

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ
“МАМИ”**

Кафедра «Электротехника»

О.В. Девочкин
В.А. Прохоров
Т. Б. Гайтова

Одобрено,
методической комиссией по УГС
40000 «Электроэнергетика, энергетическое
машиностроение и электротехника»

Электротехника и электроника

Раздел. «Электроника»

Методические указания по выполнению курсовых и расчетно-графических работ для
студентов высших учебных заведений

Москва 2014 г.

О.В. Девочкин
В.А. Прохоров
Т. Б. Гайтова

«Электротехника и электроника»

Раздел. Электроника.

Методические указания по выполнению курсовых и расчетно-графических работ для студентов высших учебных заведений.
Стр.22, рис. 7, табл. 4, библи. 5, МАМИ, 2014 г.

Цель предлагаемых методических указаний – оказать помощь студентам высших учебных заведений в изучении раздела электроники курса «Электротехника и электроника».

Методические указания содержат описание необходимых для выполнения расчетно-графических и курсовых работ, приведены задания по расчету усилителей напряжения низкой частоты и стабилизаторов напряжения источников питания, методические указания по их выполнению и некоторые справочные данные.

© Московский Государственный Машиностроительный Университет
“МАМИ”

2014 г.

I. РАСЧЕТ КАСКАДА УСИЛИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ НА ТРАНЗИСТОРАХ

В устройствах электроники для усиления слабых сигналов различных датчиков широко применяются усилители низкой частоты (УНЧ), выполненные на транзисторах. В усилительных каскадах низкой частоты транзисторы предпочтительно включать по схеме с общим эмиттером (ОЭ), т.к. такое включение обеспечивает максимальное усиление сигнала по напряжению и по мощности.

Особое внимание необходимо уделить выбору рабочей точки транзистора на его характеристиках, т.к. этот фактор является определяющим для обеспечения нормальной работы усилителя.

Усилительные каскады питаются от источников постоянного напряжения, в качестве которых используются выпрямительные устройства с фильтром и стабилизатором напряжения, Э.Д.С. источника питания усилительного каскада и ток являются основными параметрами для проектирования маломощного выпрямительного устройства.

1.1. Исходные данные для расчета

Усилитель напряжения низкой частоты (УНЧ) предназначен для усиления слабых сигналов до заданной величины в определенной полосе частот, поступающих от источника входных сигналов. Принципиальная схема усилителя, выполненного по схеме с общим эмиттером (ОЭ), приведена на рис.1.1

Исходными данными для расчета являются:

$U_{\text{вых m}}$ - амплитуда выходного напряжения;

$R_{\text{н}}$ - сопротивление нагрузки усилительного каскада.

$f_{\text{н}}$ - нижняя граничная частота усиливаемого сигнала;

$M_{\text{н}}$ - допустимое значение коэффициента частотных искажений в области нижних частот ($M_{\text{н}}$ - отношение коэффициента усиления по напряжению на средних частотах к его значению на нижней граничной частоте $M_{\text{н}} = K/K(f_{\text{н}})$).

$E_{\text{п}}$ - напряжение источника питания.

1.2 Задание

Расчет усилительного каскада производится на биполярных транзисторах. В процессе расчета необходимо выполнить следующие работы:

2.1. Выбрать тип транзистора в схеме УНЧ.

2.2. Установить режим работы транзистора в схеме - определить положение рабочей точки на входных и выходных характеристиках транзистора в схеме с ОЭ (точка покоя)

2.3. Определить параметры элементов принципиальной схемы усилителя:

$R_{\text{к}}$ - величина сопротивления резистора, включаемого в цепь коллектора;

$R_{\text{э}}$ - величина сопротивления резистора, включаемого в цепь эмиттера;

R_1, R_2 - величины сопротивлений резисторов делителя напряжения в цепи базы;

$C_{\text{э}}$ - величина емкости конденсатора в цепи эмиттера;

C_1, C_2 - емкости разделительных конденсаторов»

2.4. Определить динамические параметры усилительного каскада:

$R_{\text{вх}}$ - входное сопротивление на переменном токе;

$R_{\text{вых}}$ - выходное сопротивление каскада;

K_i - коэффициент усиления каскада по току;

K_u - коэффициент усиления каскада по напряжению;

K_p - коэффициент усиления по мощности;

$U_{\text{вх m}}$ - амплитуда входного напряжения для получения заданной выходной.

1.3. Указания к выполнению работы

3.1 При расчете режима работы транзистора по постоянному току использовать графо-аналитический метод.

3.2, Динамические параметры усилителя определять аналитическим методом по h-параметрам транзистора.

3.3. Считать, что каскад работает в стационарных условиях при температуре окружающей среды $15 \div 25^\circ \text{C}$.

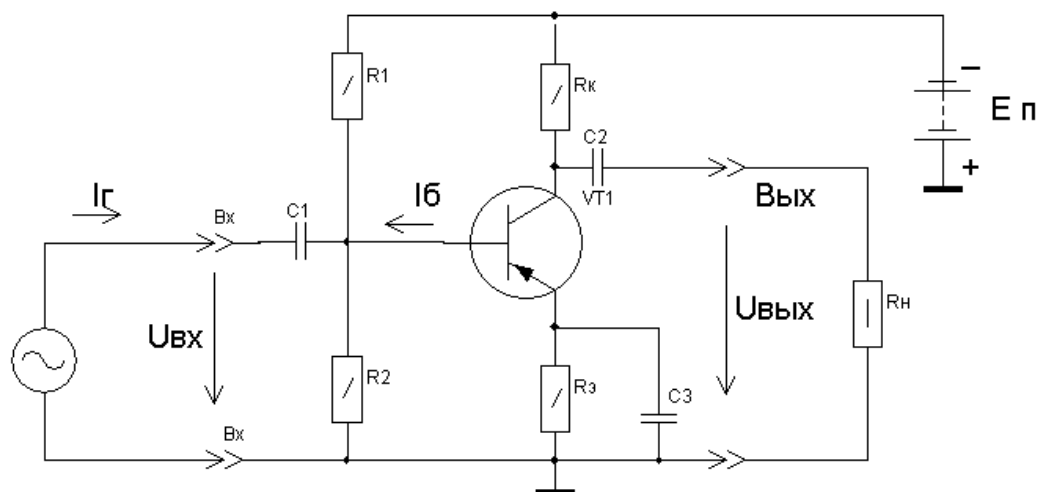


Рис.1.1. Схема усилительного каскада на биполярном транзисторе р-п-р типа (с общим эмиттером).

3.4. Полярность источника питания с э.д.с. $E_{п}$ по отношению к коллекторной цепи зависит от типа транзистора. На рис.1.1 полярность источника соответствует транзисторам типа р-п-р. Для усилительного каскада с транзистором типа п-р-п полярность источника должна быть противоположной.

3.5. Для усилительных каскадов, работающих в области повышенных температур, предпочтительнее выбирать кремниевые транзисторы п-р-п типа.

3.6. Исходные данные для расчета усилительного каскада приведены в табл/1.1.

Табл. 1.1

№ варианта	$U_{вых}$ В	$R_{н}$ Ом	$f_{н}$ Гц	$M_{н}$	$E_{п}$ В	Примечание
01	2,5	500	200	1,2	6	
02	2,5	200	200	1,2	6	
03	2,75	550	200	1,5	6	
04	1,5	800	120	1,4	6	
05	2,8	650	90	1,8	9	
06	3,0	480	150.	1,0	12	
07	2,8	340	100	1,0	6	
08	2,2	550	100	1,1	9	
09	1,0	450	150	1,5	9	
10	1,5	700	220	2,0	6	
11	2,0	500	110	1,8	12	
12	2,2	500	80	2,1	12	
13	3,5	475	100	1,0	9	
14	4,0	635	150	1,4	24	
15	1,0	800	150	1,3	12	

16	6.0	425	70	1,8	27	
17	9.0	300	120	1.6	27	
18	5.5	750	100	1.7	12	
19	4.3	600	120	1,05	12	
20	8.0	300	75	1.2	27	
21	3.8	540	250	1.2	12	
22	4.0	460	200	1.8	20	
23	5	690	100	1,4	24	
24	2.0	750	150	1.7	9	
25	7.0	575	100	1.8	15	
26	5.5	500	220	1,0	24	
27	3,5	630	130	2,0	9	
28	3,0	670	110	1,8	9	
29	2,2	350	80	2,2	6	
30	1.5	250	90	1.5	6	
31	3.2	920	120	1.2	12	
32	4,4	575	250	1,4	12	
33	9.0	800	180	1.8	27	
34	3.5	600	50	2.0	12	

1.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ

4.1. Основным критерием выбора типа транзистора для усилительного каскада являются допустимое напряжение $U_{к доп}$ между коллектором и эмиттером, которое определяется из условия

$$U_{кэ доп} \geq (1,1 \div 1,4) E_{п}, \quad (1)$$

а также наибольшее допустимое значение коллекторного тока $I_{к}$. Величины $U_{кэ доп}$ и $I_{к доп}$ приводятся в справочниках по полупроводниковым приборам (4 - 7),

Транзистор выбирают таким образом, чтобы

$$I_{к доп} \gg 2I_{нм} = 2U_{вых м} / R_{н}; \quad (2)$$

$$U_{кэ доп} > U_{кэ МАКС}, \quad (3)$$

где $I_{нм}$ - амплитуда тока нагрузки.

