

Последовательность заполнения тетради: условие задачи 1 - ее решение, условие задачи 2 - ее решение и т.д.; условие каждой задачи должно быть приведено **полностью**;

после **полной записи** условия задачи перед ее решением обязательно приводится таблица с исходными данными Вашего варианта;

все элементы схем, приводимые в работе, должны вычерчиваться в строгом соответствии с требованиями стандартов (см. Приложение 6);

графики характеристик для решения задач должны **быть очень точно вычерчены** на миллиметровой бумаге; для удобства пользования рисунки с графиками должны быть увеличены относительно приведенных в приложении 2.2, в масштабе, удобном для отсчетов; характеристики вычерчиваются тонко заточенным карандашом; не допускается использование фломастеров;

вклеенные в тетрадь рисунки не должны отгибаться, складываться и т.д.; не забывайте **обозначать координатные оси**, указывая откладываемые величины и единицы их измерения;

под рисунком ставится его порядковый номер и указывается его название; все таблицы должны быть пронумерованы; номер таблицы пишется над таблицей справа; нумерация рисунков и таблиц – сквозная;

выбор номинала сопротивления резистора или емкости конденсатора производится по табл. 16 Приложения 7 данной методической разработки;

формулы, по которым ведется расчет, обязательно приводятся в тексте; расчеты должны сопровождаться пояснительным текстом; числовые значения величин следует подставлять в **основных единицах** (вольт, ампер, фарада, генри, ом и т.д.);

окончательный результат расчета должен быть вычислен с точностью до трех значимых цифр (183000, 1,83, или 183) и снабжен знаком основной или производственной размерности;

после решения последней задачи приводится список использованной литературы; поставьте дату и подпись; работа высылается на рецензирование в соответствии с учебным графиком; после получения зачетной работы Вы должны внести исправления в соответствии с рецензией и показать тетрадь преподавателю во время экзаменационной сессии, но обязательно до экзамена. Если работа не зачтена, студент выполняет ее заново **полностью**.

Задача 1

1. Выберите диод, выполняющий заданную функцию. При выборе диода учтите дополнительное условие выбора.
2. Расшифруйте маркировку выбранного диода.

3. Перечертите его характеристику и определите по ней заданные параметры; укажите их физический смысл.
4. Начертите схему включения диода и кратко опишите принцип ее работы.

Таблица 2

Номер варианта	Функция диода	Дополнительное условие выбора	Параметры диода
1	Для стабилизации напряжения	Максимальная величина U_{CT}	U_{CT} , R_{CT}
2	Для постройки резонансной частоты колебательного контура	Минимальная величина C_{min}	K_C , C_0 при $U_{ном} = 4В$
3	Для преобразования переменного тока в постоянный	Минимальная величина $I_{ДР max}$	$K_{ВЫПР}$, R_i
4	Для преобразования переменного тока в постоянный	Максимальная величина $U_{ОБР max}$ и $I_{ДР max}$	$K_{ВЫПР}$, R_i
5	Для подстройки резонансной частоты колебательного контура	Максимальная величина C_{max}	K_C , C_0 при $U_{ном} = 4В$
6	Для стабилизации напряжения	Минимальная величина U_{CT}	U_{CT} , R_{CT}
7	Для преобразования переменного тока в постоянный	Минимальная величина $U_{ОБР max}$ и $I_{ДР max} = 3 А$	$K_{ВЫПР}$, R_i
8	Для постройки резонансной частоты колебательного контура	Минимальная величина C_{max}	K_C , C_0 при $U_{ном} = 4В$
9	Для преобразования переменного тока в постоянный	Минимальная величина $U_{ОБР max}$ и $I_{ДР max} = 10 мА$	$K_{ВЫПР}$, R_i
10	Для стабилизации напряжения	Величина $I_{CT max} = 53 мА$	U_{CT} , R_{CT}

Методические рекомендации по решению задачи 1

Для решения задачи 1 изучите материал [1, с.41-54; 3, с.12-19].

Приведете задание и таблицу с Вашим вариантом задания.

- 1.1. Обратитесь к Приложению 1.1. Из табл.14 выберите диод, выполняющий заданную функцию. Среди этих диодов

выберите тот, который соответствует дополнительному условию выбора.

- 1.2. Обратитесь к Приложению 1.2. Разберитесь в системе принятых обозначений полупроводниковых диодов. Расшифруйте маркировку выбранного диода.
- 1.3. Из Приложения 1.3. **аккуратно** перечертите характеристику выбранного диода. Графически (или аналитически) определите указанные в табл. 2 параметры. Для этого обратитесь к [3, с.12-17], где приведены формулы для расчета параметров. На графиках укажите величины, используемые при расчете параметров: $I_{\text{пр}}$ и $I_{\text{обр}}$ при $|U_{\text{пр}}| = |U_{\text{обр}}| = 1 \text{ В}$; ΔI и ΔU (варианты 3, 4, 7, 9); C_{max} , C_{min} , C_0 (варианты 2, 5, 8); $\Delta U_{\text{см}}$, $\Delta I_{\text{см}}$ (варианты 1,6, 10).
- 1.4. Обратитесь к [3, рис.12, 14, 16], начертите требуемую схему. Разберитесь в ее работе **и кратко** опишите принцип работы схемы. Схему вычерчивайте строго по стандарту (Приложение 6).

Задача 2

1. Выберите биполярный транзистор согласно условию Вашего варианта; приведите его параметры и **расшифруйте** маркировку.
2. Начертите схему включения заданного транзистора с общим эмиттером (ОЭ) в активном динамическом режиме. Поясните полярность источников смещения.
3. Перечертите входную и выходные характеристики заданного транзистора.
4. Рассчитайте и постройте нагрузочную прямую, приведите данные режима работы транзистора.
5. Рассчитайте и постройте линию допустимых режимов; сделайте вывод о возможности работы транзистора в заданном режиме.
6. Обозначьте на выходных характеристиках транзистора области насыщения и отсечки.
7. По заданной амплитуде входного сигнала постройте графики: $U_{\text{вх}} = f(t)$; $I_{\text{вх}} = f(t)$; $I_{\text{вых}} = f(t)$; $U_{\text{вых}} = f(t)$.
8. По получившимся графикам рассчитайте коэффициенты: передачи тока K_I , передачи напряжения K , передачи мощности K_M .

Таблица 3

№ варианта	Условия выбора транзистора	Данные для построения нагрузочной прямой					Амплитуда входного напряжения, $U_{бэп}$
		E_k	$R_{н}$	$I_{кЭЛ}$	$I_{бРТ}$	$U_{кЭРТ}$	
1	$U_{кЭ}^{max} = 40В$	24 В			20 мА	6 В	100 мВ
2	$P_{к max} = 20 Вт$ $h_{21}^{min} = 20$		12 Ом		50 мА	9 В	25 мВ
3	$f_{гp} = 3 МГц$ Минимальное значение $U_{кЭ}^{max}$ <i>КТ 815 А</i>	21 В	13 Ом			9В	100 мВ
4	Минимальное значение $f_{гp}$	24 В		55 мА	1,2 мА		40 мВ
5	$f_{гp} = 3 МГц$ Максимальное значение $U_{кЭ}^{max}$	60 В			10 мА	20 В	10 мВ
6	Минимальное значение h_{21}^{min}	25 В		1,7 А	40 мА		20 мВ
7	Максимальное значение $f_{гp}$		820 Ом		1 мА	20 В	200 мВ
8	Максимальное значение h_{21}^{max}	120 В	1,3 кОм	60 мА			20 мВ
9	Максимальное значение $P_{к max I}$		4,3 Ом		200 мА	12 В	200 мВ
10	Максимальное значение $U_{кЭ}^{max}$	80 В	47 Ом		40 мА		100 мВ

Методические рекомендации по решению задачи 2

Для решения этой задачи изучите материал [1, с.60-99; 3, с.19-33].

Приведите условие задачи и таблицу с Вашим вариантом задания.

2.1. Для выбора транзистора используйте приложение 2.1.

Выберите транзистор из табл. 15 Приложения 2.1 в соответствии с условиями выбора Вашего варианта. Выбрав транзистор, приведите в тетради таблицу с его справочными данными в соответствии с табл.15 Приложения 2.1.

Чтобы расшифровать маркировку выбранного транзистора, обратитесь к [3, с.32-33].

2.2. Начертите схему включения биполярного транзистора с ОЭ в активном динамическом режиме. Сначала «заземлите» эмиттер, укажите структуру выбранного транзистора. Так как задан динамический режим, во входную цепь включите источник смещения и источник сигнала, а в выходную цепь – источник питания и нагрузку.

В активном режиме работы транзистора эмиттерный переход включен прямо, а коллекторный – обратно. Укажите полярность источников питания и смещения, учитывая структуру транзистора, и кратко поясните свой выбор.

2.3. На схеме укажите стрелками направление входного и выходного токов. Укажите, какие токи и напряжения являются входными, какие – выходными. Для этого определите, какой электрод входной, какой – выходной. Входное напряжение – это напряжение между входным электродом и общим, выходное напряжение – напряжение между выходным электродом и общим. Входной ток – это ток входного электрода. Выходной ток – это ток выходного электрода.

2.4. Найдите в Приложении 2.2. графики входной и выходных характеристик Вашего транзистора. **Постройте эти характеристики по точкам на миллиметровой бумаге.** Расположение графиков должно соответствовать рис.1. Разместите графики на развороте листа: на левой стороне листа разместите входную характеристику, а на правой – семейство выходных характеристик. **Оформление рисунков должно соответствовать требованиям, приведенным в общих указаниях по оформлению ДКР.**

2.5. Рассмотрев выходную цепь схемы включения транзистора, получаем соотношение:

$$U_{к\gamma} = E_k - I_k \cdot R_{II},$$

называемое уравнением нагрузочной прямой. Для ее построения нужны две точки. Условием варианта могут быть заданы две из трех следующих точек: рабочая точка (р.т.) точка пересечения с осью токов (т.Н), точка пересечения с осью напряжений (т.М).

Точка М имеет координаты:

$$U_{к\gamma M} = E_k; \quad I_{к M} = 0.$$

Точка N имеет координаты:

$$U_{к\gamma N} = 0; \quad I_{к N} = E_k / R_{II}.$$

Следовательно, если известны E_k и R_{II} , нагрузочная прямая строится по точкам М и N. Рабочая точка в этом случае находится на пересечении нагрузочной прямой со статической выходной

характеристикой при заданном токе базы I_B р.т. (вариант 10) или с перпендикуляром, проведенном из точки $I_K = I_K$ р.т. (вариант 8) или из точки $U_{K\text{ЭПТ}} - U_{K\text{ЭПТ}}$ (вариант 3).

Если задана только одна из величин E_K или R_{II} , то для построения нагрузочной прямой используются р.т. и т. М (варианты 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9).

Отметив р.т. на выходных характеристиках, определите из графика значения I_K р.т. (варианты 2, 7, 9). Далее по уравнению нагрузочной прямой рассчитывается E_K :

$$E_K = U_{K\text{ЭПТ}} + I_{K\text{р.т.}} \cdot R_{II}$$

Таким образом получается координата точки М:

$$U_{K\text{ЭПТ}} = E_K$$

В тетради **обязательно поясните построение нагрузочной прямой**: по каким точкам построена, укажите координаты этих точек, приведите их расчет. На графиках выносными линиями укажите величины: E_K , $U_{K\text{ЭПТ}}$; $I_{K\text{р.т.}}$; I_B р.т.; $U_{B\text{ЭПТ}}$; $I_K = E_K / R_{II}$.

2.6. Имея положение рабочей точки на выходных характеристиках и зная величины I_K р.т., $U_{K\text{ЭПТ}}$; I_B р.т., перенесите ее на входную характеристику. Рабочая точка будет находиться на пересечении перпендикуляра, восстановленного на оси токов базы из точки $I_B = I_B$ р.т., с самой входной характеристикой.

Определите из графика $U_{B\text{ЭПТ}}$ спроецировав р.т. на ось $U_{B\text{ЭПТ}}$ (рис. 1).

Координаты рабочей точки на входной и выходной характеристиках определяют режим работы транзистора. Выпишите эти величины: $I_{K\text{р.т.}}$; $U_{K\text{ЭПТ}}$; I_B р.т., $U_{B\text{ЭПТ}}$, указав их численное значение.

2.7. Линия допустимых режимов работы соединяет все точки на выходных характеристиках, для которых справедливо соотношение:

$$I_K \cdot U_{K\text{ЭПТ}} = P_{K\text{max T}}$$

Величина $P_{K\text{max T}}$ определяется из табл. 15 Приложения 2.1. Все транзисторы, кроме ГТ402 Д, используются с теплоотводом, т.е. расчеты допустимых режимов следует вести по формуле:

$$I_K = \frac{P_{K\text{max T}}}{U_{K\text{ЭПТ}}}$$

Задавая значения $U_{K\text{ЭПТ}}$ (лучше использовать величины, указанные на оси $U_{K\text{ЭПТ}}$ выходных характеристик), рассчитайте соответствующие величины I_K для 5...8 точек. Составьте и заполните таблицу (см. табл. 4).

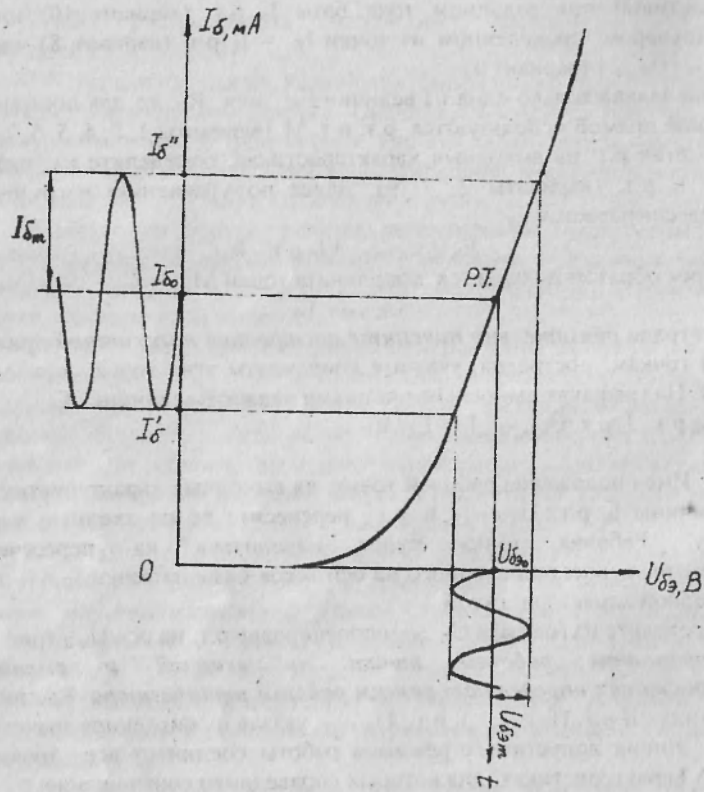


Рис. 4а). Входная характеристика транзистора

Таблица 4

$U_{кэ}, В$		8	10	12	14
$I_к, А$					

Нанесите все рассчитанные точки на входные характеристики транзистора и соедините их плавной кривой. Это и будет **линия допустимых режимов работы**.

Если **рабочая точка** и вся нагрузочная прямая расположены **ниже** этой кривой, режим работы транзистора **допустим**.

