.

ЛР № 020565 от 23 июня 1997 г.

Подписано к печати 24.06.2012г.

Формат 60x84 1/16 . Бумага офсетная. Офсетная печать.

Усл. п.л. – 1,9. Уч. - изд. л. – 1,8.

Заказ №                      Тираж 100 экз.

«С»

---

Издательство Технологического института  
Южного федерального университета  
ГСП 17 А, Таганрог, 28, Некрасовский, 44  
Типография Технологического института  
Южного федерального университета  
ГСП 17 А, Таганрог, 28, Энгельса, 1