4.2. Для выбранного транзистора выписывают из справочника значения $I_{к доп}$, $U_{кэ доп}$, $I_{кн}$, β , h - параметры,

где β - коэффициент передачи базового тока (или α , тогда $\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$):

- $I_{кн}$ - начальный ток транзистора.

При выборе транзистора должно выполняться условие, чтобы минимальный коллекторный ток был больше начального тока ($I_{к мин} > I_{кн}$).

Примечание: примеры параметров и характеристики некоторых транзисторов приведены в приложении I.

На миллиметровую бумагу или кальку перенести из справочника семейства статистических входных и выходных характеристик

4.3. Режим работы транзистора по постоянному току определяется в соответствии с нагрузочной прямой, построенной на семействе выходных характеристик (рис.1.2).

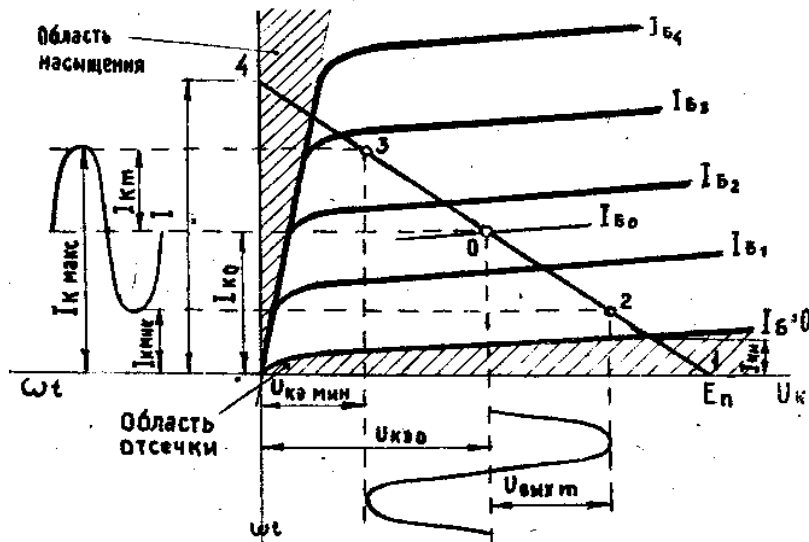


Рис.1.2 Определение режима покая усилительного каскада по схеме с ОЭ на семействе коллекторных характеристик

Для усилителя, работающего в классе А при $U_{вх}=0$, ток коллектора в точке покая выбирается из соотношения $I_{к0} = (1,1 - 1,3) I_{км}$,

но не меньше 1mA . Этому току должно соответствовать коллекторное напряжение

$$U_{кэ0} = U_{выхм} + U_{ост}, \quad (4)$$

где $U_{ост}$ - наименьшее допустимое напряжение между коллектором и эмиттером.

Для маломощных транзисторов, обычно используемых в УНЧ, можно принять:

$$U_{ост} = 1-2 \text{ в.} \quad (5)$$

При напряжении на коллекторе меньше $U_{ост}$ возникают большие искажения усиливаемого сигнала из-за сильной нелинейности характеристик транзистора.

По значениям $I_{к0}$ и $U_{к0}$ выбирается одна точка нагрузочной прямой (точка покая "0"), описываемой уравнением

$$U_{кэ} = E_{п} - I_{к}R_{н} \quad (6)$$

вторая точка определяется напряжением источника питания $E_{п}$ при $I_{к}=0$.

Положение рабочей точки «0» позволяет определить значения тока базы $I_{б0}$ при отсутствии входного сигнала/

По статической входной характеристике и току базы $I_{б0}$ определяется напряжение $U_{бэ0}$ режиме покая (при $U_{вх}=0$) рис.1.3.

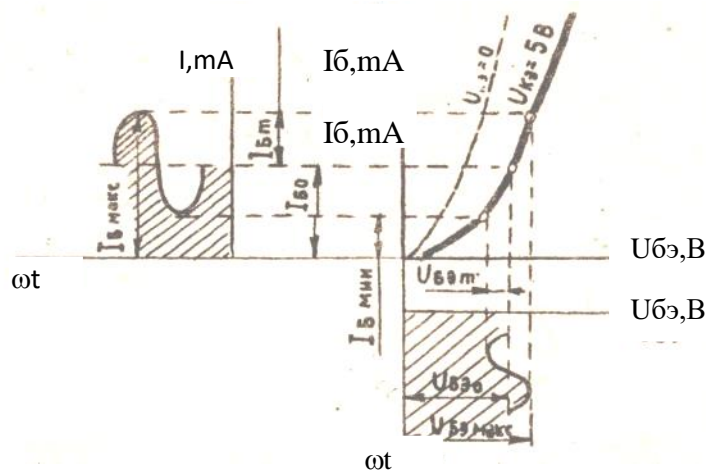


Рис.1.3. Положение рабочей точки покая «0» и временные диаграммы усиливаемого сигнала на входных характеристиках транзистора

4.4. Общее сопротивление, включаемое в коллекторно-эмиттерную цепь определяется также нагрузочной прямой при $U_{кэ}=0$

$$R_{общ} = E/I \quad (7)$$

где I - максимальный ток, соответствующий точке пересечения нагрузочной прямой $U_{кэ} = E_{п} - I_{к}R_{н}$ с осью токов на выходных характеристиках транзистора (рис.2).

4.5. Напряжение на эмиттерном резисторе $R_{э}$ определяется исходя из условий необходимой стабилизации режима работы усилителя и получения максимального коэффициента усиления. Это напряжение для усилителей низкой частоты обычно выбирается в пределах:

$$U_{э} = (0,1 - 0,5) E_{п}, \quad (8)$$

Ток проходящий через резистор $R_{э}$, определяется суммой коллекторного и базового токов:

$$I_{э0} = I_{б0} + I_{к0} \quad (9)$$

Тогда величина сопротивления резистора $R_{э}$ может быть определена по формуле

$$R_{э} = U/I_{э0} \quad (10)$$

4.6. Определяют величину резистора $R_{к}$, включаемого в коллекторную цепь, как разность

$$R_{к} = R_{общ} - R_{э}. \quad (11)$$

4.7. Начальный ток базы $I_{б0}$ задается делителем напряжения, собираемого на резисторах R_1, R_2 . Ток делителя задается примерно в 10 раз больше тока базы для уменьшения шунтирующего действия делителя на входное сопротивление каскада.

$$I_{д} = 10 I_{б0} \quad (12)$$

Падение напряжения на резисторе R_2 делителя определяется как сумма напряжений

$$U_2 = U_{э0} + U_{бэ0}. \quad (13)$$

Тогда по закону Ома

$$R_2 = U_2 / I_{д} \quad (14)$$

Напряжение на резисторе R_1 делителя определяется как разность

$$U_1 = E_{п} - U_2 \quad (15)$$

При расчете сопротивления резистора R_1 необходимо учитывать, что через него протекает сумма токов $I_{д} + I_{б0}$

$$R_1 = U_1 / (I_{д} + I_{б0}) \quad (16)$$

4.8. Оцениваем величину конденсатора $C_{э}$ шунтирующего резистор в цепи эмиттера, для устранения отрицательной обратной связи по переменному току по приближенной формуле

$$C_{э} \geq \frac{1}{\omega R_{э}} = \frac{1}{2\pi f_n \cdot R_{э}}, \quad (17)$$

Ёмкость конденсатора $C_{э}$ обычно выбирает примерно в 10 раз больше рассчитанной: величины для удовлетворения неравенства, т.е.

$$: C_{э} = \frac{1}{\omega R_{э}} = \frac{10}{2\pi f_n \cdot R_{э}}, \quad (18)$$

4.9. После приведенного выше расчета элементов схемы, задающих режим работы транзистора по постоянному току и определяющих положение рабочей точки и ее температурной стабилизации, выполняют расчет динамических параметров усилителя с помощью h -параметров.