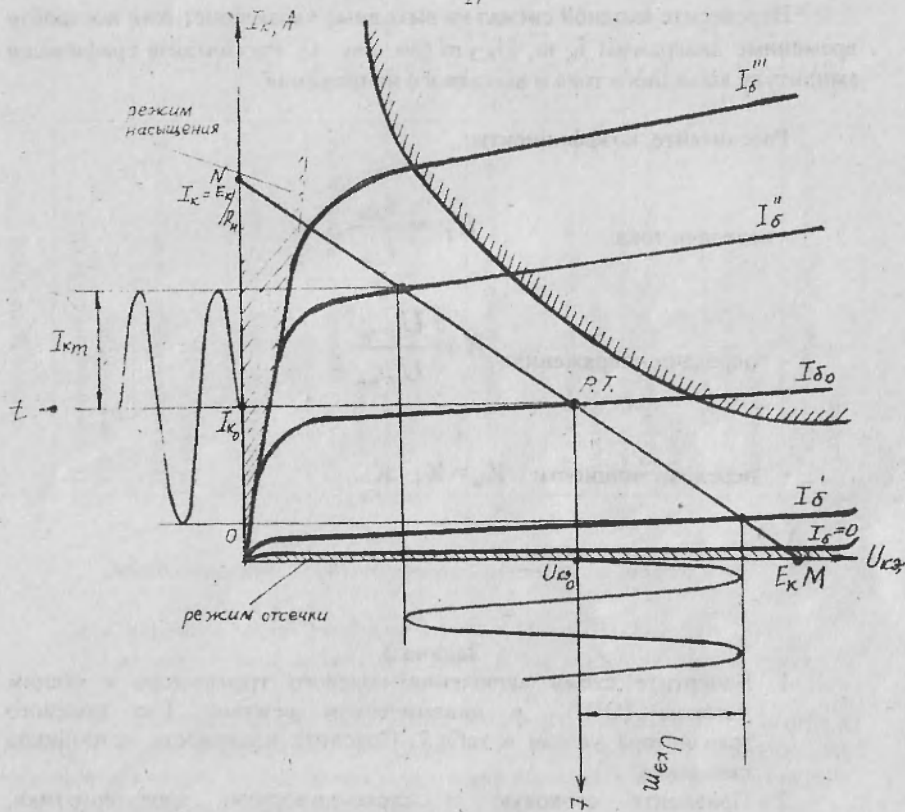


Рис. 1 (б). Выходные характеристики транзистора

2.8. В импульсных и цифровых устройствах транзисторы используются в режимах отсечки и насыщения. На рис. 1 указаны области, соответствующие режимам *отсечки* и *насыщения*. Обозначьте их на своем графике. Если на графике отсутствует характеристика при $I_B = 0$, область отсечки не отмечается. Поясните это в своем ответе.

2.9. По заданной амплитуде входного напряжения $U_{BЭ m}$ постройте на графике входной характеристики временные диаграммы $U_{BЭ m}$, $I_B m$, полагая, что входной сигнал имеет синусоидальную форму. Рассчитайте графически амплитуду входного тока (см. рис. 1).

Перенесите входной сигнал на выходные характеристики и постройте временные диаграммы I_{km} , $U_{KЭm}$ (см. рис. 1). Рассчитайте графически амплитуду выходного тока и выходного напряжения.

Рассчитайте коэффициенты:

- передачи тока:
$$K_T = \frac{I_{Km}}{I_{Bm}}$$

- передачи напряжения:
$$K = \frac{U_{KЭm}}{U_{BЭm}}$$

- передачи мощности:
$$K_M = K_T \cdot K$$

ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР

Задача 3

1. Начертите схему включения полевого транзистора с общим истоком (ОИ) в динамическом режиме. Тип полевого транзистора указан в табл.5. Поясните полярность источников смещения.
2. Приведите стоковую и стоко-затворную характеристики, соответствующие заданному типу транзистора. На характеристиках укажите знак (полярность) напряжения на стоке $U_{си}$ и на затворе $U_{зи}$.
3. Приведите статические параметры полевого транзистора, поясните физический смысл этих параметров; приведите и поясните формулы их расчета. На стоковых характеристиках поясните принцип графического расчета S и R . Сравните полевой и биполярный транзисторы по следующим параметрам: входному сопротивлению; коэффициенту передачи по напряжению; температурной стабильности параметров; входной емкости; уровню шумов, чувствительности к электростатическому напряжению.

Таблица 5

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип полевого транзистора (ПТ)	ПТ с встроеным p-каналом Режим обеднения	ПТ с управляющим p-n переходом и r-каналом	ПТ с индуцированным p-каналом	ПТ с управляющим r-p переходом и p-каналом	ПТ с встроеным r-каналом Режим обогащения	ПТ с индуцированным r-каналом	ПТ с встроеным p-каналом Режим обогащения	ПТ с управляющим r-p переходом и p-каналом	ПТ с встроеным r-каналом Режим обеднения	ПТ с управляющим r-p переходом и p-каналом

Методические рекомендации по решению задачи 3

Для решения задачи изучите материал [1, с.101-119; 3, с.33-41].
Приведите условие задачи и таблицу с Вашим вариантом задания.

3.1. Приведите схему включения заданного полевого транзистора с общим истоком в динамическом режиме, при котором во входную цепь включаются источник смещения и источник сигнала, а в выходную цепь – источник смещения и нагрузка – потребитель.

Укажите полярность источников смещения и поясните ее.

Если Вам задан *полевой транзистор с управляющим r-p переходом (варианты 2, 4, 8, 10)*, объяснение полярности источников смещения должно быть следующим:

К стоку транзистора подключается такой полюс источника E_c , который будет притягивать к себе основные носители заряда канала, создавая в нем ток.

Основные носители определяются проводимостью канала (p или n). Полярность источника E_c , подающего напряжение на затвор, также зависит от типа канала. К *затвору транзистора подключается такой*

полюс источника, который создает обратное смещение на управляющем p-n переходе затвор-канал.

Если задан транзистор с встроенным каналом (варианты 1, 5, 7, 9), рассуждаем следующим образом. К стоку транзистора подключается полюс E_c , противоположный знаку основных носителей заряда канала. Основные носители заряда определяются типом канала (р или n). Полюс источника E_z подающего напряжение на затвор, зависит от типа канала и режима работы транзистора (обогащения или обеднения).

К затвору транзистора с встроенным каналом, работающего в режиме обеднения, подключается полярность источника E_z , совпадающая с полярностью основных носителей. К затвору транзистора с встроенным каналом, работающего в режиме обогащения, подключается полярность источника E_z , противоположная полярности основных носителей заряда.

Если задан транзистор с индуцированным каналом (варианты 3, 6), объяснение источников смещения следующее.

К стоку транзистора подключается полюс источника E_c , противоположный знаку основных носителей заряда канала. К затвору транзистора с индуцированным каналом подключается полюс источника E_z , который создает режим обогащения, т.е. противоположный полярности основных носителей заряда в канале.

Полярность основных носителей заряда определяется полярностью канала (р или n).

3.2. Приведите стоковые и стоко-затворную характеристики транзистора (в общем виде).

Для этого обратитесь к [3, рис. 36, 39, 42].

Приводя характеристики, учитывайте заданные *тип транзистора* и *тип канала*, а для транзистора с встроенным каналом и *режим работы* транзистора (обогащения или обеднения).

Полярность источников смещения E_c и E_z на схеме должна соответствовать знаку напряженности U_{cH} и U_{zH} на характеристиках.

3.3. Приведите обозначение, название и поясните физический смысл статических параметров полевого транзистора, а также расчетные формулы этих параметров [3, 39-40]. На графике стоковых характеристик укажите принцип графического расчета параметров. На рис.2 приведен пример такого расчета. Рабочую точку выберите произвольно в середине линейной части одной из стоковых характеристик.

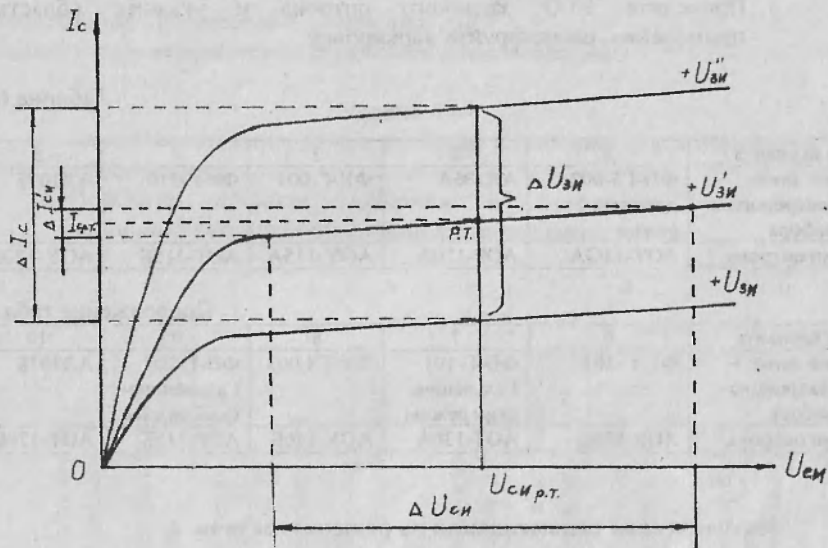


Рис.2. Стоковые характеристики полевого транзистора

Крутизна

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зш}} \Big|_{U_{сш} = \text{const.}}$$

Внутреннее сопротивление

$$R_i = \frac{\Delta U_{сш}}{\Delta I_c} \Big|_{U_{зш} = \text{const.}}$$

3.4. Сравнивая полевой и биполярный транзисторы по указанным параметрам, обратитесь к [3, с.40].

Задача 4

1. Укажите преимущества и недостатки устройств оптоэлектроники.
2. Приведите полную техническую характеристику заданного элемента оптоэлектроники: определение, УГО, принцип действия, характеристики, параметры, схему включения, область применения, расшифровку маркировки.

3. Приведите УГО заданного оптрона и укажите область применения, расшифруйте маркировку

Таблица 6

№ варианта	1	2	3	4	5
Тип опто-электронного прибора	ФД-ГЗ-002 диодный режим	АЛ106А	ФУ-Г-001	ФР-Г-310	АЛ107Б
Тип оптрона	АОТ-110А	АОР-120А	АОУ-115А	АОТ-115Б	АОУ-120Б
Продолжение табл.6					
№ варианта	6	7	8	9	10
Тип опто-электронного прибора	ФУ-Г-201	ФД-Г-101 Гальваниче-ский режим	ФУ-ГЗ-003	ФД-Г-201 Гальваниче-ский режим	АЛ307Б
Тип оптрона	АОР-110В	АОТ-130А	АОУ-110Б	АОР-115Б	АОТ-120Б

Методические рекомендации по решению задачи 4

Для решения задачи изучите материал [1, с.186-201; 3, с.53-64].

Приведете условие задачи и таблицу с Вашим вариантом задания.

4.1. Чтобы ответить на первый вопрос, обратитесь к [3, с.53].

4.2. Для ответа на второй вопрос обратитесь:

для вариантов 2,5, 10 - к [1, с.194-196; 3, с.55-57];

для вариантов 4, 6 - к [1, с.187-188; 3, с.57-59];

для варианта 1 - к [1, с.189-190; 3, с.59-60];

для вариантов 7, 9 - к [1, с.189-192; 3, с.60-61];

для вариантов 3,8 - к [1, с.192-194; 3, с.61-63].

4.3. Для ответа на вопрос 3 обратитесь - к [1, с.196-198; 3, с.64].

Характеристики и параметры приводятся в общем виде для данного типа электронного прибора.

Маркировка оптопар включает семь символов.

Первый означает *исходный материал*:

А - соединения галлия;

З - то же для приборов спецназначения.

Второй - *тип электронного прибора*: О - оптопара.

Третий - *тип приемника оптопары*: Д - диод;

Р - резистор;

У - тиристор;

Т – транзистор.

Четвертый, пятый и шестой – номер прибора.

Седьмой – параметрическая группа или разновидность.

Задача 5

1. Перечислите электронные приборы, служащие для отображения информации.
2. Поясните принцип действия и устройство заданного индикаторного прибора, поясните маркировку.

Таблица 7

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип индикаторного прибора	ЭЛТ с электростатическим управлением	Жидкокристаллический индикатор	ЭЛТ с цветным изображением	Полупроводниковый индикатор	Жидкокристаллический индикатор	ЭЛТ с магнитным управлением	Вакуумный накаливаемый индикатор	Знаковый газоразрядный индикатор	ЭЛТ с электростатическим управлением	Жидкокристаллический индикатор

Методические рекомендации по решению задачи № 5

Для решения этой задачи изучите теоретический материал, который приведен ниже.

5.1. **Индикаторные приборы** предназначены для отображения информации, т.е. такие устройства преобразуют электрические сигналы в видеосигналы (визуальные сигналы). Индикаторные приборы используются в системах сбора и обработки информации, контрольно-измерительной аппаратуре, вычислительной технике и т.д.

В настоящее время наибольшее распространение получили следующие устройства отображения информации:

1. **Электронно-лучевые трубки (ЭЛТ)**, действие которых основано на формировании и управлении электронным потоком. Явление свечения в ЭЛТ возникает при бомбардировке электронным пучком экрана, на экран нанесен специальный люминесцентный слой.

2. **Знаковые газоразрядные индикаторы**, в которых используется свечение газа, вызванное приложенным к нему напряжением.
3. **Вакуумные накаливаемые индикаторы**, принцип действия которых основан на преобразовании электрической энергии в световой поток.
4. **Полупроводниковые индикаторы**, выполненные на основе светоизлучательных диодов, в которых электрическая энергия превращается в световую.
5. **Жидкокристаллические индикаторы (ЖКИ)**, работающие за счет изменения оптической плотности жидкого кристалла.
- 5.2. Рассмотрим устройство, принцип действия и область применения этих устройств.

Электронно-лучевые трубки (варианты 1,3, 6)

ЭЛТ классифицируются по назначению и способу управления электронным пучком.

По назначению ЭЛТ бывают: приемные, передающие, запоминающие. В качестве индикаторных приборов используют приемные трубки.

По способу управления электронным пучком ЭЛТ подразделяются на трубки с электростатическим и магнитным управлением.

ЭЛТ с электростатическим управлением используют в электронных осциллографах.

ЭЛТ с магнитным управлением используются в дисплеях, мониторах, телевизионных приемниках.

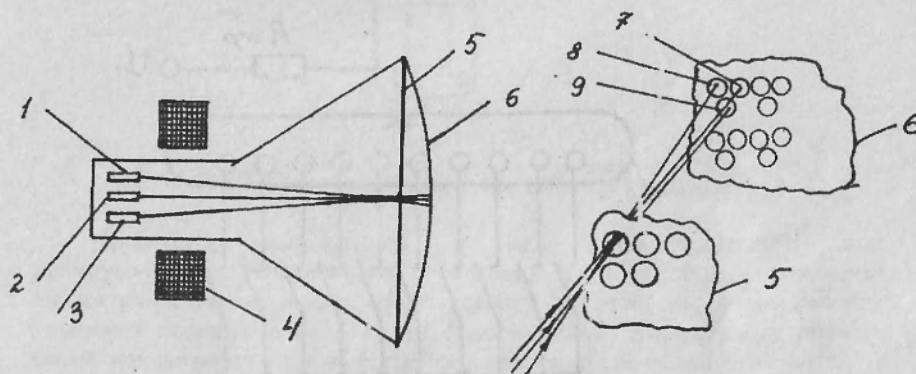
Устройство и принцип действия ЭЛТ рассмотрен в [3, с.72-75]. Поясняя устройство ЭЛТ, приведите УГО и поясните назначение электродов ЭЛТ. Укажите параметры, область применения и принцип маркировки ЭЛТ.

ЭЛТ с электростатическим и магнитным управлением заданы в вариантах 1, 6. В варианте 3 задана ЭЛТ с цветным изображением (рис.3).

Цветные изображения получаются суммированием изображений красного, зеленого и синего цветов. Изменяя относительную яркость каждого из них, можно изменять цвет воспринимаемого изображения. Конструкция ЭЛТ содержит три самостоятельные электронные пушки; сформированные этими пушками лучи сфокусированы на некотором расстоянии от экрана. В плоскости пересечения лучей расположена цветоотделительная маска – тонкая металлическая пластинка с большим числом отверстий, диаметр которых не превышает 0,25 мм.

Экран цветной ЭЛТ состоит из множества люминесцирующих ячеек, число которых равно числу отверстий маски. Ячейка составлена из трех

круглых элементов люминофора, светящихся красным, зеленым и синим цветами. Число люминесцирующих элементов экрана имеет порядок 10^5 . Пройдя через отверстие маски, электронные пучки расходятся. Расстояние между маской и экраном подобрано так, чтобы после прохождения отверстия маски электроны каждого пучка попадали на элементы экрана, светящиеся определенным цветом. Так как размеры этих элементов очень малы, на удалении от экрана человеческий глаз воспринимает суммарное свечение.



- 1,2,3 – электронная пушка для получения красного (1), зеленого (2) и синего (3) цветов;
 4 – отклоняющая система;
 5 – цветоотделительная маска;
 6 – экран;
 7 – синий луч;
 8 – красный луч;
 9 – зеленый луч.

Рис. 3. ЭЛТ с цветным изображением

Если на модуляторы всех трех электронных пушек подать равные напряжения, то получится белый цвет изображения. При синхронном изменении напряжений на модуляторах, можно получить все градации свечения экрана – от ярко-белого до черного. Поэтому цветные ЭЛТ могут воспроизводить и черно-белое изображение.

Знаковый газоразрядный индикатор (вариант 8)

5.4. Описывая заданный индикаторный прибор, не приводите дословно текста из рекомендованной литературы, но, изучив и усвоив необходимый материал, изложите ответ своими словами. Выполнив рисунок, обязательно приведите необходимые пояснения.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

Задача 1

1. Приведите структурную схему усилителя с заданными каскадами; на схеме укажите заданные напряжения.
2. Рассчитайте указанный коэффициент усиления.
3. Перечертите заданную характеристику, укажите ее название. Поясните физический смысл заданных качественных показателей и с помощью приведенной характеристики рассчитайте их.

Таблица 8

№ вари- анта	Состав струк- турной схемы	Параметры для расчета		Характери- стика	Показатели	
		$U_{вх ус}$	$U_{вых кпу}$			
1	КПУ, ПОК, ОК	$U_{вх ус} = 10 \text{ мВ}$ $U_{вых ус} = 0,5 \text{ В}$	$U_{вых кпу} = 100 \text{ мВ}$ $K_{кпу} - ?$	Прило- жение 3 Рис. 19	ДРЧ $M_f = 100 \text{ Гц}$	
2	2 КПУ, ОК	$U_{вх ус} = 20 \text{ мВ}$ $U_{вых кпу} = 500 \text{ мВ}$	$U_{вых ок} = 2 \text{ В}$ $K_{ус} - ?$	Прило- жение 3 Рис. 20	t_3 t_c	δ Δ
3	КПУ, 2 ПОК, ОК	$U_{вх ус} = 15 \text{ мВ}$ $U_{вх ок} = 3 \text{ В}$	$U_{вх пок} = 150 \text{ мВ}$ $U_{вых ок} = 4,5 \text{ В}$ $K_{пок} - ?$	Прило- жение 3 Рис. 21	D K	
4	3 КПУ, ПОК, ОК	$U_{вх ус} = 5 \text{ мВ}$ $U_{вых ус} = 6 \text{ В}$	$U_{вых кпу} = 1,5 \text{ В}$ $U_{вх ок} = 3 \text{ В}$ $K_{ок} - ?$	Прило- жение 3 Рис. 22	Φ_H Φ_B	
5	4 КПУ, ОК	$U_{вх ус} = 30 \text{ мВ}$ $U_{вых ус} = 15 \text{ В}$	$U_{вх ок} = 12 \text{ В}$ $K_{кпу} - ?$	Прило- жение 3 Рис. 23	D K	
6	КПУ, ОК	$U_{вх кпу} = 100 \text{ мВ}$ $U_{вых ок} = 10 \text{ В}$	$U_{вых кпу} = 7 \text{ В}$ $K_{ус} - ?$	Прило- жение 3 Рис. 24	ДРЧ $M_f = 400 \text{ кГц}$	
7	2 КПУ, ПОК, ОК	$U_{вх ус} = 12 \text{ мВ}$ $U_{вх пок} = 1,2 \text{ В}$	$U_{вых ус} = 5 \text{ В}$ $U_{вх ок} = 3,6 \text{ В}$ $K_{пок} - ?$	Прило- жение 3 Рис. 25	t_3 t_c	δ Δ
8	3 КПУ, ОК	$U_{вх ус} = 10 \text{ мВ}$ $U_{вых кпу} = 4 \text{ В}$	$U_{вых ус} = 6 \text{ В}$ $K_{ок} - ?$	Прило- жение 3 Рис. 26	Φ_H Φ_B	
9	2 КПУ, 2 ПОК, ОК	$U_{вх кпу} = 3 \text{ мВ}$ $U_{вх ок} = 3 \text{ В}$	$U_{вх пок} = 300 \text{ мВ}$ $U_{вых ус} = 4 \text{ В}$ $K_{пок} - ?$	Прило- жение 3 Рис. 27	ДРЧ $M_f = 12,8 \text{ кГц}$	
10	4 КПУ, ПОК, ОК	$U_{вх ус} = 2,5 \text{ мВ}$ $U_{вых кпу} = 2,5 \text{ В}$	$U_{вых ус} = 10 \text{ В}$ $K_{кпу} - ?$	Прило- жение 3 Рис. 28	D K	

СТР 124

Методические рекомендации по решению задачи 1

Для решения задачи изучите материал [1, с.220-249; 3, с.123-130; 140-141].

Приведите условие задачи и таблицу с Вашим вариантом задания.

1.1. Приведите структурную схему усилителя с заданными каскадами. Образец структурной схемы приведен в [3, с.124 рис.116]. Схема должна содержать, кроме заданных каскадов, **входное и выходное устройства, источник сигнала, нагрузку и источник питания**. На схеме укажите заданные напряжения на входе и выходе каскадов.

1.2 Рассчитайте указанный коэффициент усиления по заданным величинам напряжений. Учтите, что задано величин больше, чем требуется для расчета. Поэтому **выберите нужные величины напряжений, а затем выполните расчет**.

1.3 **Аккуратно, в точном соответствии с заданием**, перечертите характеристику из Приложения 3, укажите ее полное название. Поясните физический смысл заданных параметров, приведите формулы расчета этих параметров и с помощью заданной характеристики выполните их графо-аналитический расчет. Ниже приводятся пояснения расчетов.

Для вариантов 1,6, 9 задана АЧХ и расчет диапазона рабочих частот ДРЧ и коэффициента частотных искажений на заданной частоте M_{Γ} (рис.8).

ДРЧ – это диапазон частот, в котором коэффициент усиления K уменьшается не более, чем на 3 дБ, т.е. в 1,41 раза.

Поэтому на уровне $\frac{K_{CP}}{\sqrt{2}} \sim 0,7K_{CP}$ проводим вспомогательную

линию, параллельную оси f . Точки пересечения этой линии с АЧХ проецируем на ось f . Получаем искомый ДРЧ от нижней частоты $f_{Н}$ до верхней $f_{В}$

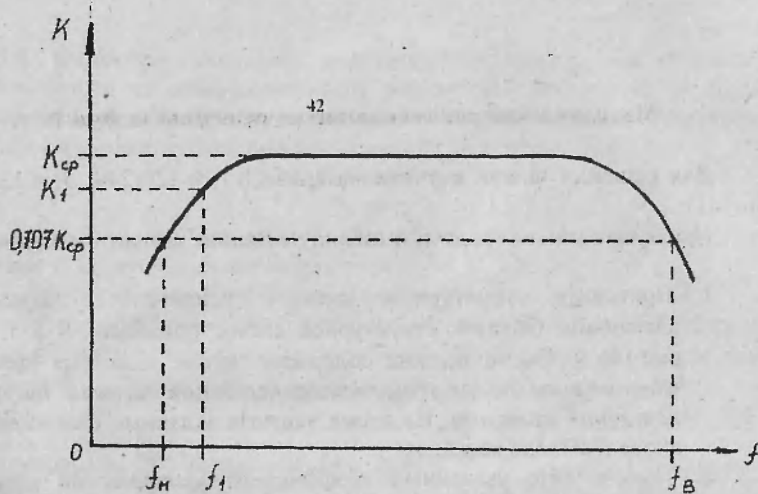


Рис. 8. Амплитудно-частотная характеристика усилителя
Коэффициент частотных искажений на частоте f_1 :

$$M_{f_1} = \frac{K_{cp}}{K_{f_1}}$$

На заданных характеристиках указаны численные значения K и f .
Поэтому параметры ДРЧ и M_f должны быть рассчитаны и выражены в
числовом виде.

Для вариантов 3,5, 10 задана АХ и расчет динамического диапазона
 D и коэффициента усиления K (рис.9)

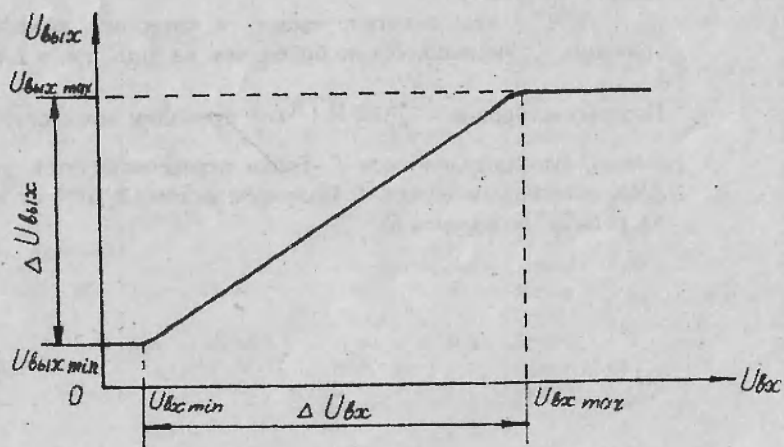


Рис. 9. Амплитудная характеристика усилителя

Динамический диапазон D соответствует прямолинейному участку АХ:

$$D = \frac{U_{BX \max}}{U_{BX \min}} \quad 20 \text{ дБ}$$

Коэффициент усиления по напряжению K определяется наклоном АХ и равен:

$$K = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{\Delta U_{ВХ}}$$

На заданных характеристиках указаны численные значения $U_{ВХ}$ $U_{ВЫХ}$. Поэтому параметры D и K должны быть рассчитаны и выражены в числовом виде.

Для вариантов 2, 4 задана ПХ и расчет времени задержки t_3 , времени среза t_c , выброса фронта δ , искажения плоской вершины импульса Δ (рис. 10).

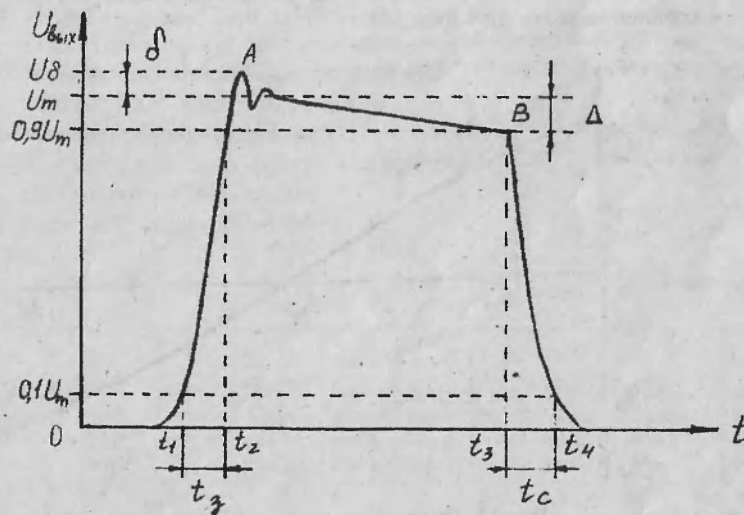


Рис. 10 Переходная характеристика усилителя

Отметим на оси $U_{\text{ВЫХ}}$ величины, соответствующие 0,9 и 0,1 от амплитуды импульса U_m и проведем вспомогательные линии, параллельные оси t . Точки пересечения этих линий с графиком ПХ спроецируем на ось t (как это показано на рис.10).

Время задержки t_1 — это время, за которое амплитуда выходного импульса достигает 0,9 своего амплитудного значения.

$$t_3 = t_2 - t_1$$

Время среза t_c — время, за которое амплитуда импульса достигает 0,1 своего амплитудного значения U_m .

$$t_c = t_4 - t_3$$

Спроецируем на ось напряжений точки А и В ПХ. Эти точки соответствуют выбросу фронта импульса δ и спаду вершины импульса Δ :

$$\delta = U_\delta - U_m; \quad \Delta = U_m - U_\Delta.$$

На заданной характеристике указаны численные значения $U_{\text{ВЫХ}}$ и t . Поэтому параметры t_3 , t_c , δ и Δ должны быть рассчитаны и выражены в **числовом виде**.

Для вариантов 4, 8 задана ФЧХ и параметры φ_H и φ_B — угол сдвига фаз между выходным и входным напряжением соответственно на нижней и верхней частоте ДРЧ (рис.11).

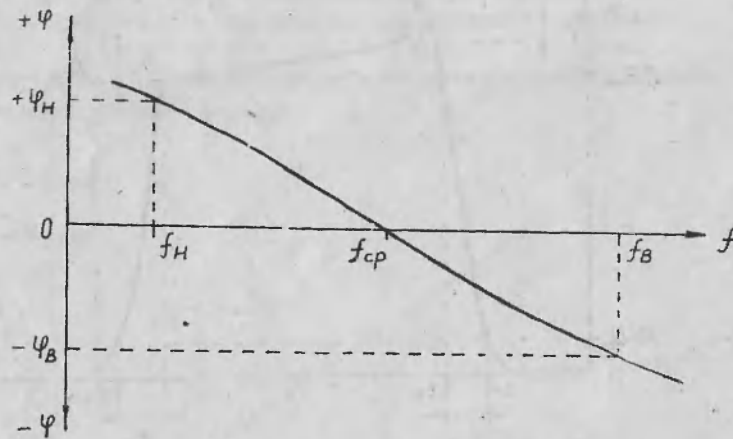


Рис.11. Фазо-частотная характеристика усилителя

Спроецируем точки f_{1z} и f_{1z} на ФЧХ, получим точки А и В. Точки А и В спроецируем на ось φ .

Угол *сдвига фаз между входным и выходным напряжением на нижней частоте ДРЧ* φ_{1z} .

Угол *сдвига фаз между входным и выходным напряжением на верхней частоте ДРЧ* φ_{2z} .

На заданных характеристиках указаны численные значения φ и f . Поэтому значения параметров должны быть выражены в *числовом виде*.

Задача 2

1. Перечертите из Приложения 4 схему усилителя в соответствии со своим вариантом.
2. Найдите на заданной схеме все цепи местной и общей обратной связи, укажите элементы этих цепей.
3. Дайте характеристику заданной цепи обратной связи по плану:
 - по знаку;
 - по частотной зависимости;
 - по типу передаваемого сигнала;
 - по способу введения;
 - по способу снятия.
4. Поясните, как действует эта обратная связь на показатели усилителя:
 - на величину коэффициента усиления;
 - на линейные: частотные и фазовые искажения;
 - на нелинейные искажения;
 - на стабильность коэффициента усиления;
 - на входное сопротивление;
 - на выходное сопротивление.

Таблица 9

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Схема усилителя	Приложение 4 Рис. 29	Приложение 4 Рис. 29	Приложение 4 Рис. 30	Приложение 4 Рис. 30	Приложение 4 Рис. 31	Приложение 4 Рис. 31	Приложение 4 Рис. 32	Приложение 4 Рис. 32	Приложение 4 Рис. 33	Приложение 4 Рис. 33
ЦОС	R3	R4, C4	R1	R4, R5, C2, C3, C4	R4	R3, C2, C3	R2	R5, C2	R4, R5, C3	R6; R10; C4, C5

Методические рекомендации по решению задачи 2

Для решения задачи изучите материал [1, с.250-264; 3, с.82-88].

Приведите условие задачи и таблицу с Вашим вариантом задания.

2.1. Аккуратно, в соответствии со стандартом перерисуйте схему усилителя, соответствующую Вашему варианту.

2.2. Найдите на приведенной схеме все цепи обратной связи (ЦОС), укажите элементы каждой из них. Ответ следует привести в виде:

1 ЦОС - R1, C1, R2 - общая

2 ЦОС - R3, C2 - местная

3 ЦОС - R5 - местная

и т.д.

Здесь позиционные обозначения элементов ЦОС приведены как пример. В каждом варианте *элементы ЦОС должны соответствовать данной конкретной схеме.*

2.3. Давая характеристику ЦОС, сначала определите знак обратной связи – *положительная или отрицательная.*

Для этого сначала проследите фазу сигнала от входа усилителя до выхода ЦОС. Прослеживая фазу сигнала, учитывайте, что схема с ОЭ изменяет фазу сигнала на противоположную, а схемы с ОК и ОБ сохраняют фазу сигнала. Далее следует сравнить фазу сигнала на входе усилителя и выходе ЦОС. Если фазы совпадают, ОС – положительная, если фазы противоположные, ОС – отрицательная.