1.5. Расчет динамических параметров усилителя

С целью упрощения анализа динамических свойств усилителя применяется часто используемый метод, основанный на замене реального усилителя его эквивалентной схемой. В такой схеме биполярный транзистор можно представить в виде линейного четырехполосника (рис.1.4), если в качестве переменных принять приращения тока Δi и напряжений Δu , накладывающихся на постоянные составляющие и связанные линейной

зависимостью. За независимые переменные удобно выбрать приращения входного тока Δi_1 и выходного напряжения Δu_2 .



Рис.1.4. Эквивалентная схема транзистора в виде четырехполюсника.

Такой выбор обусловлен малым входным и большим выходным сопротивлениями транзистора, что позволяет легко осуществить режим источника тока на входе и источника напряжения на выходе транзистора. В этом случае уравнения четырехполюсника принимают вид

$$\Delta u_1 = h_{11} \Delta i_1 + h_{12} \Delta u_2 \quad (19)$$

$$\Delta i_2 = h_{21} \Delta i_1 + h_{22} \Delta u_2 \quad (20)$$

Коэффициенты $h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22}$ называются h – параметрами транзистора. Эти уравнения показывают, что коэффициент h_{11} представляет собой входное сопротивление транзистора при постоянном напряжении, при $\Delta u_2 = 0$

$$h_{11} = \Delta u_1 / \Delta i_1 \quad (21)$$

h_{12} – коэффициент обратной связи при постоянном входном токе, при $\Delta i_1 = 0$

$$h_{12} = \Delta u_1 / \Delta u_2 \quad (22)$$

h_{21} – представляет собой коэффициент передачи тока при постоянном выходном напряжении, при $\Delta u_2 = 0$

$$h_{21} = \Delta i_2 / \Delta i_1 \quad (23)$$

h_{22} – выходная проводимость при постоянном входном токе; при $\Delta i_1 = 0$

$$h_{22} = \Delta i_2 / \Delta u_2 \quad (24)$$

По этим параметрам могут быть рассчитаны внутренние, физические параметры транзистора/

Эквивалентная схема замещения транзистора как линейного четырехполюсника в усилительном каскаде приведена на рис.1.5.

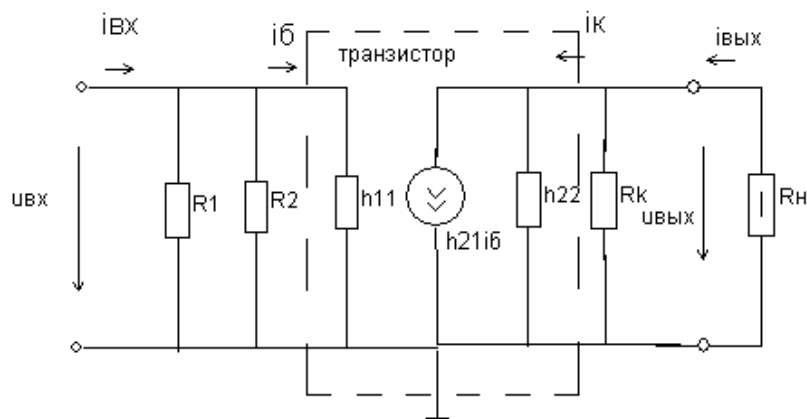


Рис1.5. Эквивалентная схема замещения транзистора в усилительном каскаде по схеме с ОЭ.

При неизменном напряжении источника питания каскада и сопротивлении резистора R_k , составляющая тока коллектора $h_{21} i_b$ зависит только от тока базы и ее можно представить как ток создаваемый некоторым источником тока. Обычно эквивалентная схема усилительного каскада (рис.1.5) рассчитывается для области средних частот, поэтому сопротивлениями конденсаторов пренебрегают, считая их замкнутыми,

Величина параметра h_{12} обычно мала и можно считать $h_{12} = 0$, т.е. в приведенной упрощенной эквивалентной схеме пренебрегается внутренней обратной связью.

Динамические параметры усилителя $R_{вх}, R_{вых}$. K_U, K_I, K_P определяют по следующему алгоритму, построенному в соответствии со схемой замещения (рис.5)

$$R_{вх} = \frac{R_1 R_2 h_{11}}{R_1 R_2 + R_1 h_{12} + R_2 h_{12}}; \quad (25)$$

$$R_{вых} = \frac{U_{вых}}{I_{вых}} = \frac{\frac{R_k}{h_{22}}}{R_k + 1/h_{22}} = \frac{R_k}{1 + R_k h_{22}}; \quad (26)$$

$$K_U = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{h_{21} I_{б} R_{вых} R_H}{h_{11} I_{б} (R_{вых} + R_H)} = \frac{h_{21}}{h_{11}} \cdot \frac{R_k}{(1 + R_k h_{22}) + R_k / R_H}; \quad (27)$$

$$K_I = \frac{I_H}{I_{э}} = \frac{h_{21}}{h_{11}} \cdot \frac{R_k}{(1 + R_k h_{22}) + R_k / R_H} \cdot \frac{R_{вых}}{R_H} = \frac{R_{вых}}{R_H} \cdot K_U; \quad (28)$$

$$K_P = K_U \cdot K_I. \quad (29)$$

Емкости разделительных конденсаторов выбирают из соотношения:

$$\begin{aligned} X_C &\leq (R_{вых} + R_H) \sqrt{M_H^2 - 1}, \\ C_3 &\geq \frac{1}{2\pi f_H (R_H + R_{вых}) \sqrt{M_H^2 - 1}}. \end{aligned} \quad (30)$$

II. РАССЧЁТ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ (СН)

2.1. Задания на расчёт

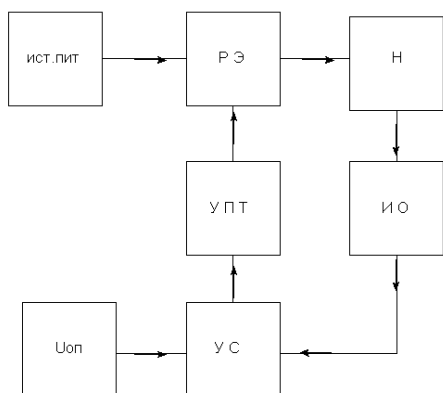
- 1) Разработать функциональную схему (блок-схему) компенсационного стабилизатора напряжения.
- 2) Разработать (выбрать) принципиальную электрическую схему стабилизатора напряжения.
- 3) Рассчитать режимы работы всех элементов СН и выбрать их конкретный тип.

2.2. Исходные данные для расчёта СН

- 1) Номинальное значение напряжения первичного источника питания . . $U_{\text{ПН}}=27 \text{ В}$
- 2) Допускаемое отклонение питающего напряжения от номинального . . $\Delta U_{\text{П}}=\pm 0,2U_{\text{ПН}}$
- 3) Номинальное выходное напряжение (на нагрузке) $U_{\text{Н}}=10 \text{ В}$
- 4) Пределы регулирования выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ МИН}}=[5+0,1(n-1)] \text{ В}$
 $U_{\text{ВЫХ МАКС}}=[15-0,1(n-1)] \text{ В}$
- 5) Максимальная активная мощность на выходе источника $P_{\text{ВЫХ МАКС}}=2n \text{ Вт}$,
где n – порядковый номер студента в списке группы.

2.3. Алгоритм расчёта стабилизатора напряжения

2.3.1. Разработка функциональной схемы (блок-схемы) компенсационного стабилизатора постоянного напряжения



УПТ - усилитель постоянного тока.

Блок-схема разрабатываемого стабилизатора напряжения может быть реализована в соответствии с рис. 2.1.

Рис. 2.1. Обобщенная блок схема компенсационного СН.

На схеме обозначено:
ист. пит. - первичный источник питания;
РЭ - регулирующий элемент;
Н - нагрузка;
ИО - измерительный орган;
УС - устройство сравнения;
 $U_{\text{оп}}$ - источник опорного напряжения;

Рассматриваемый стабилизатор в автоматическом режиме регулирования в соответствии с рис. 1 работает следующим образом. Предположим, что в результате воздействия одного из возмущающих факторов, например, повышения входного напряжения, напряжение на выходе также несколько возросло. При этом возросло напряжение на выходе измерительного органа, а, следовательно, и напряжение ошибки на выходе узла сравнения

$$U_c = U_{\text{ио}} - U_{\text{оп}}$$

Напряжение ошибки U_c усиливается усилителем постоянного тока и воздействует на регулирующий элемент РЭ таким образом, что его сопротивление возрастает. Падение напряжения на нём также возрастает, а напряжение на выходе стабилизатора уменьшается, возвращаясь, с допустимой погрешностью, к заданному исходному значению. В этом проявляется действие отрицательной обратной связи по напряжению в стабилизаторе.

2.3.2. Разработка принципиальной электрической схемы стабилизатора

Один из вариантов реализации принципиальной электрической схемы представлен на рис. 2. 2.