Частотно-зависимая ОС – ОС, коэффициент передачи которой зависит от частоты. В этом случае ЦОС должна содержать частотно-зависимые элементы (емкости, индуктивности). Если ЦОС не содержит подобных элементов, *коэффициент передачи ОС не зависит от частоты и ОС называется частотно-независимой.*

Если по ЦОС может пройти лишь переменная составляющая сигнала, то такую *ОС называют по переменной составляющей.*

Если по ЦОС протекает только *постоянная* составляющая, то это *ОС по постоянной составляющей.*

Если же по ЦОС могут пройти и *постоянная и переменная* составляющие, то ОС называют *по обеим составляющим.*

Если вход усилителя и выход ЦОС имеют две общие точки, то это *параллельная ОС.* Если вход усилителя и выход ЦОС имеют одну общую точку, то это *последовательная ОС.*

Если выход усилителя и вход ЦОС имеют *две* общие точки, то это *ОС по напряжению.* Если выход усилителя и вход ЦОС имеют *одну* общую точку, то это *ОС по току.*

Давая характеристику ЦОС, обязательно *поясните свои утверждения.*

2.4. Ответ на четвертый вопрос приведите в виде таблицы. (см. табл. 10).

Таблица 10

Параметр усилителя	Изменение параметра при введении ОС
Величина коэффициента усиления	
Стабильность коэффициента усиления	
Частотные искажения	
ДРЧ	
Фазовые искажения	
Нелинейные искажения	
K_T	
Входное сопротивление	
Выходное сопротивление	

Чтобы заполнить эту таблицу, обратитесь к [3, с.86-88].

Операционный усилитель **Задача 3**

1. Укажите назначение операционного усилителя (ОУ) и его преимущества.
2. Приведите схему на операционном усилителе, выполняющую заданную функцию, поясните назначение элементов схемы.
3. Рассчитайте элементы схемы и значение выходного сигнала (для вариантов 2,4, 6,8, 10); рассчитайте элементы схемы и постройте ее АЧХ (для вариантов 1, 3, 5, 7, 9).

Таблица 11

№ варианта	Назначение схемы	Данные для расчета элементов схемы
1	Активный фильтр низких частот	$f_{CP} = 1 \text{ кГц}$ $K_{ФНЧ} = 100$ $R_{ИС} = 1 \text{ кОм}$
2	Инвертирующий усилитель	$U_{ВХ} = 10 \text{ мВ}$ $K = 250$ $R_{ИС} = 800 \text{ Ом}$
3	Активный фильтр высоких частот	$f_{CP} = 1 \text{ кГц}$ $K_{ФВЧ} = 50$ $R_{ИС} = 2 \text{ кОм}$
4	Неинвертирующий усилитель	$U_{ВХ} = 50 \text{ мВ}$ $K = 125$ $R_{ИС} = 1,8 \text{ кОм}$
5	Активный фильтр высоких частот	$f_{CP} = 3 \text{ кГц}$ $K_{ФВЧ} = 80$ $R_{ИС} = 1,1 \text{ кОм}$
6	Инвертирующий сумматор трех сигналов без усиления суммарного сигнала	$U_{ВХ1} = 10 \text{ мВ}$ $U_{ВХ2} = 7 \text{ мВ}$ $U_{ВХ3} = 5 \text{ мВ}$ $R_{ИС1} = R_{ИС2} = R_{ИС3} = 1 \text{ кОм}$
7	Активный фильтр высоких частот	$f_{CP} = 2 \text{ кГц}$ $K_{ФВЧ} = 60$ $R_{ИС} = 1,5 \text{ кОм}$
8	Вычитающий усилитель	$U_{ВХ1} = 50 \text{ мВ}$ $U_{ВХ2} = 70 \text{ мВ}$ $K = 150$ $R_{ИС1} = R_{ИС2} = 820 \text{ Ом}$
9	Активный фильтр низких частот	$f_{CP} = 1,5 \text{ кГц}$ $K_{ФНЧ} = 90$ $R_{ИС} = 1,2 \text{ кОм}$
10	Вычитающий усилитель	$U_{ВХ1} = 45 \text{ мВ}$ $U_{ВХ2} = 10 \text{ мВ}$ $K = 40$ $R_{ИС1} = R_{ИС2} = 2 \text{ кОм}$

Методические рекомендации по решению задачи 3

Для решения задачи изучите материал [1, с.443-464; 3, с.166-175].

Приведите условие задачи и таблицу с Вашим вариантом задания.

3.1. Для ответа на первый вопрос задания обратитесь к [3, с.166].

3.2. Схему заданного устройства выберите из Приложения 5. Перечертите схему и укажите назначение ее элементов.

В схеме *инвертирующего усилителя*:

R1 – согласует инвертирующий вход ОУ с источником сигнала;

R_{св} - задает коэффициент усиления схемы;

R2 –уравновешивает неинвертирующий вход ОУ.

В схеме *неинвертирующего усилителя*

R1- уравновешивает инвертирующий вход ОУ

R2- согласует неинвертирующий вход ОУ с источником сигнала;

R_{св} - задает коэффициент усиления схемы.

В схеме *вычитающего усилителя*:

R1 – согласует инвертирующий вход ОУ с источником сигнала 1;

R2- согласует неинвертирующий вход ОУ с источником сигнала 2;

R_{св} - задает коэффициент усиления схемы.

В схеме *сумматора*:

R1 – согласует инвертирующий вход ОУ с источником сигнала 1;

R2- согласует инвертирующий вход ОУ с источником сигнала 2;

R3 – согласует инвертирующий вход ОУ с источником сигнала 3;

R_{св} - задает коэффициент передачи схемы.

В схеме *активного фильтра низких частот*:

R2 – согласует неинвертирующий вход ОУ с источником сигнала;

R1 и R_{св} - задают коэффициент усиления схемы;

R_{св}, C_{св} - определяют частоту среза фильтра.

В схеме *активного фильтра высоких частот*:

R2 – согласует неинвертирующий вход ОУ с источником сигнала;

R1 и R_{св} - задают коэффициент усиления схемы;

R_{св}, R1, C_{св} - определяют частоту среза фильтра.

3.3. Расчет схем на ОУ довольно прост.

Расчет элементов схемы *инвертирующего усилителя (вариант 2)* производится следующим образом.

Величина сопротивления R_1 выбирается равной сопротивлению источника сигнала, чтобы на входе ОУ соблюдалось условие согласования.

Значит: $R_1 = R_{ис}$.

Коэффициент передачи схемы по инвертирующему входу:

$$K_{(-)} = \frac{R_{св}}{R_1}$$

Отсюда:

$$R_{св} = K_{(-)} \cdot R_1$$

Величина сопротивления R_2 должна быть равна сопротивлению на инвертирующем входе ОУ:

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_{св}}{R_1 + R_{св}} \approx R_1$$

Значение выходного напряжения: $U_{вых} = U_{вх} \cdot K_{(-)}$

Расчет элементов схемы *неинвертирующего усилителя (вариант 4)* производится следующим образом.

Чтобы согласовать неинвертирующий вход ОУ с источником сигнала, выбираем

$$R_2 = R_{ис}$$

Коэффициент передачи схемы по неинвертирующему входу:

$$K_{(+)} = \frac{R_{св}}{R_1} + 1$$

Отсюда: $R_{св} = (K_{(+)} - 1) \cdot R_1$.

Величина сопротивления R_1 должна быть равна сопротивлению на неинвертирующем входе ОУ; поэтому выбираем $R_1 \approx R_2$.

Значение выходного напряжения:

$$U_{вых} = U_{вх} \cdot K_{(+)}$$

Расчет элементов схемы *вычитающего усилителя (варианты 8 и 10)* производится следующим образом.

Чтобы согласовать инвертирующий вход ОУ с источником сигнала 1, выбирается:

$$R_1 = R_{ис1}$$

Чтобы согласовать неинвертирующий вход ОУ с источником сигнала 2, выбирается:

$$R_2 = R_{ис2}$$

Коэффициент передачи вычитающего усилителя :

$$K = \frac{R_{CB}}{R1}$$

Отсюда: $R_{CB} = K \cdot R1$.

Сопротивление $R3$ должно уравновешивать неинвертирующий вход ОУ и должно быть равно сопротивлению на инвертирующем входе ОУ:

$$R3 = \frac{R1 \cdot R_{CB}}{R1 + R_{CB}} \approx R1$$

Значение выходного напряжения:

$$U_{ВЫХ} = K (U_{ВХ2} - U_{ВХ1})$$

Расчет элементов схемы *сумматора (вариант 6)* производится следующим образом.

Чтобы согласовать инвертирующий вход ОУ с источником сигнала, выбираем:

$$R1 = R_{ИС1}$$

$$R2 = R_{ИС2}$$

$$R3 = R_{ИС3}$$

Коэффициент передачи сумматора первого, второго, третьего сигналов:

$$K1 = \frac{R_{CB}}{R1}$$

$$K2 = \frac{R_{CB}}{R2}$$

$$K3 = \frac{R_{CB}}{R3}$$

Так как в задании требуется сложить сигналы без усиления, т.е. с масштабным коэффициентом 1, то

$$R1 = R2 = R3 \quad \text{и} \quad K1 = K2 = K3 = 1.$$

Значение выходного сигнала:

$$U_{\text{ВЫХ}} = K1 \cdot U_{\text{ВХ1}} + K2 \cdot U_{\text{ВХ2}} + K3 \cdot U_{\text{ВХ3}}$$

Расчет элементов схемы активного фильтра низких частот (варианты 1 и 9) производится следующим образом.

Чтобы согласовать инвертирующий вход ОУ с источником сигнала, выбираем величину входного сопротивления:

$$R2 = R_{\text{ИС}}$$

Коэффициент передачи фильтра НЧ

$$K_{\text{ФНЧ}} = \frac{R_{\text{СВ}}}{R1}$$

Величину сопротивления R1 выбираем от 1 до 3 кОм.

Тогда $R_{\text{СВ}} = K_{\text{ФНЧ}} \cdot R1$.

Для расчета емкости $C_{\text{СВ}}$ сначала следует рассчитать круговую частоту среза:

$$\omega_{\text{СР}} = 2 \pi f_{\text{СР}}$$

Частота среза определяется цепочкой $R_{\text{СВ}}$, $C_{\text{СВ}}$ и равна:

$$\omega_{\text{СР}} = \frac{1}{R_{\text{СВ}} \cdot C_{\text{СВ}}}$$

Отсюда:

$$C_{\text{СВ}} = \frac{1}{\omega_{\text{СР}} \cdot R_{\text{СВ}}}$$

Рассчитываем частоту ω_0 , на которой $K_{\text{ФНЧ}}$ падает до нуля:

$$\omega_0 = \frac{R2 + R_{\text{СВ}}}{R2 \cdot R_{\text{СВ}} \cdot C_{\text{СВ}}}$$

Чтобы построить амплитудно-частотную характеристику фильтра НЧ, надо отложить численные значения K и ω в соответствии с данными расчета своего варианта, причем на оси ω значения откладываются в *логарифмическом масштабе*.

На рис. 12 приведен пример АЧХ ФНЧ. Вам следует построить АЧХ фильтра в соответствии с результатом расчета.

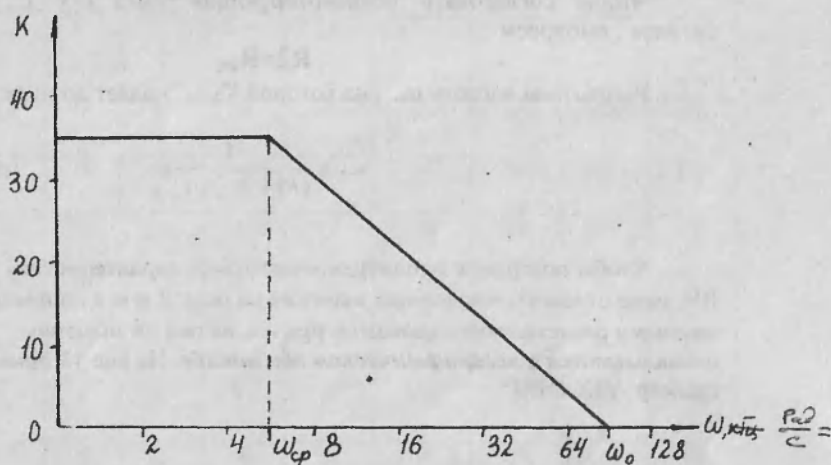


Рис. 12. Амплитудно-частотная характеристика ФНЧ

Расчет элементов схемы активного фильтра высоких частот (*варианты 3, 5, 7*) производится следующим образом.

Зададимся величиной сопротивления R_1 от 1 до 3 кОм.

Коэффициент передачи ФВЧ:

$$K_{ФВЧ} = \frac{R_{СВ}}{R_1} + 1.$$

Отсюда: $R_{СВ} = (K_{ФВЧ} - 1) \cdot R_1$.

Для расчета емкости $C_{СВ}$ сначала рассчитаем круговую частоту среза:

$$\omega_{СР} = 2 \pi f_{СР}.$$

Частота среза определяется цепочкой $R_{ВХ1}, C_{СВ}, R_{СВ}$:

Отсюда:

$$\omega_{CP} = \frac{1}{R1 \cdot C_{CB}}$$

$$C_{CB} = \frac{1}{R1 \cdot \omega_{CP}}$$

Чтобы согласовать неинвертирующий вход ОУ с источником сигнала, выбираем:

$$R2 = R_{ИС}$$

Рассчитаем частоту ω_0 , на которой $K_{ФВЧ}$ падает до нуля:

$$\omega_0 = \frac{1}{(R1 + R_{CB}) \cdot C_{CB}}$$

Чтобы построить амплитудно-частотную характеристику фильтра ВЧ, надо отложить численные значения на осях K и ω в соответствии с данными расчета своего варианта, причем на оси ω значения откладываются в *логарифмическом масштабе*. На рис.13 приведен пример АЧХ ФВЧ.

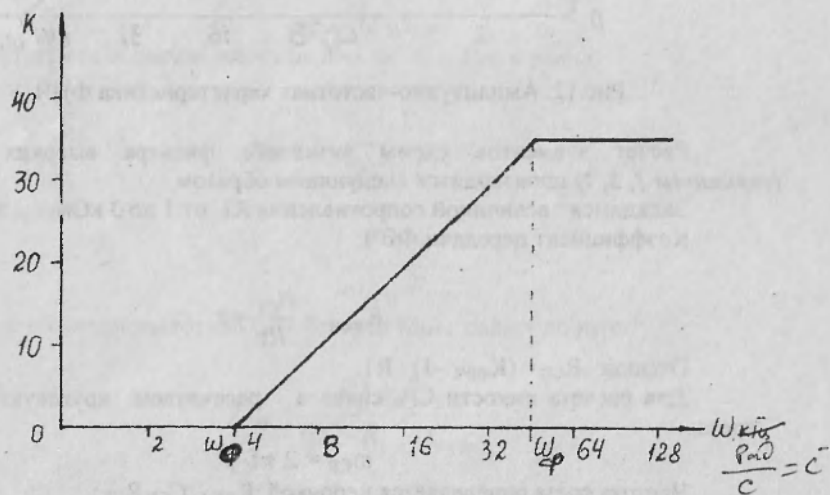


Рис.13 Амплитудно-частотная характеристика ФВЧ

Задача 4

Рассчитать каскад предварительного усиления по напряжению на биполярном транзисторе, включенном с общим эмиттером, с последовательной отрицательной обратной связью по току. Схема усилительного каскада приведена на рис.14. Данные для расчета приведены в табл. 12.

Таблица 12

№ варианта	Тип и структура транзистора	$E_k, В$	$K_{оос}$	$F_H, Гц$	$R_H, кОм$	$I_{K, max} доп., мА$	$h_{21эmin}$	$h_{21эmax}$	$\Gamma_6, Ом$
1	КТ 312А п-р-п	15	10	75	10	30	10	100	100
2	КТ 312В п-р-п	18	12	50	10	30	50	280	100
3	КТ 315Б п-р-п	10	9,5	100	9,1	100	50	350	70
4	КТ 315В п-р-п	20	13	60	15	100	20	90	70
5	ГТ 320А р-п-р	10	8,6	70	8,2	150	20	80	70
6	ГТ 320Б р-п-р	9	9	55	10	150	50	160	70
7	КТ 350А р-п-р	12	11	80	8,2	100	20	200	50
8	КТ 373А п-р-п	20	15	90	15	50	100	250	50
9	КТ 373Г п-р-п	30	11	65	20	50	50	125	50
10	КТ 208Е р-п-р	15	10	40	16	30	80	240	50

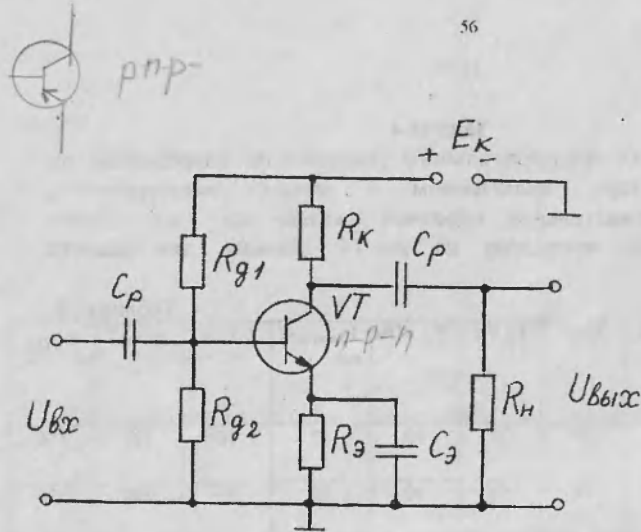


Рис.14. Принципиальная схема резистивного усиления напряжения

Методические рекомендации по решению задачи 4

Для решения задачи изучите материал [1, с.297 - 310].

Приведите условие задачи и таблицу с данными своего варианта.

4.1. В условии задачи заданы: тип транзистора, напряжение питания E_K , коэффициент усиления каскада, охваченного отрицательной обратной связью K_{OCC} , нижняя частота спектра усиливаемого сигнала $f_{Н}$, сопротивление нагрузки каскада R_H , приведены данные транзистора: максимально допустимый ток на коллекторе $I_{K\max}$, максимальное и минимальные значения коэффициента передачи $h_{21Э\max}$ и $h_{21Э\min}$, входное сопротивление $r_б$

Требуется рассчитать: значения элементов схемы и данные рабочего режима транзистора.

4.2. Рассчитайте элементы схемы по приведенной методике.

1. Рассчитайте сопротивление резистора нагрузки транзистора R_K

$$R_K = \frac{E_K}{I_{K\max}} \cdot \text{где } \begin{matrix} \text{выбравшие по таблице} \\ \text{данные в расчётах} \end{matrix}$$

E_K – напряжение питания транзистора;

$I_{K\max}$ – максимальное значение тока коллектора.

$$I_{K\max} = K_3 \cdot I_{K\max\text{ доп.}} \text{ где}$$

K_3 - коэффициент запаса по току I_K . Обычно $K_3 = 0,7 \dots 0,8$.

Примем $K_3 = 0,75$.

Величины $I_{K \max}$ ДОП и E_K выбирается из табл. 12.

Рассчитав R_K , **выберите его стандартное значение** по табл. 16.

Приложения 7.

2. Теперь рассчитайте сопротивление резистора **эмиттерной стабилизации режима работы транзистора R_3 , являющийся элементом цепи ООС.**

Требуемая стабилизация режима работы достигается, если:

$$R_3 \approx 0,1 R_K$$

Рассчитав R_3 , **выберите его стандартное значение.**

3. Рассчитайте эквивалентное сопротивление делителя напряжения $R_{ДЕЛ}$

Делитель создает на базе транзистора напряжение смещения и участвует в стабилизации режима работы.

$$R_{ДЕЛ} = R_3 (S_i - 1), \text{ где}$$

S_i - коэффициент нестабильности.

В реальных схемах усилителя:

$$S_i = 2 \dots 5.$$

Примем среднее значение коэффициента

$$S_i = 3,5.$$

4. Определите параметры рабочего режима транзистора.

Для этого сначала рассчитайте минимальное значение коллекторного тока $I_{K \min}$ (максимальное значение $I_{K \max}$ уже рассчитано), минимальное и максимальные значения коллекторного напряжения: $U_{KЭ \min}$ и $U_{KЭ \max}$.

Минимальное значение выходного коллекторного тока

$$I_{K \min} = 0,1 \cdot I_{K \max}$$

Максимальное значение выходного коллекторного напряжения:

$$U_{KЭ \max} = \left(\frac{E_K}{R_K} - I_{K \min} \right) \cdot \frac{R_K R_H}{R_K + R_H}, \text{ где}$$

R_H - сопротивление нагрузки каскада, берется из табл. 12.

Минимальное значение выходного коллекторного напряжения:

$$U_{KЭ \min} = \frac{E_K \cdot R_3}{R_K + R_3} + U_{KЭ \text{нас}}, \text{ где}$$

$U_{KЭНАС}$ – напряжение насыщения биполярного транзистора.

Для *кремниевых* транзисторов $U_{KЭНАС} \approx 0,8$ В.

Для *германиевых* транзисторов $U_{KЭНАС} \approx 0,5$ В.

Теперь можно рассчитать параметры рабочего режима транзистора:

$U_{KЭРТ}$, $I_{KРТ}$, $U_{БЭРТ}$, $I_{БРТ}$

Выходное напряжение – напряжение на коллекторе в рабочей точке:

$$U_{KЭРТ} = \frac{U_{KЭ\max} + U_{KЭ\min}}{2}$$

Выходной ток – ток коллектора в рабочей точке:

$$I_{KРТ} = \frac{E_k - U_{KЭРТ}}{R_k} \cdot \frac{U_{KЭРТ}}{R_{II}}$$

Входной ток – ток базы в рабочей точке:

$$I_{БРТ} = \frac{I_{KРТ}}{h_{21Э}}, \text{ где}$$

$h_{21Э}$ – среднегеометрическое значение коэффициента передачи тока транзистора:

$$h_{21Э} = \sqrt{h_{21Э\min} \cdot h_{21Э\max}}, \text{ где}$$

$h_{21Э\min}$ и $h_{21Э\max}$ – минимальное и максимальное значения коэффициента передачи тока. Эти величины берутся из табл. 12.

Входное напряжение – напряжение на базе транзистора в рабочей точке:

$$U_{БЭРТ} = R_{Э} (I_{KРТ} + I_{БРТ}) + U_{БЭ0} + r_{Б} \cdot I_{БРТ}, \text{ где}$$

$U_{БЭ0}$ – пороговое напряжение биполярного транзистора.

Для *кремниевых* транзисторов $U_{БЭ0} \approx 0,7$ В.

Для *германиевых* транзисторов $U_{БЭ0} \approx 0,4$ В, $r_{Б}$ – входное сопротивление транзистора, берется из табл. 12.

5. Рассчитайте сопротивления резисторов делителя $R_{Д1}$ и $R_{Д2}$

Эквивалентное сопротивление делителя:

$$R_{ДЕЛ} = \frac{R_{Д1} \cdot R_{Д2}}{R_{Д1} + R_{Д2}}$$

Входное сопротивление усилительного каскада определяется сопротивлением делителя.

Поэтому: $R_{ВХ} \approx R_{ДЕЛ}$

Напряжение на эмиттере транзистора в рабочей точке:

$$U_{ЭРТ} = U_{БЭРТ} + R_{ДЕЛ} \cdot I_{БРТ}$$

В то же время:

$$U_{\text{ЭПТ}} = \frac{E_K \cdot R_{\text{O2}}}{R_{\text{D1}} + R_{\text{O2}}}$$

Отсюда:

$$R_{\text{D2}} = \frac{R_{\text{ДЕЛ}} \cdot U_{\text{ЭПТ}} \left(1 + \frac{E_K - U_{\text{ЭПТ}}}{U_{\text{ЭПТ}}}\right)}{E_K - U_{\text{ЭПТ}}}$$

$$R_{\text{D1}} = R_{\text{D2}} \cdot \frac{(E_K - U_{\text{ЭПТ}})}{U_{\text{ЭПТ}}}$$

Рассчитав R_{D1} и R_{D2} , выберите их стандартные значения.

6. Значение емкости разделительного конденсатора C_P определяется, исходя из значения нижней частоты диапазона усиливаемого сигнала f_H

$$C_P = \frac{1}{2\pi f_H (R_K + R_H)}$$

Значение f_H берется из табл. 12.

7. Рассчитайте емкость блокировочного конденсатора C_3 . Назначение этого конденсатора – устранить отрицательную обратную связь по переменному току. Поэтому переменная составляющая тока в цепи эмиттера не должна протекать по цепи ООС, т.е. через R_3 . А для этого необходимо, чтобы сопротивление блокировочного конденсатора C_3 , включенного параллельно R_3 , для переменного тока было гораздо меньше R_3 . Кроме того, конденсатор C_3 не должен вносить заметных частотных искажений

$$C_3 = \frac{5}{\pi f_H \cdot R_3}$$

Рассчитав C_P и C_3 выберите их стандартные значения.

8. Выполните проверочный расчет коэффициента усиления каскада .

$$K_{\text{ООС}} = h_{21 \text{ Э}} \cdot R_K / (2 R_{\text{ДЕЛ}} + h_{21 \text{ Э}} \cdot R_3)$$

Если получившийся коэффициент кажется меньше заданного, следует увеличить R_K и еще раз рассчитать $K_{\text{ООС}}$. Величина $K_{\text{ООС}}$ должна быть приблизительно равна заданной.

Задача 5

1. Приведите схему автоколебательного мультивибратора и укажите его назначение.
2. Рассчитайте длительность импульсов $t_{и1}$, $t_{и2}$ и $t_{п1}$, $t_{п2}$ период следования импульсов T и частоту следования импульсов f .
3. Постройте временные диаграммы выходных сигналов $U_{K1} = f(t)$ и $U_{K2} = f(t)$ в соответствии с расчетом.

Таблица 13

№ варианта	Параметры схемы
1	$R_{K1}=100 \text{ Ом}; R_{K2}=82 \text{ Ом}; R1=2 \text{ кОм}; R2=3 \text{ кОм};$ $C1=C2=10 \text{ нФ}; E=15 \text{ В}$
2	$R_{K1}=R_{K2}=200 \text{ Ом}; C1=C2=2 \text{ нФ}; R1=R2=20 \text{ кОм};$ $E=10 \text{ В}$
3	$R_{K1}=510 \text{ Ом}; R_{K2}=720 \text{ Ом}; R1=7,5 \text{ кОм}; R2=20 \text{ кОм};$ $C1=4,3 \text{ нФ}; C2=2,4 \text{ нФ}; E=9 \text{ В}$
4	$R_{K1}=91 \text{ Ом}; R_{K2}=68 \text{ Ом}; R1=3,6 \text{ кОм}; R2=4,7 \text{ кОм};$ $C1=1,3 \text{ нФ}; C2=1,1 \text{ нФ}; E=20 \text{ В}$
5	$R1=R2=3,3 \text{ кОм}; C1=C2=10 \text{ нФ}; E=12 \text{ В}$ $R_{K1}=R_{K2}=51 \text{ Ом}$
6	$R1=15 \text{ кОм}; R2=22 \text{ кОм}; C1=C2=270 \text{ нФ}$ $R_{K1}=1,2 \text{ кОм}; R_{K2}=2 \text{ кОм}; E=16 \text{ В}$
7	$R1=R2=15 \text{ кОм}; C1=150 \text{ пФ}; C2=300 \text{ пФ}$ $R_{K1}=220 \text{ Ом}; R_{K2}=330 \text{ Ом}; E=18 \text{ В}$
8	$R1=47 \text{ кОм}; R2=30 \text{ кОм}; C1=C2=100 \text{ пФ};$ $R_{K1}=R_{K2}=560 \text{ Ом}; E=16 \text{ В}$
9	$R1=R2=9,1 \text{ кОм}; C1=C2=510 \text{ пФ};$ $R_{K1}=R_{K2}=820 \text{ Ом}; E=15 \text{ В}$
10	$R1=R2=16 \text{ кОм}; R_{K1}=R_{K2}=360 \text{ Ом}$ $C1=620 \text{ пФ}; C2=200 \text{ пФ}; E=12 \text{ В}$

Методические рекомендации по решению задачи 5

Для решения задачи изучите материал [3, с.106-108].

Приведите условие задачи и таблицу с Вашим вариантом задания.

5.1. Приведите схему автоколебательного мультивибратора и укажите его назначение. Для этого обратитесь к [3, с.106, рис.105].

5.2. Рассчитайте *длительность импульсов* $t_{и1}$ и $t_{и2}$ по формулам:

$$t_{и1} \approx 0,7C1 \cdot R1, \quad t_{и2} \approx 0,7C2 \cdot R2.$$

Длительность фронта определяется временем заряда емкости и определяется по формулам:

$$t_{\Phi 1} \cong 2,5 R_{K1} \cdot C2; t_{\Phi 2} \cong 2,5 R_{K2} \cdot C1.$$

В табл. 13 указаны значения элементов. Позиционные обозначения элементов соответствует схеме на рис.105 [3].

Рассчитайте *период следования* импульсов:

$$T = t_{H1} + t_{H2}.$$

Рассчитайте *частоту следования* импульсов:

$$f = \frac{1}{T}.$$

Рассчитайте *амплитуду* импульсов:

$$U_{im} \cong (0,7 \dots 0,9) E. = 0,8 E$$

Если $t_{H1} = t_{H2}$ и $t_{\Phi 1} = t_{\Phi 2}$ мультивибратор называется *симметричным*.

5.3. Постройте *временные диаграммы* входных сигналов:

$U_{K1} = f(t)$ и $U_{K2} = f(t)$. Для этого обратитесь к [3, с.107, рис.106].

При построении графиков проградуируйте оси t и U_K . Отложенные значения t_{H1} и t_{H2} , $t_{\Phi 1}$ и $t_{\Phi 2}$, T и U_{im} должны соответствовать расчетам.

Пример подобного графика приведен на рис. 15.

Пусть по расчетам получилось:

$$t_{H1} = 8 \text{ мкс}; \quad t_{H2} = 12 \text{ мкс}$$

$$t_{\Phi 1} = 1 \text{ мкс}; \quad t_{\Phi 2} = 2 \text{ мкс}$$

$$U_{im} = 6 \text{ В.}$$

По этим результатам строим временные диаграммы ^{в масштабе} выходных сигналов автоколебательного мультивибратора.

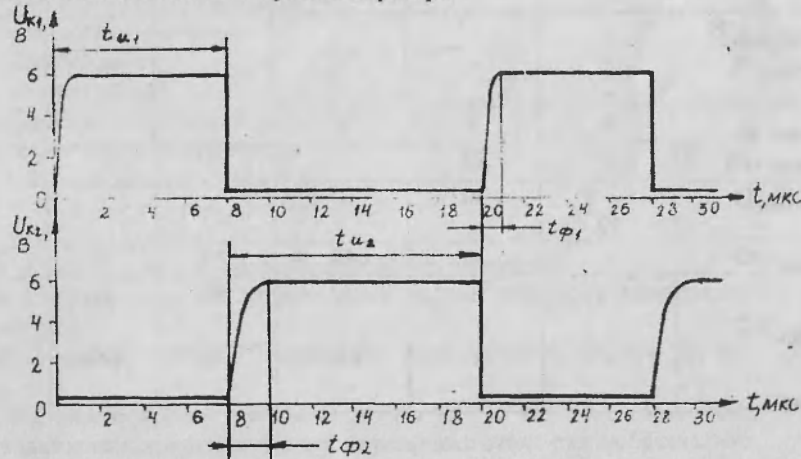


Рис. 15. Временные диаграммы работы мультивибратора

Приложение I

Таблица 14

I.1.

Параметры	Тип диода					
	2D212A	2D217A	2D213A	2D216A	KC510A	KC515A
$U_{OBR \max}$, В	200	100	200	100	-	-
$I_{IPR \max}$, А	1	3	10	10	-	-
$I_{CT \min}$, мА	-	-	-	-	1	1
$I_{CT \max}$, МА	-	-	-	-	79	53
$U_{CT \text{ тип}}$, В	-	-	-	-	10	15
C_{\min} , пФ	-	-	-	-	-	-
C_{\max} , пФ	-	-	-	-	-	-
Q_{\min}	-	-	-	-	-	-

Продолжение табл. 14

Параметры	Тип диода					
	KC522A	KC530A	KB103A	KB106A	KB106B	KB103B
$U_{OBR \max}$, В	-	-	-	-	-	-
$I_{IPR \max}$, А	-	-	-	-	-	-
$I_{CT \min}$, мА	1	1	-	-	-	-
$I_{CT \max}$, МА	37	27	-	-	-	-
$U_{CT \text{ тип}}$, В	22	30	-	-	-	-
C_{\min} , пФ	-	-	18	20	15	28
			32	50	35	48
C_{\max} , пФ						
Q_{\min}	-	-	150	150	150	150

1.2. В основу системы обозначений полупроводниковых диодов положен буквенно-цифровой код.