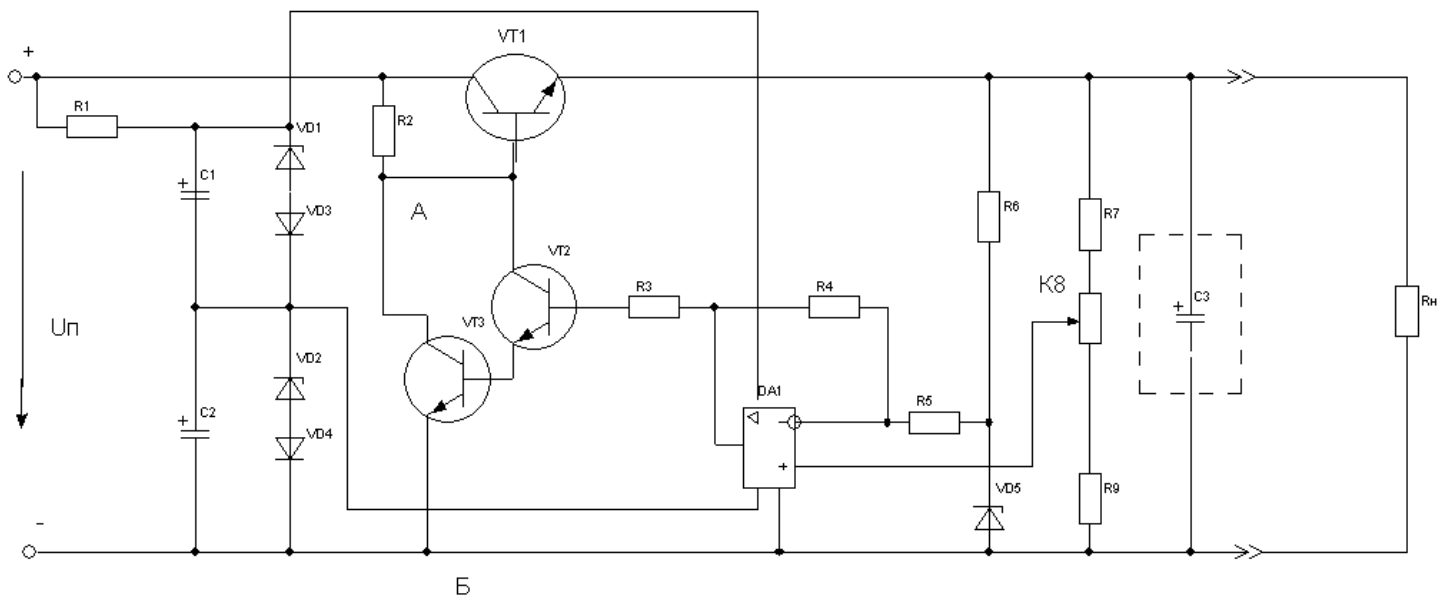


Рис. 2.2 Схема линейного компенсационного стабилизатора напряжения с УПТ на базе операционного усилителя

Регулирующий элемент стабилизатора выполнен на силовом транзисторе VT_1 . Источник опорного напряжения реализован на элементах R_6 VD_5 , а измерительный орган — на резисторах R_7 - R_9 . Сравнение измеренного и опорного напряжений осуществляется на входах микросхемы DA . Это может быть, как простой дифференциальный усилитель, так и операционный усилитель. Роль усилителя постоянного тока выполняют последовательно включённые микросхема DA и транзисторы VT_2 , VT_3 .

2.3.3 Последовательность расчёта

2.3.3.1 Расшифровка исходных данных для расчёта по конкретно заданному варианту

2.3.3.2 Выбор силового транзистора для регулирующего элемента

Для выбора силового транзистора, работающего в качестве регулирующего элемента, необходимо знать режим его работы по основным параметрам: максимально возможному току коллектора при работе в самом нагруженном режиме и максимально возможному напряжению на нём. Так как транзистор включён последовательно с нагрузкой, то указанные параметры легко определяются из исходных данных по нагрузке и параметрам источника питания.

2.3.3.3 Расчёт и выбор элементов для узла сравнения и предварительного усиления.

В соответствии с принципиальной электрической схемой стабилизатора узел сравнения реализован на операционном усилителе DA . Тип усилителя выбирается из условия, чтобы при минимально возможном входном напряжении стабилизатора можно было бы сформировать из него двухполярный источник питания для микросхемы. Этот источник выполнен на элементах R_1 , VD_1 , VD_2 , C_1 , C_2 .

2.3.3.4 Расчёт режима работы и выбор элементов для источника опорного напряжения.

Источник опорного напряжения представляет собой простейший параметрический стабилизатор, выполненный на элементах R6VD5. Параметры этих элементов должны быть такими, чтобы:

1) Протекающий через них ток и входной ток микросхемы соотносились бы следующим образом:

$$I_{R6VD5} \approx (10-100) I_{вх\ оу};$$

2) $I_{R6VD5} \geq I_{ст\ мин\ VD5}$.

2.3.3.5 Определение параметров измерительного органа.

Измерительный орган выполнен на элементах R7R8R9. Сопротивления этих резисторов выбираются такими, чтобы:

1) ток через них $I_{R7R8R9} \approx (10-100) I_{вх\ оу}$;

2) пропорции между ними были такими, чтобы можно было устанавливать любые значения выходного напряжения стабилизатора, оговоренные в исходных данных для расчёта всего СН.

2.3.3.6 Выбор транзисторов для усилителя постоянного тока (VT2VT3).

На этих транзисторах, наряду с микросхемой и самим силовым транзистором VT1, выполнен усилитель постоянного тока (УПТ). Их эквивалентный коэффициент усиления $\beta_{э\кв} = \beta_2 * \beta_3$ должен быть таким, чтобы обеспечить необходимое усиление по току выходного сигнала микросхемы ($I_{в\ых\ оу} \approx 1-2\text{мА}$) до необходимого уровня тока базы транзистора VT1 регулирующего элемента

$$I_{б\text{VT}1} = I_{в\ых\ макс} / \beta_{\text{VT}1}.$$

2.3.3.7 Определение коэффициента полезного действия стабилизатора напряжения в предельных режимах его работы.

Коэффициент полезного действия стабилизатора напряжения рассматриваемого типа равен $\eta = U_{в\ых} / U_{вх}$. Подставляя в это уравнение максимальные и минимальные значения $U_{вх}$ и $U_{в\ых}$, получаем диапазон изменения КПД во всех режимах работы стабилизатора.

2.4. Пример расчёта стабилизатора напряжения.

2.4.1 Исходные данные для расчёта по варианту №20:

1. $U_{пн} = 27\text{ В}$
2. $U_{п\ макс} = 27 + 0,2 * 27 = 32,4\text{ В}$
3. $U_{п\ мин} = 27 - 0,2 * 27 = 21,6\text{ В}$
4. $U_{н} = 10\text{ В}$
5. $U_{в\ых\ мин} = 5 + 0,1(20-1) = 6,9\text{ В}$
6. $U_{в\ых\ макс} = 15 - 0,1(20-1) = 13,1\text{ В}$
7. $P_{в\ых\ макс} = 2 * 20 = 40\text{ Вт}$

2.4.2 Выбор силового транзистора для регулирующего элемент.

Для выбора транзистора, работающего в линейном режиме усиления, необходимо знать максимальные значения его тока и напряжения на нём во всём диапазоне их изменения.

Максимальное значение напряжения на транзисторе будет определяться из условия

$$U_{кэ \text{ макс расч}} = U_{п \text{ макс}} - U_{вых \text{ мин}} = 32,4 - 6,9 = 25,5 \text{ В.}$$

Максимальное значение тока в транзисторе будет равно его максимальному значению в нагрузке, так как они включены последовательно.

$$I_{к \text{ макс расч}} = I_{нагр \text{ макс}} = P_{вых \text{ макс}} / U_{вых \text{ мин}} = 40 / 6,9 = 5,8 \text{ А}$$

Силовой транзистор (регулирующий элемент) выбирается из условия

$$I_{к \text{ макс расч}} \leq I_{к \text{ макс}}, \quad U_{кэ \text{ макс расч}} \leq U_{кэ \text{ макс}},$$

где $I_{кэ \text{ макс}}$ и $U_{кэ \text{ макс}}$ — максимально допустимые справочные параметры выбранного транзистора. Полученным условиям соответствует транзистор КТ908Б, для которого $I_{к \text{ макс}} = 10 \text{ А}$, $U_{кэ \text{ макс}} = 60 \text{ В}$, $\beta = 20$. (См. таблица 2.1)

Определяем сопротивление резистора смещения R_2 , обеспечивающего необходимое значение тока базы силового транзистора VT1. При максимальном значении тока нагрузки $I_{н \text{ макс}} = I_{кVT1 \text{ макс}} = 5,8 \text{ А}$ ток базы транзистора VT1 будет равен

$$I_{бVT1 \text{ макс}} = I_{кVT1 \text{ макс}} / \beta = 5,8 / 20 = 0,29 \text{ А.}$$

Если принять, что ответвлённый при этом в транзистор VT3 ток

$$I_{кVT3} \approx 0,2 I_{бVT1} = 0,2 \cdot 0,29 = 0,058 \text{ А,} \quad \text{то } I_{R2} = I_{бVT1} + I_{кVT3} = 0,29 + 0,058 = 0,35 \text{ А.}$$

Для предельного режима работы стабилизатора

$$U_{R2} = U_{вх \text{ мин}} - U_{АБ} = U_{вх \text{ мин}} - (U_{бэVT1} + U_{вых \text{ макс}}) = 21,6 - (1 + 13,1) = 7,5 \text{ В.}$$

Таким образом, получаем $R_2 = U_{R2} / I_{R2} = 7,5 / 0,35 = 21,4 \text{ Ом}$.