1-й элемент – буква исходный полупроводниковый материал.

Г и 1 – германий или его соединения;

✓ К и 2 – кремний или его соединения;

А и 3 – соединения галлия и т.д.

2-ой элемент – буква – определяет подкласс диодов по их назначению.

✓ Д – выпрямительные и импульсные;

В – варикапы;

И – туннельные диоды;

С – стабилитроны;

Ц – выпрямительные столбы и блоки и т.д.

3-ий элемент – цифра – определяет основные функциональные возможности. Для различных подклассов эта цифра означает свои индивидуальные особенности:

подкласс Д (выпрямительные и импульсные):

1- малой мощности;

✓ 2- большой мощности;

4, 5, 6, 7, 8, 9 – для импульсных диодов;

подкласс В (варикапы):

1 – подстроечный варикап;

2 – умножительные варикапы

подкласс И (туннельные):

1– усилительные;

2– генераторные;

3 – переключательные и т.д;

подкласс С (стабилитроны):

1, 2, 3, - с мощностью до 0,3 Вт;

4, 5, 6 - с мощностью до 5 Вт;

7, 8, 9- с мощностью до 10 Вт.

4-й элемент - число – порядковый номер разработки.

Для стабилитрона 4-й элемент (две цифры) означают напряжение стабилизации.

5-й элемент – буква – определяет разновидность диодов данной серии.

В настоящее время используется цветная и кодовая маркировка полупроводниковых приборов. Но эта маркировка столь разнообразна, что рамки настоящего пособия не дают возможность ее здесь привести.

Приложение 1.3.

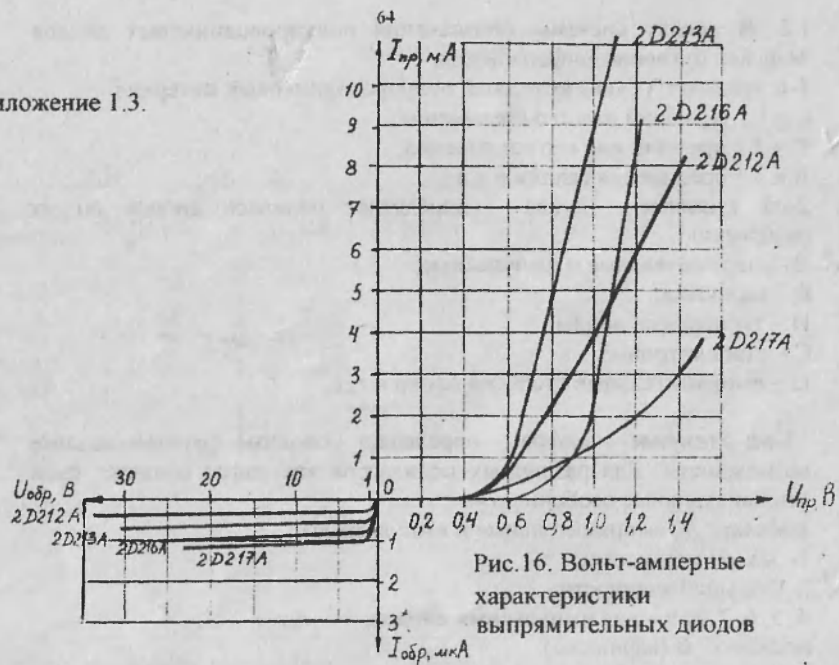


Рис. 16. Вольт-амперные характеристики выпрямительных диодов

Рис. 16. Вольт-амперные характеристики выпрямительных диодов

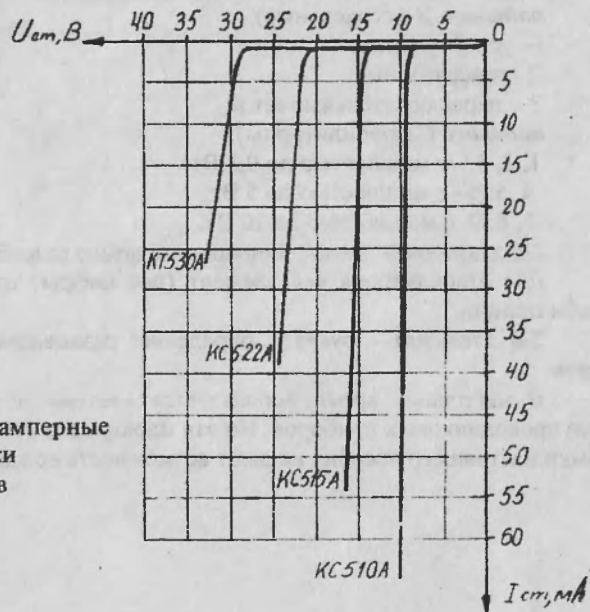


Рис. 17. Вольт-амперные характеристики стабилитронов

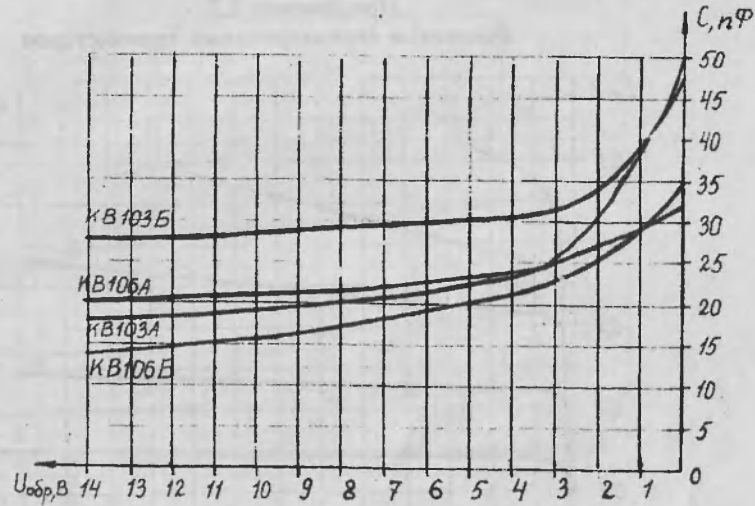


Рис.18. Вольт-фарадные характеристики варикапа

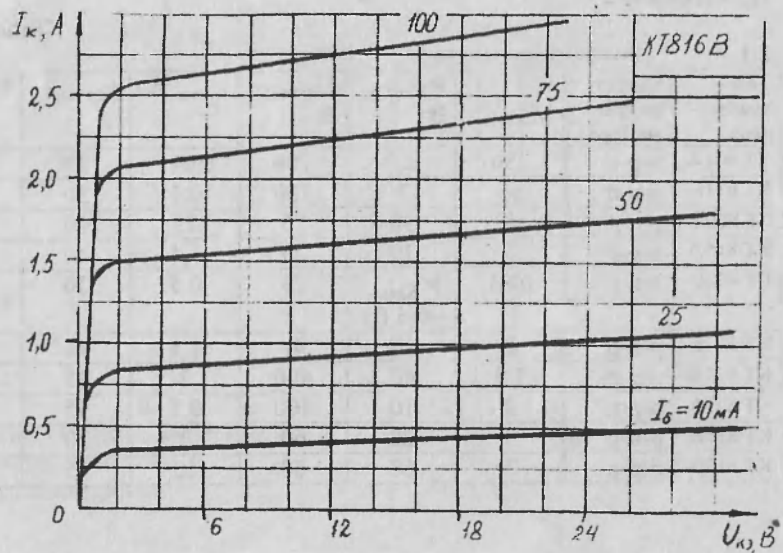
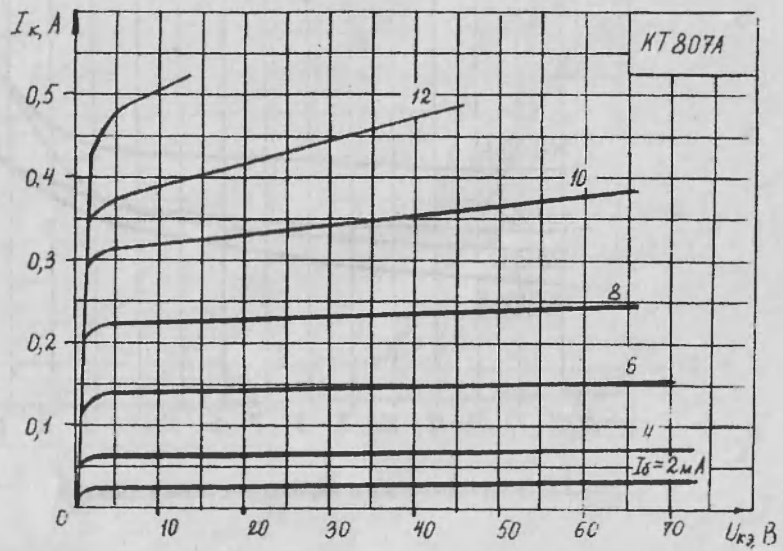
Приложение 2

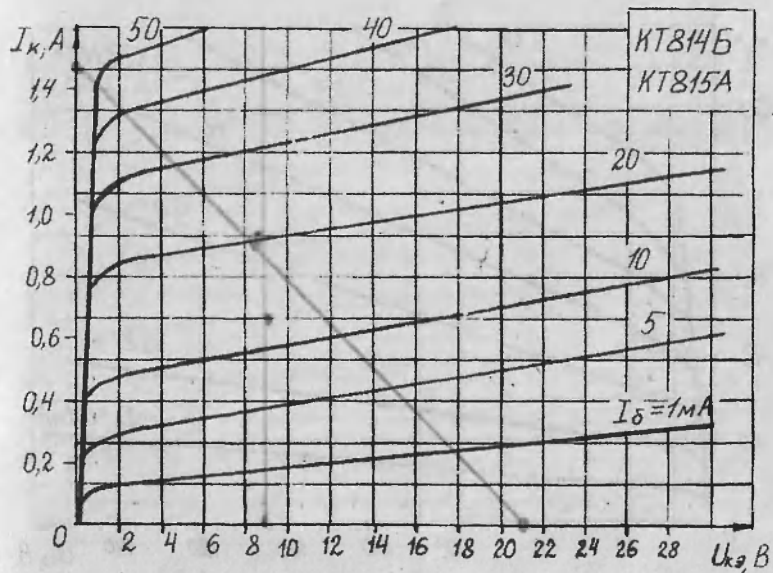
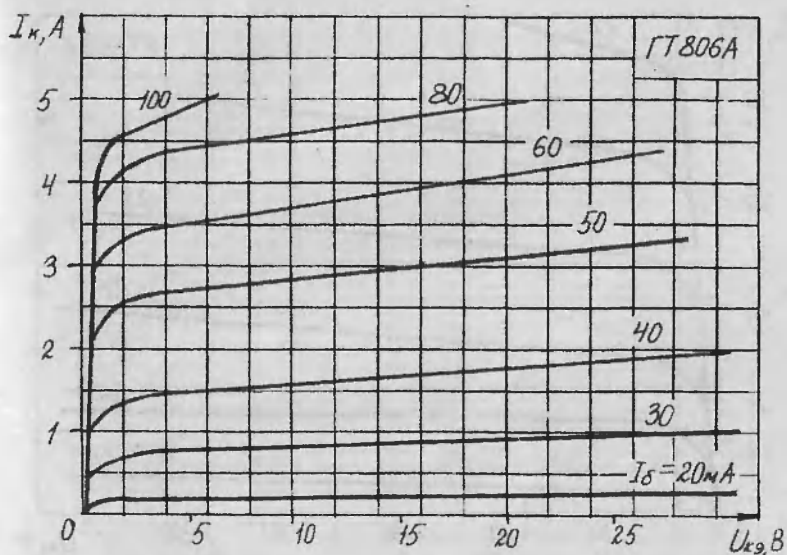
Таблица 15

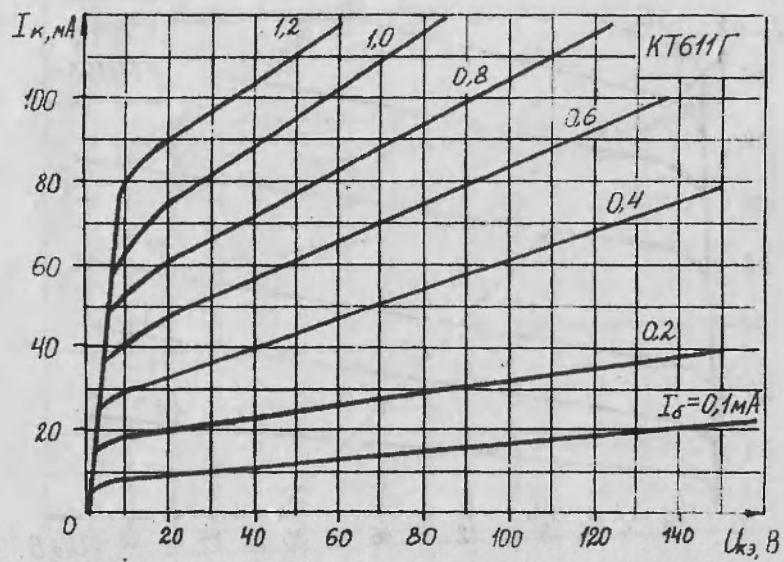
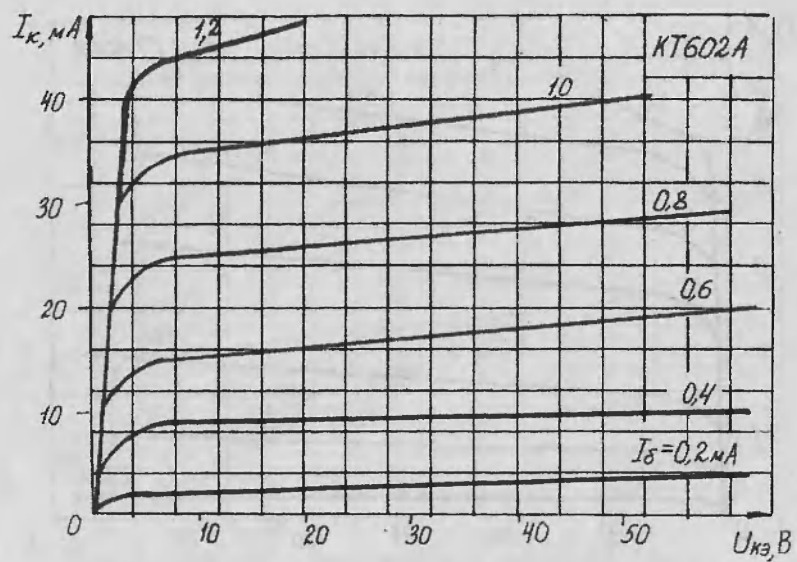
2.1