По ГОСТ выбираем $R_2 = 20 \text{ Ом}$. При этом резистор должен быть способен рассеивать выделяющуюся на нём мощность $P_{R2} = I^2 R = 0,35^2 \cdot 20 = 2,45 \text{ Вт}$. Для обеспечения такого условия резистор с эквивалентным сопротивлением 20 Ом может быть получен путём последовательного включения двух двухваттных резисторов по 10 Ом каждый.

2.4.3 Расчёт и выбор элементов для узла сравнения и предварительного усиления.

В соответствии с принципиальной электрической схемой стабилизатора напряжения (рис.2.2) в качестве узла сравнения (микросхема DA) выбираем операционный усилитель К140УД2Б. Он обладает следующими параметрами:

Напряжение источника питания	$U_{п} = \pm 6,3 \text{ В}$
Коэффициент усиления	$K_y = 3000 - 35000$
Входной ток	$I_{вх} = 0,7 \text{ мА}$
Выходное напряжение	$U_{вых} = \pm 3 \text{ В}$
Потребляемый ток	$I_{п} \leq 5 \text{ мА}$

Так как операционный усилитель требует своего напряжения питания $U_{п} = 6,3 \text{ В}$, то для него необходим свой индивидуальный встроенный стабилизатор напряжения. В соответствии с рис.2.2 такой стабилизатор выполнен на элементах $R_1 V D_1 V D_2 C_1 C_2$. Он представляет собой простой параметрический двухполярный стабилизатор напряжения. В соответствии с параметрами микросхемы, $U_{п} = 6,3 \text{ В}$ и потребляемый ею ток $I_{п} = 5 \text{ мА}$. Так как свой двухполярный источник питания выполнен на стабилитронах $V D_1 V D_2$, то протекающий по ним рабочий ток должен быть значительно больше тока, потребляемого микросхемой DA. Принимая $I_{ст} = (2-3) I_{п}$, получаем $I_{ст} = 15 \text{ мА}$. По справочнику выбираем стабилитрон КС156А, для которого $U_{ст} = 5,6 \text{ В}$ $I_{ст \text{ мин}} = 3 \text{ мА}$ $I_{ст \text{ макс}} = 55 \text{ мА}$.

Так как напряжение стабилизации выбранного стабилитрона $U_{ст}=5,6$ В меньше необходимого питания микросхемы $U_{п}=6,3$ В, то для коррекции этого напряжения последовательно со стабилитронами включаем диоды VD3VD4 типа КД219А, для которого падение напряжения в прямом направлении равно $U_{VD}=0,8$ В. Тогда общее напряжение питания, подаваемое на микросхему будет равно $U_{п\text{ оу}}=U_{ст}+U_{вд}=5,6+0,8=6,4$ В. Именно такое напряжение питания и требуется для микросхемы К140УД2Б.

Общий ток, протекающий через балластный резистор R1, при минимально возможном входном напряжении всего устройства $U_{п\text{ мин}}=21,6$ В должен быть равен $I_{R1}=I_{ст}+I_{п\text{ оу}}=15+5=20$ мА. Тогда $U_{R1\text{ мин}}=21,6-2U_{п\text{ оу}}=21,6-2*6,4=8,8$ В. Таким образом $R1=8,8/(20*10^{-3})=440$ Ом. По ГОСТ принимаем $R1=430$ Ом.

Для сглаживания возможных пульсаций напряжения на стабилитронах включаем параллельно им конденсаторы фильтра $C1=C2=10$ мкФ с рабочим напряжением $U_c=16$ В.

Так как операционный усилитель обладает огромным коэффициентом усиления, то использование его в усилительном режиме с таким усилением приведёт к неустойчивости работы всей системы стабилизации напряжения из-за слишком большой чувствительности микросхемы. В этом случае в сам операционный усилитель необходимо ввести внутреннюю обратную отрицательную связь. На схеме её функцию выполняют резисторы R3 и R4. При наличии такой связи коэффициент усиления микросхемы будет равен $K_{yc}=R3/R4$. Принимая предварительно $K_{yc}=50$ и $R4=1$ кОм, определяем необходимое значение сопротивления резистора R3.

$$R3=K_{yc}*R4=50*1*10^3=5*10^4\text{Ом по ГОСТ принимаем }R3=51\text{кОм.}$$

Определяем сопротивление нагрузки операционного усилителя R2. На практике через этот резистор течёт выходной ток операционного усилителя. Он ограничен его нагрузочной способностью. Принимая его равным (1-2) мА, получим

$$I_{в\text{ых оу}}=I_{б\text{VT}2}=[U_{в\text{ых оу}}-(U_{бэ\text{VT}2}+U_{бэ\text{VT}3})]/R2,$$

$$\text{откуда }R2=(U_{в\text{ых оу}}-2U_{бэ})/I_{в\text{ых оу}}\approx(6,3-2,1)/1,5*10^{-3}=2800\text{ Ом.}$$

По ГОСТ принимаем $R2=2$ кОм.

2.4.4 Расчёт режима работы и выбор элементов для источника опорного напряжения

Источник опорного напряжения представляет собой простейший параметрический стабилизатор, выполненный на элементах R6VD5. Нагрузкой его является инвертирующий вход микросхемы DA, следовательно, режим работы источника должен быть таким, чтобы отвлечение тока на вход микросхемы не влияло на этот выбранный режим, т.е. $I_{ст}\gg I_{вх\text{ оу}}$. Исходя из этого условия, предварительно принимаем

$$I_{ст}\approx 10*I_{вх\text{ оу}}, \quad I_{ст}\geq 10*0,7 = 7\text{ мА.}$$

Вторым условием выбора стабилитрона является то обстоятельство, что напряжение его стабилизации должно соотноситься с заданным максимальным выходным напряжением всего стабилизатора следующим образом

$$U_{в\text{ых}} = U_{ст}*K_d,$$

где $K_d=(R7+R8+R9)/(R8+R9)$ – коэффициент деления делителя выходного напряжения всего стабилизатора. Принимая $K_d=1,1$, получаем $U_{ст}\leq U_{в\text{ых мин}}/K_d=6,9/1,1=6,3$ В. Полученным требованиям удовлетворяет стабилитрон КС-156 с параметрами: $U_{ст}=5,6$ В, $I_{ст\text{ мин}} = 3$ мА, $I_{ст\text{ макс}}=55$ мА. Принимая $I_{ст}\geq I_{ст\text{ мин}}=2I_{ст\text{ мин}}=2*3=6$ мА, получаем ток источника опорного напряжения $I_{оп}=10$ мА. Исходя из полученного тока, находим

$U_{\text{мин } R6} = U_{\text{вых мин}} - U_{\text{ст}} = 6,9 - 5,6 = 1,3 \text{ В}$. Тогда $R6 = U_{R6} / I_{R6} = U_{R6} / I_{\text{д}} = 1,3 / 10 \cdot 10^{-3} = 130 \text{ Ом}$.
По ГОСТ принимаем $R6 = 130 \text{ Ом}$.

2.4.5 Определение параметров измерительного органа

Измерительный орган выполнен на элементах $R7R8R9$. Принимаем общий ток делителя с учётом входного тока операционного усилителя $I_{\text{ио}} \gg I_{\text{вх оу}}$. Принимаем этот ток равным 10 мА. Тогда общее суммарное сопротивление всех резисторов делителя должно быть равно $R_{\Sigma} = U_{\text{вых мин}} / I_{\text{ио}} = 6,9 / (1 \cdot 10^{-2}) = 690 \text{ Ом}$. Так как ранее было определено, что коэффициент деления делителя $K_{\text{д}} = 1,1$, то из условия $K_{\text{д}} = (R7 + R8 + R9) / (R8 + R9)$ находим

$$R8 + R9 = R_{\Sigma} / K_{\text{д}} = 690 / 1,1 = 630 \text{ Ом}. \text{ Тогда } R7 = R_{\Sigma} - (R8 + R9) = 60 \text{ Ом}.$$

Принимая $R9 = R7 = 60 \text{ Ом}$, находим $R8 = R_{\Sigma} - (R7 + R9) = 690 - (60 + 60) = 570 \text{ Ом}$.

По ГОСТ принимаем: $R7 = R9 = 62 \text{ Ом}$, $R8 = 560 \text{ Ом}$.

2.4.6 Выбор транзисторов для усилителя постоянного тока (VT2VT3).

Так как выходной ток УПТ является током базы силового транзистора VT1, то он будет равен $I_{\text{бVT1 макс}} = I_{\text{к макс}} / \beta_1 = 5,8 / 20 = 0,29 \text{ А}$. Зная максимальный ток коллектора VT3

$$I_{\text{кVT3 макс}} = I_{\text{бVT1 макс}} = 0,29 \text{ А}$$

и максимально возможное напряжение на нём, не превышающее $U_{\text{п макс}} = 32,4 \text{ В}$, выбираем в качестве VT3 транзистор КТ608А.

Для него $U_{\text{кэ макс}} = 60 \text{ В}$, $I_{\text{к макс}} = 0,4 \text{ А}$, $\beta = 40-160$.

При этом условии $I_{\text{бVT3}} = I_{\text{кVT3}} / \beta_3 = 0,29 / 40 = 0,00725 \text{ А}$ (7,25 мА).

Исходя из полученных расчётов, коэффициент усиления транзистора VT2 должен быть равен не менее $\beta_2 \geq I_{\text{к2}} / I_{\text{б2}} = I_{\text{бVT3}} / I_{\text{вых оу}} = 7,25 / 1,5 \geq 5$.

Выбираем в качестве VT2 транзистор КТ315И, для которого $U_{\text{кэ макс}} = 60 \text{ В}$, $I_{\text{к макс}} = 50 \text{ мА}$, $\beta = 30$.

2.4.7. Определение коэффициента полезного действия стабилизатора напряжения в предельных режимах его работы.

Коэффициент полезного действия стабилизатора напряжения определяется выражением

$$\eta = P_{\text{н}} / P_{\text{вх}} = U_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}} / (U_{\text{вх}} \cdot I_{\text{н}}) = U_{\text{н}} / U_{\text{вх}},$$

где $U_{\text{н}}$ и $I_{\text{н}}$ — напряжение и ток в нагрузке (на выходе стабилизатора). Предельными режимами работы стабилизатора являются:

1) При максимальном $U_{\text{вх}}$ и минимальном $U_{\text{вых}}$,

2) При минимальном $U_{\text{вх}}$ и максимальном $U_{\text{вых}}$.

Для первого случая получим $\eta_{\text{мин}} = U_{\text{н мин}} / U_{\text{вх макс}} = 6,9 / 21,6 = 0,32$.

Для второго случая $\eta_{\text{макс}} = U_{\text{н макс}} / U_{\text{вх мин}} = 13,1 / 21,6 = 0,61$.

Таким образом, во всём диапазоне изменения входного и выходного напряжений КПД будет находиться в пределах $\eta = 0,32-0,61$.

ЛИТЕРАТУРА,

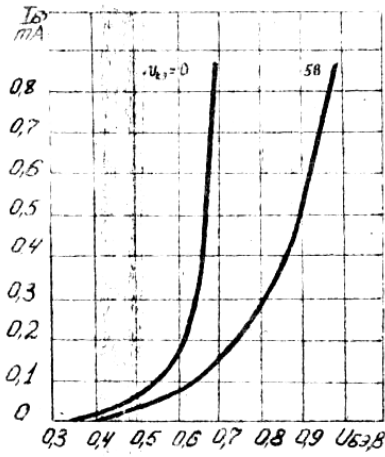
1. Электротехника и Электроника. под ред. Проф. Герасимова В.Г., книга 3. М. Энергоатомиздат, 2001г.
2. Касаткин А.С. Немцов М.В. Электротехника. М. Энергоатомиздат. 2006г.
3. Прохоров В.А. Элементы и узлы полупроводниковых преобразователей. М., МГТУ «МАМИ» 2003г.
4. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам., Н.Н. Горюнов, М., Энергия, 1986г. 903с.
5. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. Учебное пособие для приборостроительных специальностей вузов. 2-е издание. М., Высшая школа 1991г.

Приложение 1

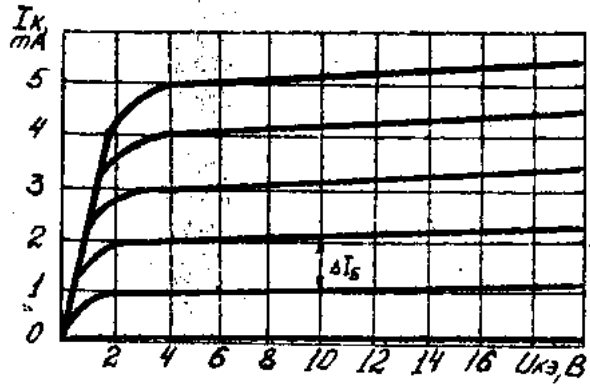
Справочные данные некоторых транзисторов, предназначенных для работы в схемах усилителя напряжения низкой частоты

Тип транзистора	Максимально допустимы	Макс. допуст. напряжение, $U_{кз, доп}$	Нач. ток транзистора, $I_{кз, мкА}$	Выходное сопротивление, h_{11} Ом	Коэф. обр. связи, h_{12}	Коэф. усиления, h_{21} (усиленные)	Вых. проводимость H_{22} , Ом ⁻¹	Наиб. рассеиваем. мощно	Обратный ток коллектора I к обр, мкА	f_H Гц
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
КТ-301.301АА	10	20	2	1000	$1,5 \cdot 10^{-3}$	60	$3 \cdot 10^{-6}$		10	70
КТ-3102	100	50		1000	$0,5 \cdot 10^{-3}$	200	$8 \cdot 10^{-6}$	0,15	0,05	40
ГТ-108А	50	10		540	$9 \cdot 10^{-3}$	35	$12 \cdot 10^{-6}$	0,075	10	65
ГТ-109А	20	6	1,0	1000	$6 \cdot 10^{-3}$	60	$12 \cdot 10^{-6}$	0,03	0,05	50
ГТ-309Б			1,0	4500	$9 \cdot 10^{-3}$	120	$25 \cdot 10^{-6}$	0,05	14	20
ГТ-322Б	10	25	1,0	2500	$4 \cdot 10^{-3}$	85	$85 \cdot 10^{-6}$	0,2	4	50
МП21Б	50	20	1,0	1200	$5 \cdot 10^{-3}$	105	$90 \cdot 10^{-6}$	0,15	10	45
МП-21Б	60	40	3	800	$6 \cdot 10^{-3}$	60	$60 \cdot 10^{-6}$	0,15	10	80
МП-25	20	40	1,5	100	$7 \cdot 10^{-3}$	20	$7,5 \cdot 10^{-6}$	0,25	25	60
КП-25А	25	40	10	1000	$5 \cdot 10^{-3}$	30	$30 \cdot 10^{-6}$	0,2	25	60
МП-26	20	70	2	1000	$10 \cdot 10^{-3}$	20	$60 \cdot 10^{-6}$	0,2	75	60
МП-26Б	25	70		700	$10 \cdot 10^{-3}$	35	$20 \cdot 10^{-6}$	0,2	73	40
МП-39	15	20		850	$7 \cdot 10^{-3}$	28	$55 \cdot 10^{-6}$	0,15	15	50
МП-39Б	15	20		1100	$6 \cdot 10^{-3}$	40	$45 \cdot 10^{-6}$	0,15	15	40
МП-40А	20	30	8	900	$8 \cdot 10^{-3}$	30	$60 \cdot 10^{-6}$	0,15	10	30
МП-41	20	15		950	$8 \cdot 10^{-3}$	45	$50 \cdot 10^{-6}$	0,15	10	20
МГМ1А	20	15		750	$5 \cdot 10^{-3}$	75	$75 \cdot 10^{-6}$	0,15	10	20
МП-42	30	15	25	950	$8 \cdot 10^{-3}$	30	$30 \cdot 10^{-6}$	0,2	20	80
МП-42А	30	15		800	$10 \cdot 10^{-3}$	40	$45 \cdot 10^{-6}$	0,2	20	75
МП-111 (111А)	20	20	1,5	320	$6 \cdot 10^{-3}$	20	$50 \cdot 10^{-6}$	0,15	10	50