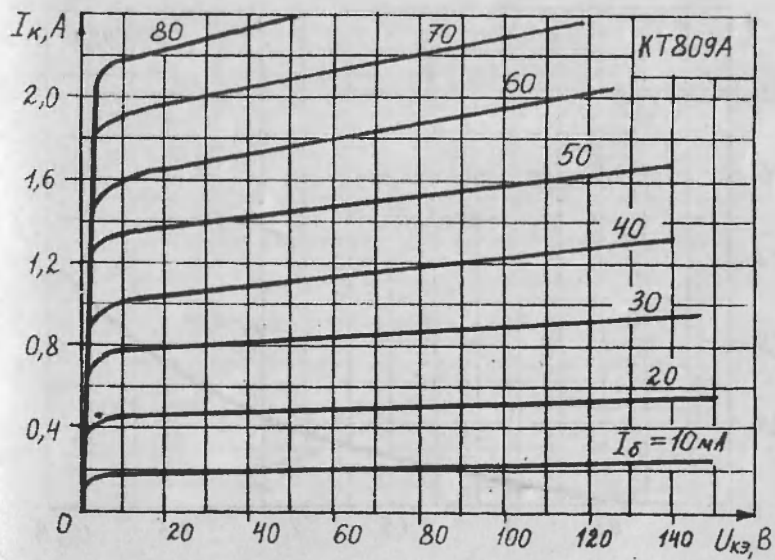
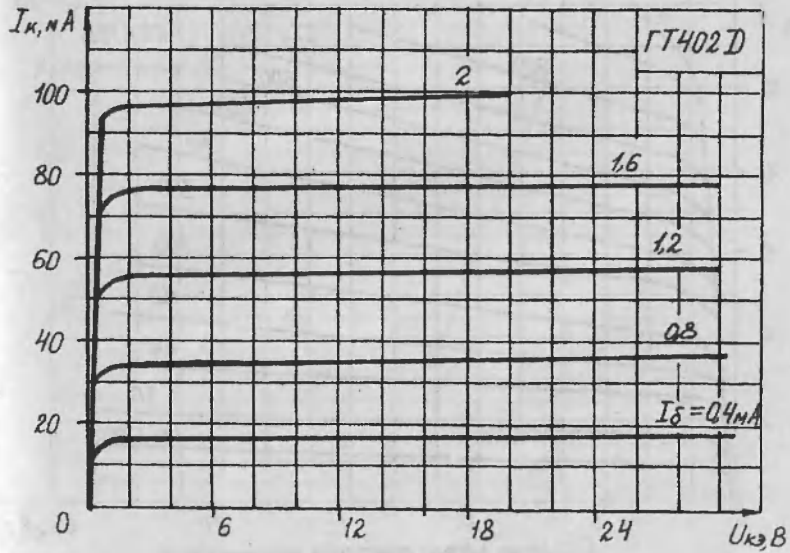
Тип транзистора	Структура транзистора	$F_{гр}$, МГц	P_{Kmax} , Вт	U_{Kmax} , В	I_{Kmax} , А	$h_{21Эmin}$	$h_{21Эmax}$
КТ 602А	п-р-п	150	2,8	100	0,075	20	80
КТ 611Г	п-р-п	60	3	150	0,1	30	120
ГТ 806А	р-п-р	6	30	75	15	10	100
КТ 815А	п-р-п	3	10	25	1,5	40	-
ГТ 402D	р-п-р	0,83	$P_{Kmax} = 0,6$ Вт	25	0,5	30	80
КТ 814Б	р-п-р	3	10	40	1,5	40	-
КТ 809А	п-р-п	5,5	40	400	3	15	100
КТ 807А	п-р-п	3	10	100	0,5	15	45
КТ 816В	р-п-р	3	20	60	3	20	-
КТ 819В	п-р-п	3	60	60	10	15	-

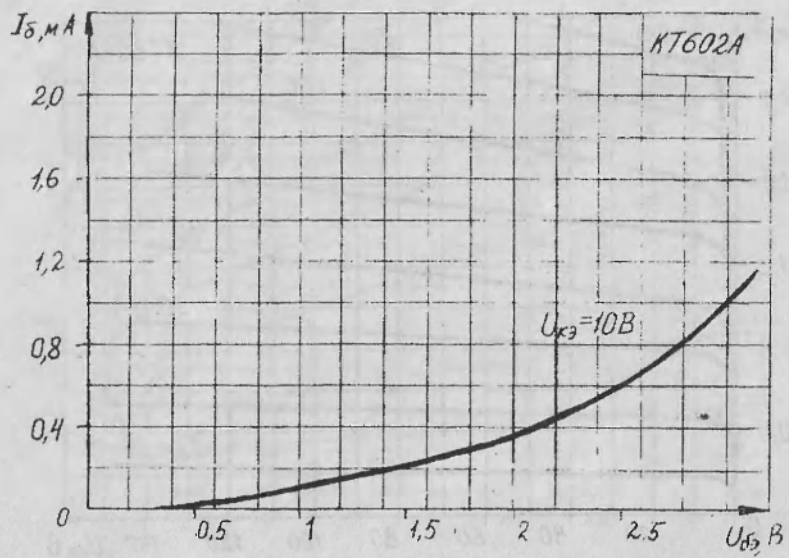
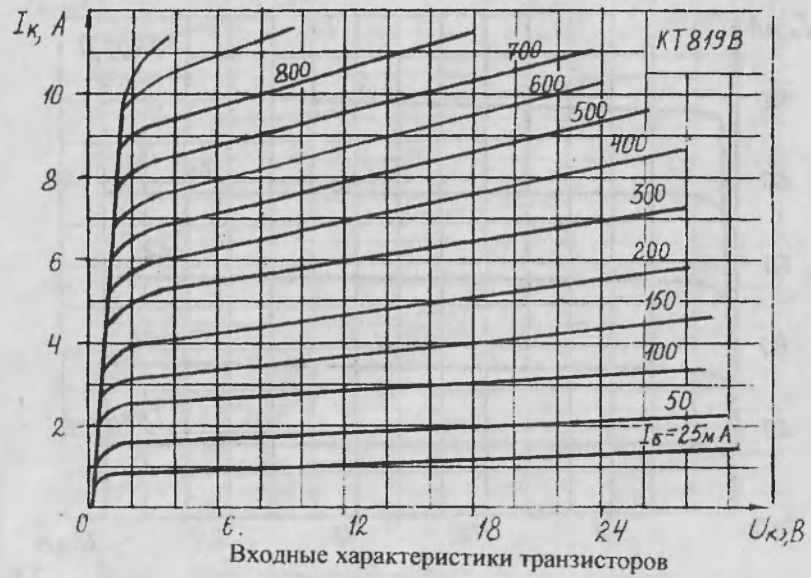
Приложение 2.2.
Выходные характеристики транзисторов

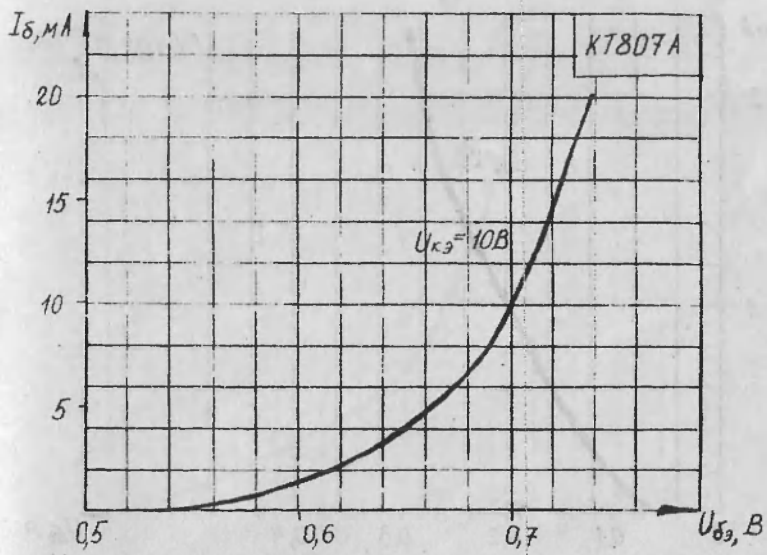
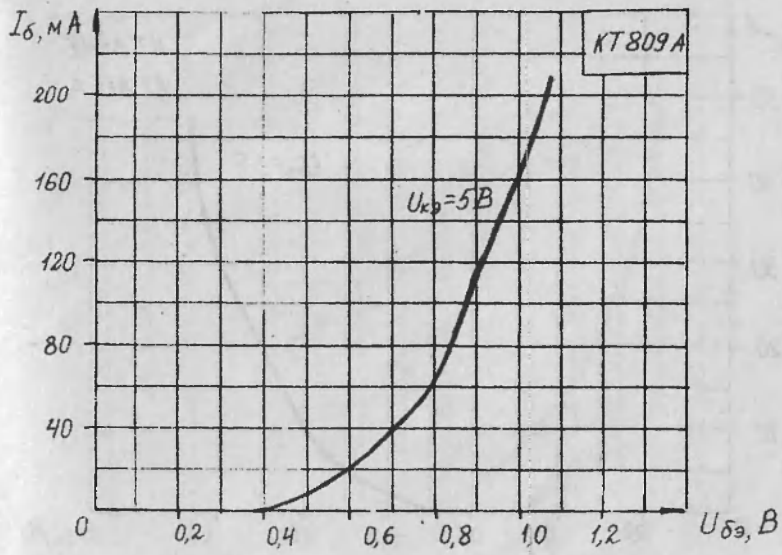


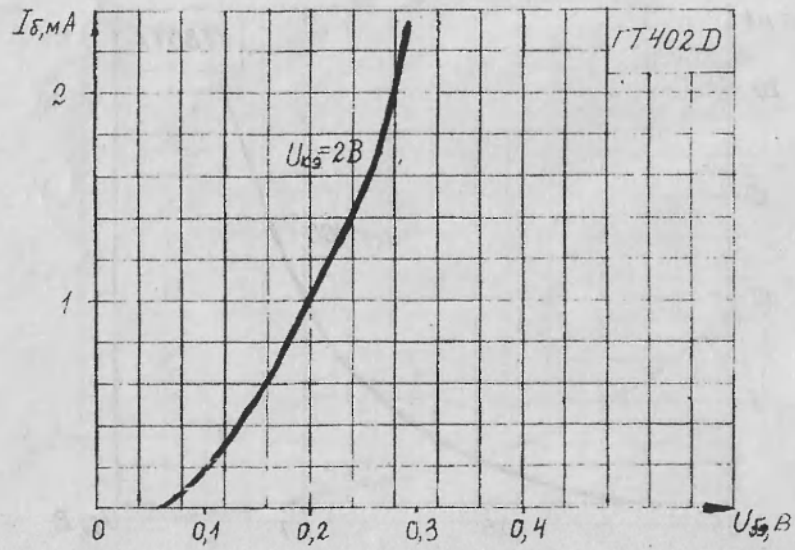
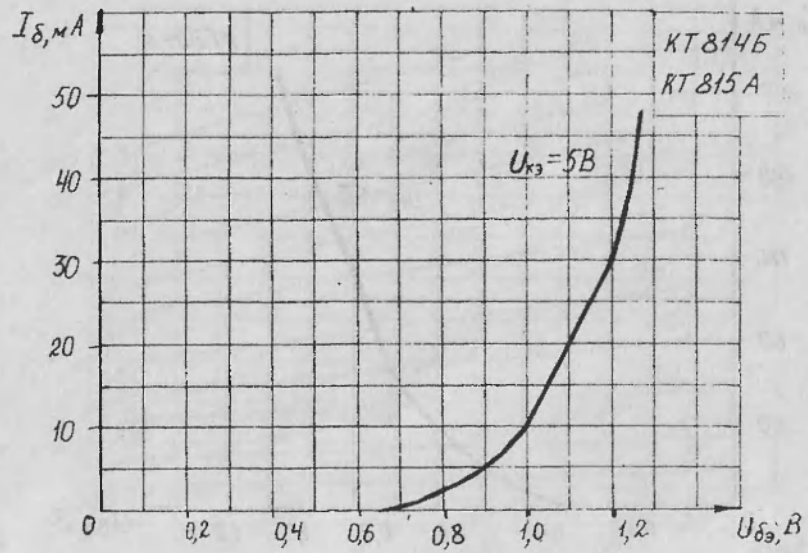


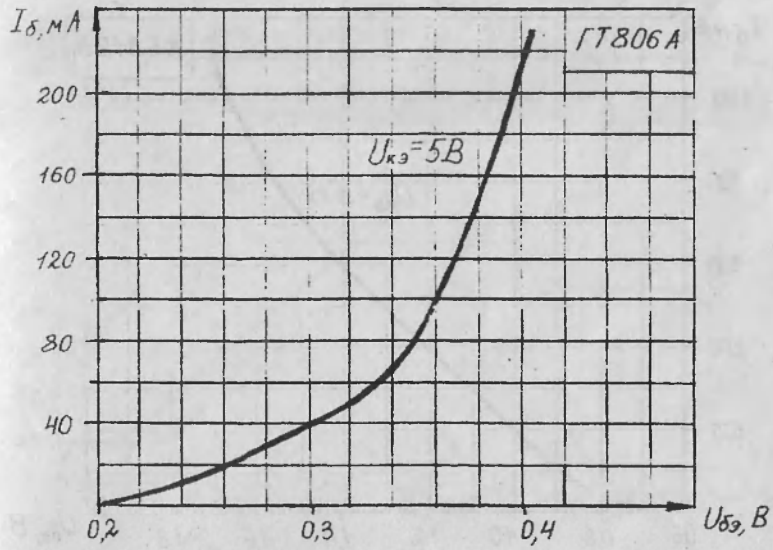
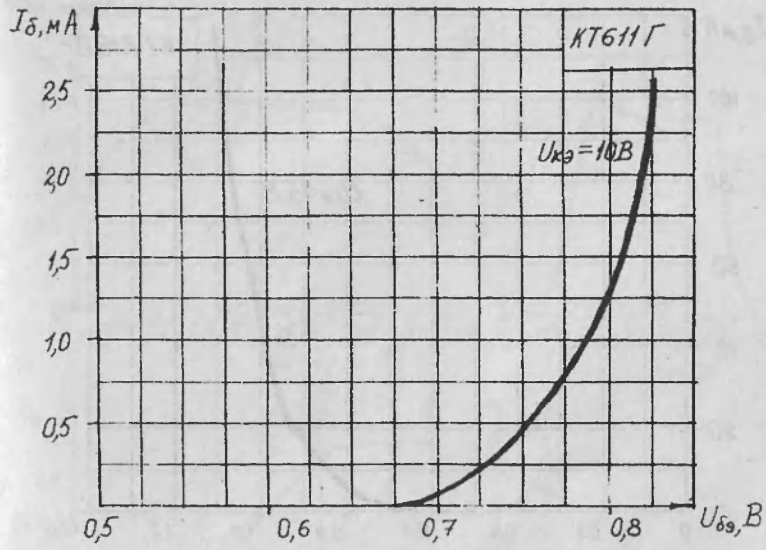


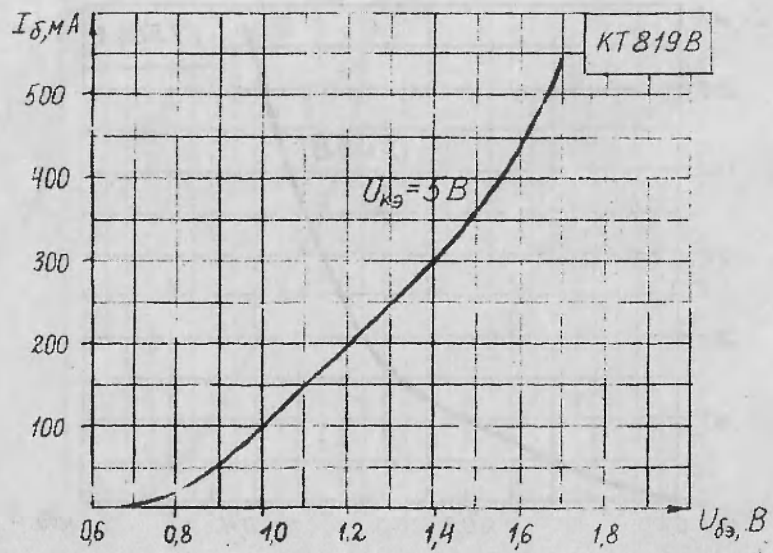
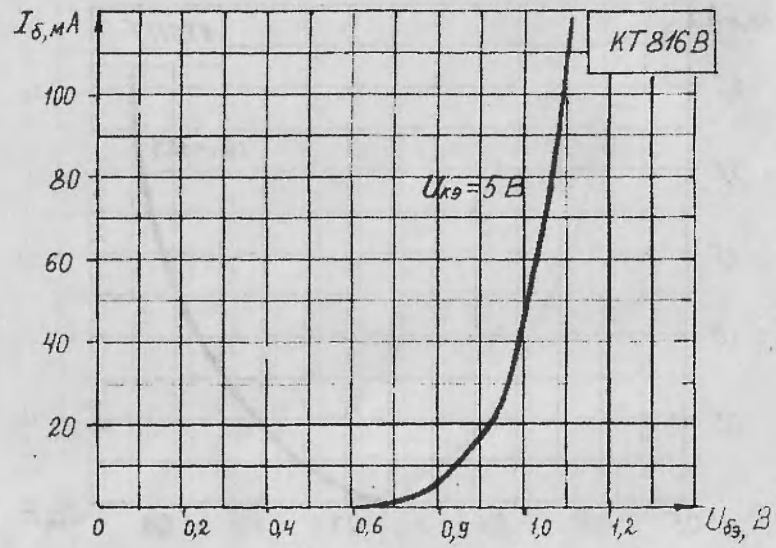