Приложение 2

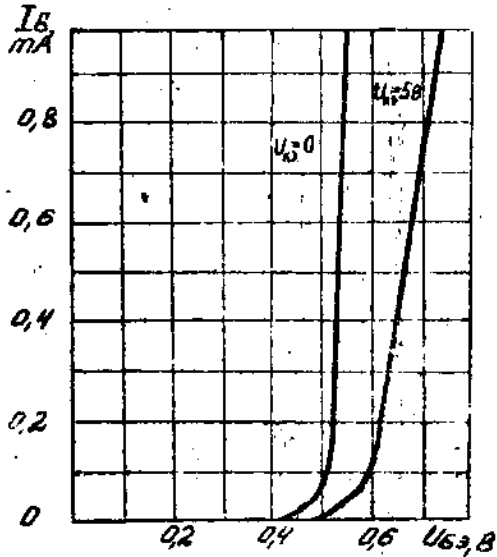


а)

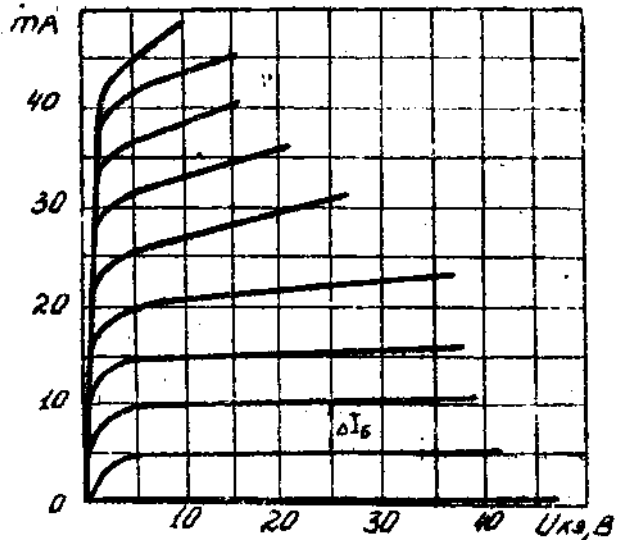


б)

Входные (а) и выходные (б) характеристики транзисторов КТ 301В, КТ 301Д; $\Delta I_B = 25 \text{ мкА}$,
 КТ 301 А, КТ 301Б $-\Delta I_B = 12,5 \text{ мкА}$

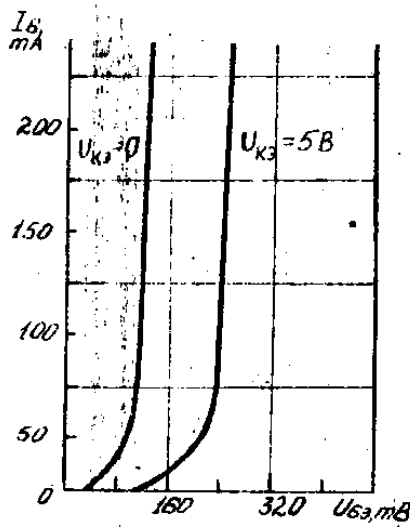


а)

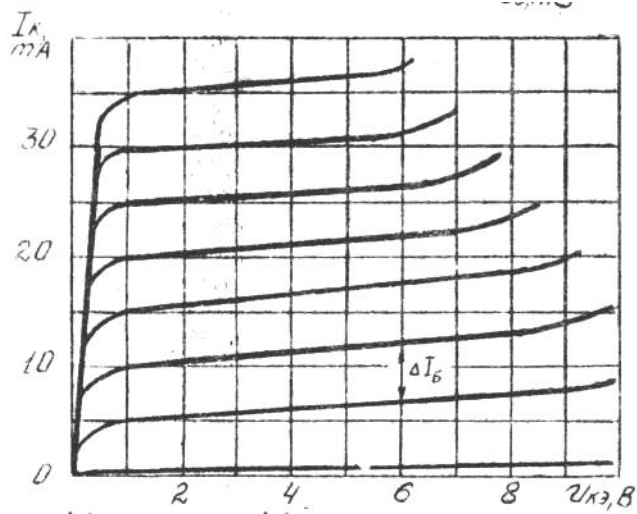


б)

Входные (а) и выходные (б) характеристики транзисторов КТ 3102 А $-\Delta I_B = 25 \text{ мкА}$
 КТ 3102 Б, В, Д $-\Delta I_B = 15 \text{ мкА}$.

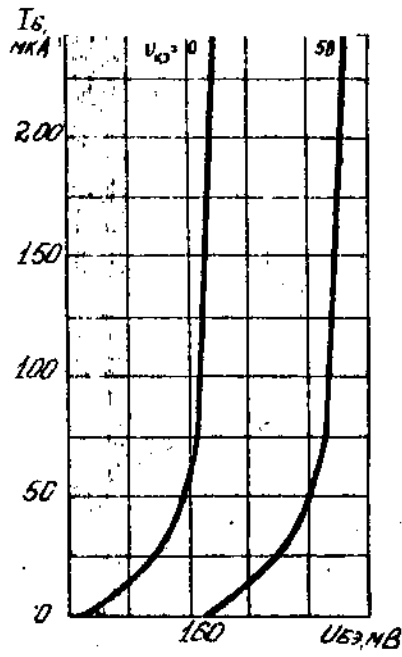


а)

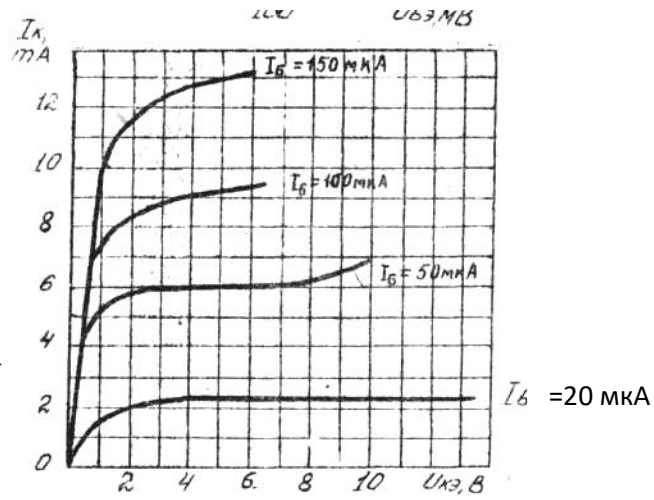


б)

Входные (а) и выходные (б) характеристики транзисторов ГТ 108 А $\Delta I_B = 100 \text{ мкА}$

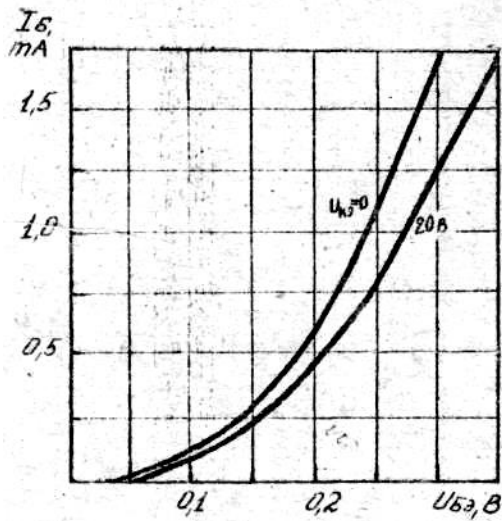


a)

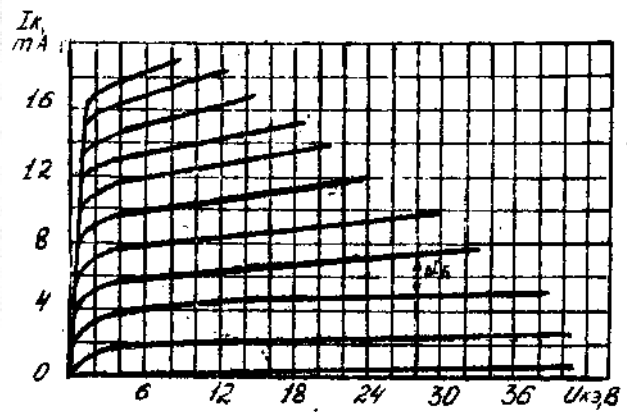


б)

Входные (а) и выходные (б) характеристики транзисторов ГТ 322 А, 322 Б, 322 В.