Приложение 3

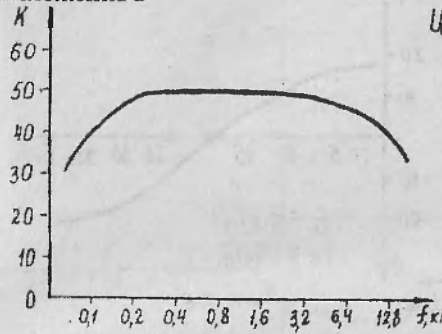


Рис. 19

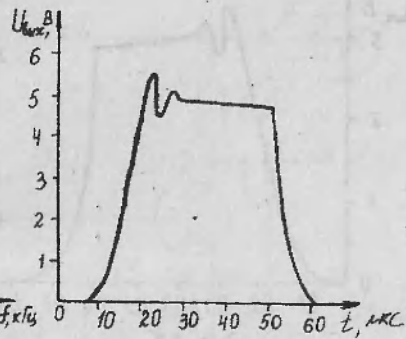


Рис. 20

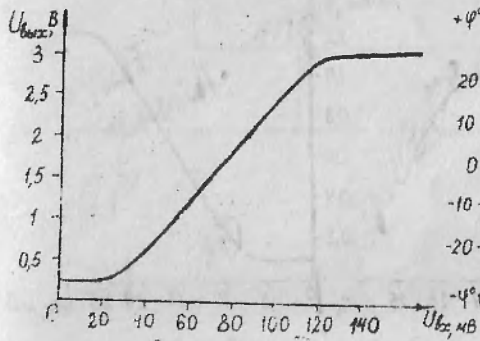


Рис. 21

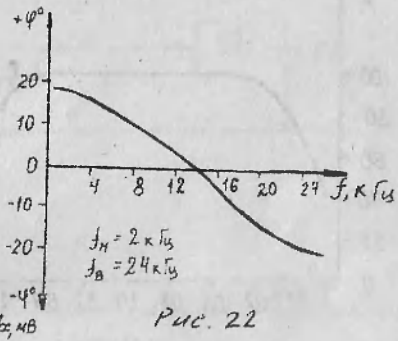


Рис. 22

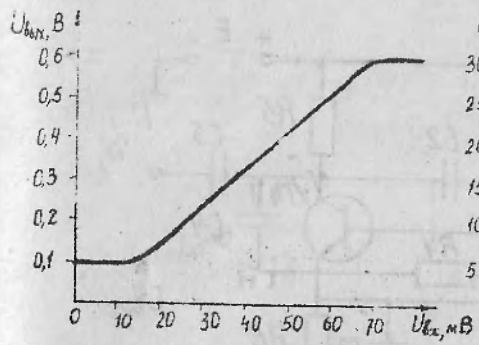


Рис. 23

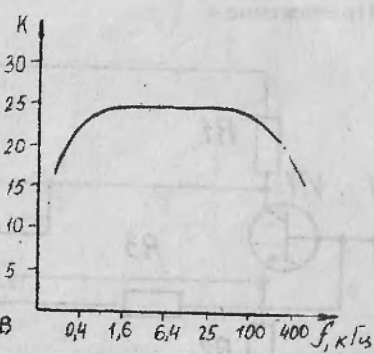


Рис. 24

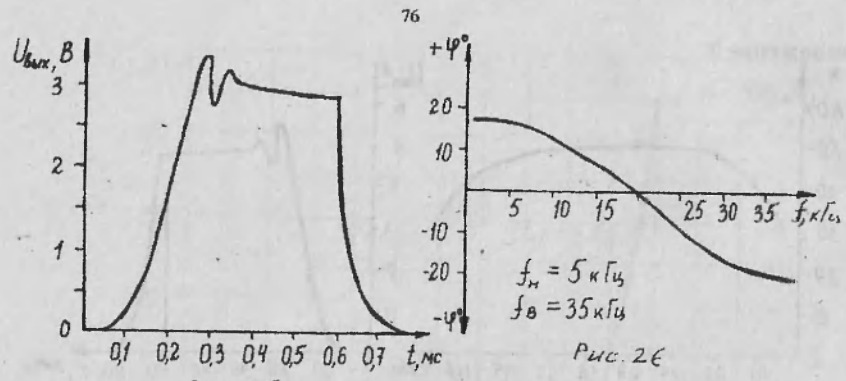
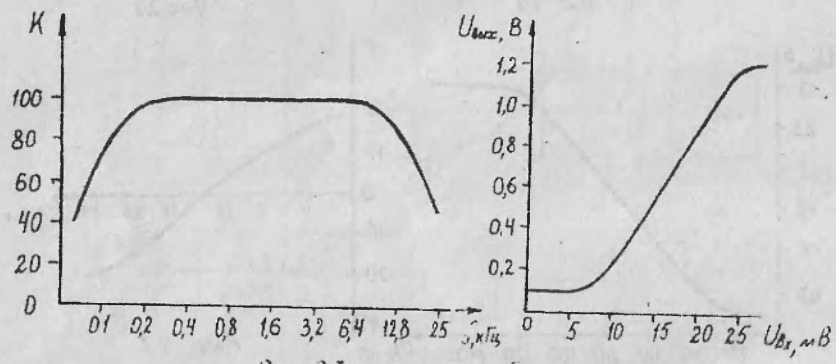
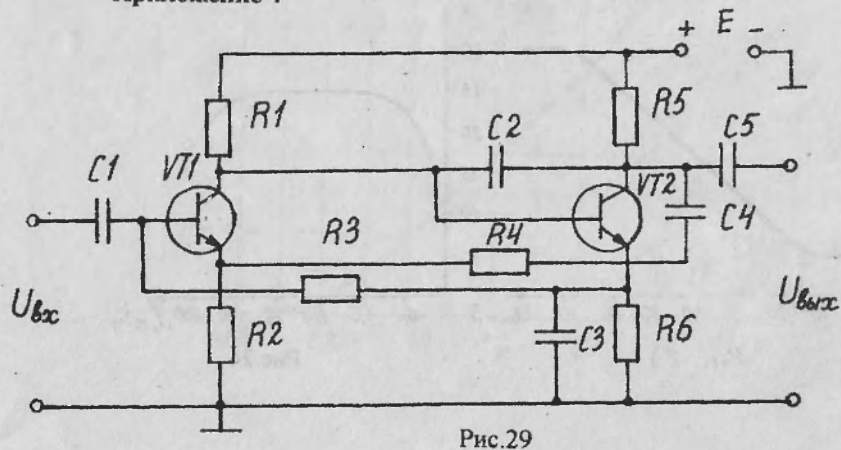


Рис. 25



Приложение 4



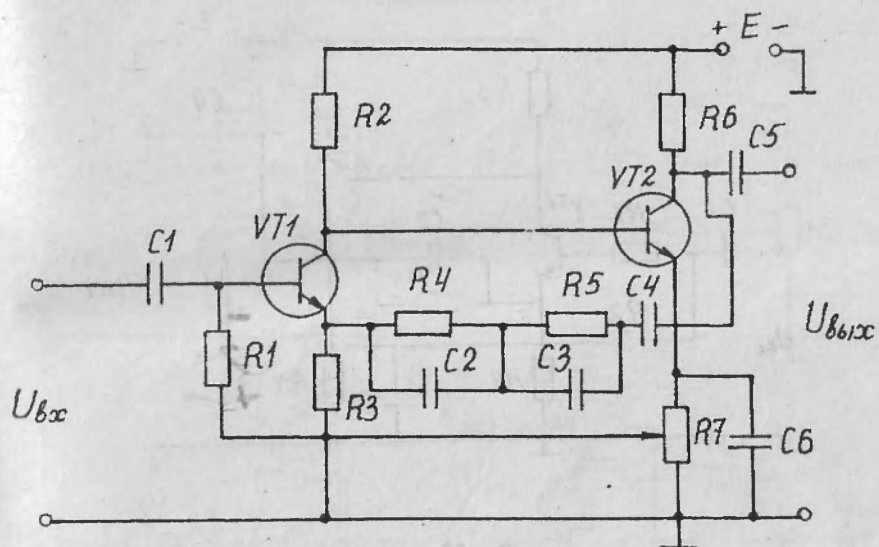


Рис.30

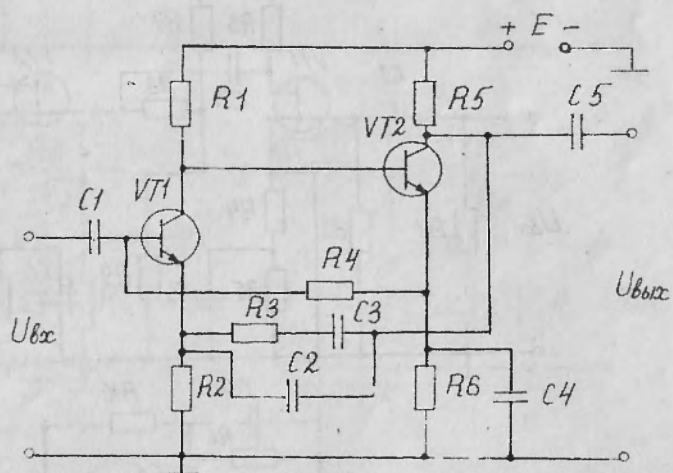


Рис.31

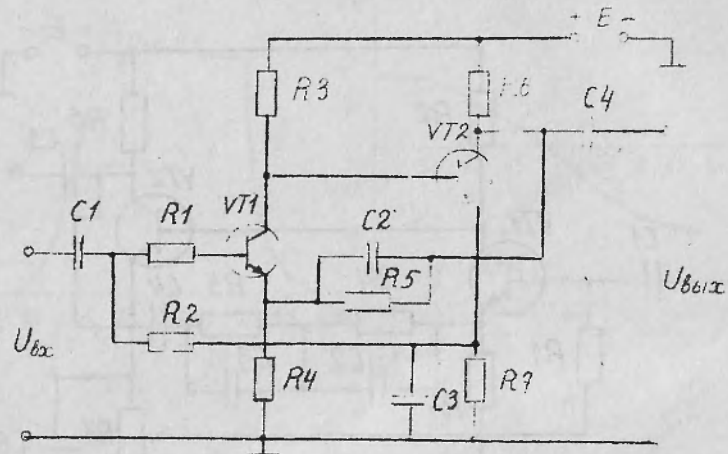


Рис.32

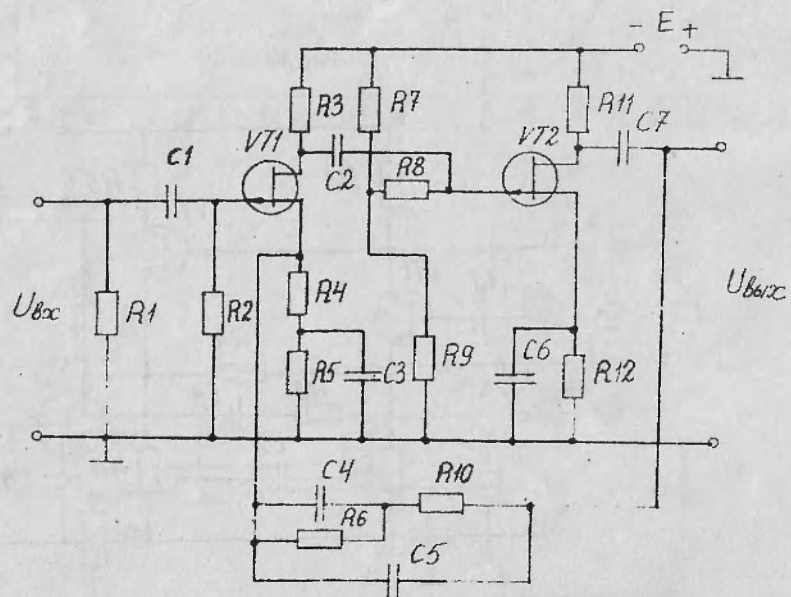
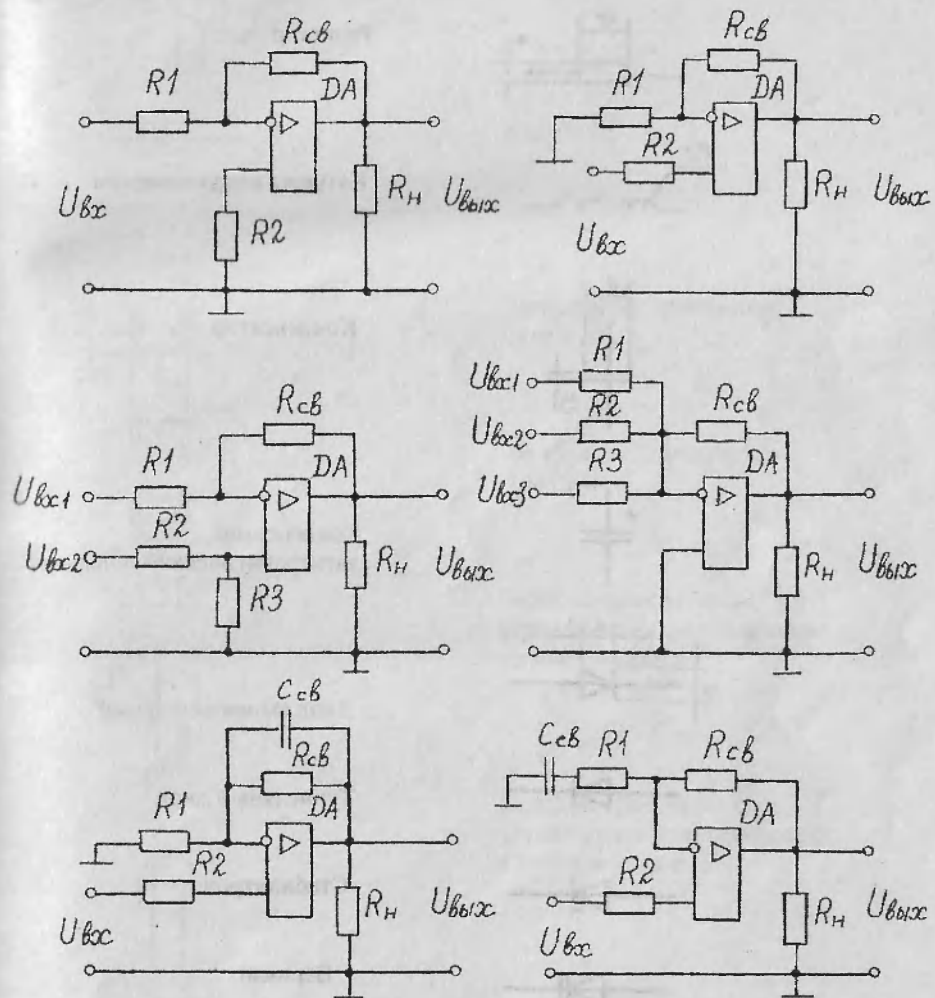


Рис.33

Приложение 5



Приложение 7
Ряды номинальных сопротивлений резисторов
и емкостей конденсаторов

Таблица 16

Точн. ±5%	10	11	12	13	15	16	18	20	22	24	27	30	33	36	39	43	47	51	56	62	68	75	82	91
Точн. ±10%	10		12		15		18		22		27		33		39		47		56		68		82	
Точн. ±20%					15				22				33				47				68			

Литература

1. Вайсбурд Ф.И., Панаев Г.А., Савельев Б.Н. Электронные приборы и усилители. –М.: Радио и связь, 1987.
2. Калабеков Б.А., Мамзелев И.А. Основы автоматики и вычислительной техники. –М.: Связь, 1980.
3. Ушакова Л.В. Электронная техника. Учебное пособие. –М.: 2000.
4. Павлов В.Н., Ногин В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств. – М.: Горячая линия –Телеком, 2001.
5. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника. –М.: Горячая линия –Телеком, 2002.
6. Электронные усилители. Методическая разработка для выполнения контрольных работ и дипломных проектов. –М.: Радио и связь, 1982.

Автор-составитель Л.В. Ушакова
 Редактор В.А. Дормова

Подписано в печать 12.05.03. Формат бум. 60x84 1/16

Объем 5,2 п.л. Тираж 2000 экз. Заказ 168

Типография "Нефтяник"