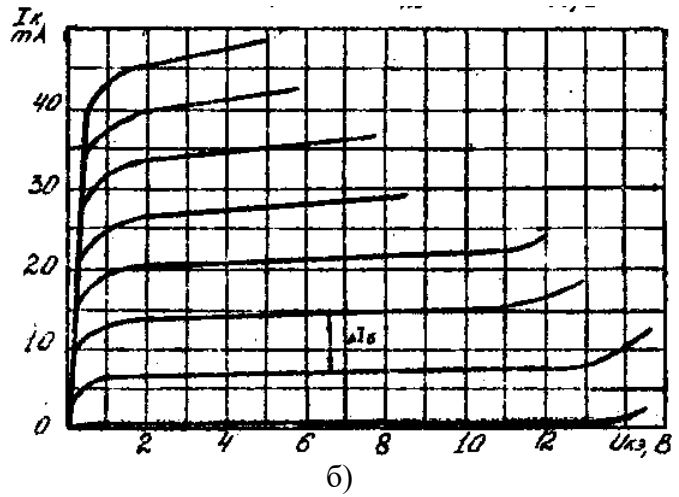
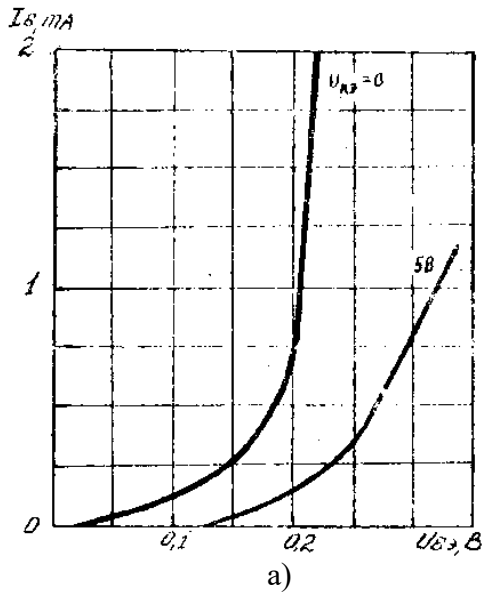


a)

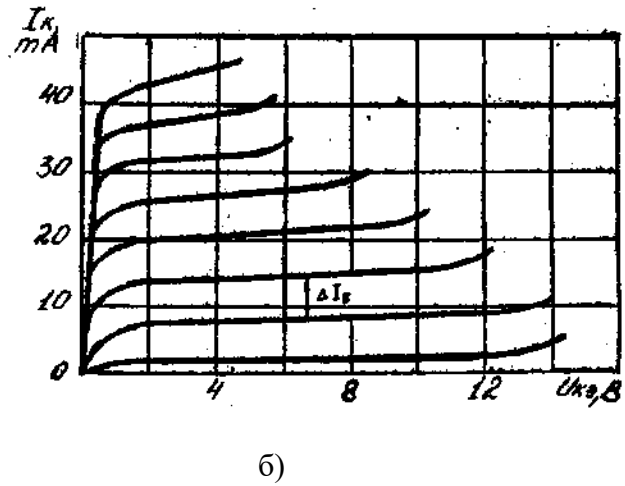
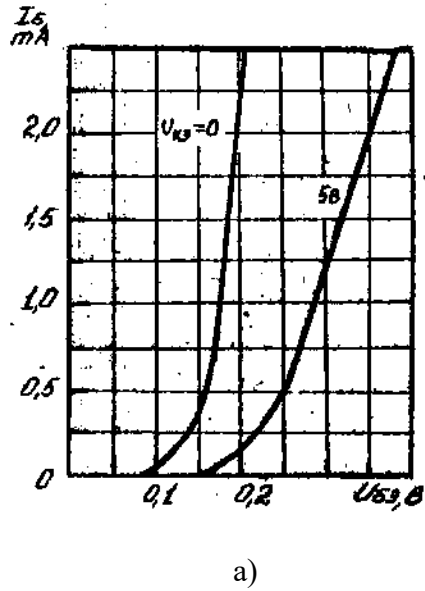


б)

Входные (а) и выходные (б) характеристики транзисторов МП 25, МП 26 - $\Delta I_B = 0,1$ мА
 МП 25А - $\Delta I_B = 0,05$ мА МП 26Б - $\Delta I_B = 0,025$ мА



Входные (а) и выходные б) характеристики транзисторов МП 39- $\Delta I_B = 400$ мкА
 МП 39Б, МП 40, МП 40А, МП41- $\Delta I_B = 200$ мкА МП 41А - $\Delta I_B = 100$ мкА



Входные (а) и выходные (б) характеристики транзисторов МП 42, МП 42А - $\Delta I_B = 150$ мкА
 МП 42Б- $\Delta I_B = 100$ мкА .

Приложение 3

Справочные данные транзисторов

	ТИ П	П/Н	ТИП2	Uкб,В	Uкэ, В	Uбэ, В	Iк (пост), А	Iк (им), А	Вст	Uкэ (нас), В
КТ208А,Б,В	р	0	1	20	20	20	0,15	0,3	20—60	0,4
КТ208Л,М	р	1	1	60	60	20	0,15	0,3	40—120	0,4
КТ209А	р	2	1	15	15	10	0,3	0,5	20—60	0,4
КТ209М	р	3	1	60	60	20	0,3	0,5	40—120	0,4
КТ501А	р	4	1	15	15	10	0,3	0,5	20—60	0,4
КТ501М	р	5	1	60	60	20	0,3	0,5	40—120	0,4
КТ502А	р	6	1	40		5	0,15	0,35	40—120	0,6
КТ502Е	р	7	1	90		5	0,15	0,35	80—240	0,6
КТ301Г	п	8	0	30	30	3	0,01	0,02	10—32	3
КТ301Ж	п	9	0	20	20	3	0,01	0,02	80—300	3
КТ312А	п	10	0	20	20	4	0,03	0,06	10—100	0,8
КТ312В	п	11	0	20	20	4	0,03	0,06	50—280	0,8
КТ315А	п	12	0		25	6	0,1		20—90	0,4
КТ315И	п	13	0		60	6	0,05		30	0,4
КТ326А	р	14	1	20	15	4	0,05		20—70	0,3
КТ326Б	р	15	1	20	15	4	0,05		40—160	0,3
КТ350А	р	16	1	20	15	5		0,6	20—200	1
КТ351А	р	17	1	20	15	5		0,4	20—80	0,6
КТ351В	р	18	1	20	15	5		0,4	52	0,35
КТ361А	р	19	1	25	25	4	0,05		20—90	
КТ361Е	р	20	1	35	35	4	0,05		50—350	
КТ501А	р	21	1	15	15	10	0,3	0,5	20—60	0,4
КТ501М	р	22	1	60	60	20	0,3	0,5	40—120	0,4
КТ502А	р	23	1	40		5	0,15	0,35	40—120	0,6
КТ502Е	р	24	1	90		5	0,15	0,35	40—120	0,15
КТ608А	р	25	0	60	60	8	0,4	0,8	20—80	1
КТ608Б	п	26	0	80	80	8	0,4	0,8	40—160	0,4
КТ630А	п	27	0	120	120	7	1	2	40—120	0,3
КТ630Е	п	28	0	60	60	7	1	2	160—480	0,3
КТ801А	п	29	0		80	2,5	2		15—30	2
КТ801Б	п	30	0		60	2,5	2		20—100	2
КТ803А	п	31	0		60	4	10		10—70	2,5
КТ808А	п	32	0		120	4	10		10—50	
КТ809	п	33	0		400	4	3	5	15—100	1,5
КТ812А	п	34	0		400	7	8	12	4	1,6
КТ812В	п	35	0		200	7	8	12	10	1,6
КТ814А	р	36	1		40	5	1,5	3	40	0,6
КТ815А	п	37	0		40	5	1,5	3	40	0,6
КТ814Г	р	38	1		100	5	1,5	3	30	0,6
КТ815Г	п	39	0		100	5	1,5	3	30	0,6
КТ816А	р	40	1		25	5	3	6	20	1
КТ817А	п	41	0		40	5	3	6	20	1
КТ816Г	р	42	1		80	5	3	6	15	1
КТ817Г	п	43	0		100	5	3	6	15	1
КТ818А	р	44	1		25	5	10	15	15	2
КТ819А	п	45	0		40	5	10	15	15	2
КТ818Г	р	46	1		80	5	10	15	12	2
КТ819Г	п	47	0		100	5	10	15	12	2
КТ904	п	48	0	65	65	4	0,8	1,5	10—60	0,3
КТ914А	р	49	1	65	65	4	0,8	1,5		
КТ907А,Б	п	50	0		60	4	1	3	50	0,35
КТ908А	п	51	0		100	5	10		10 - 60	1,5
КТ908Б	п	52	0		60	5	10		20	1,5

Приложение 4

Параметры операционных усилителей

Тип ОУ	Обозначение параметра							
	U _{и.п1} [В]	U _{и.п2} [В]	I _{пот.} [мА] не более	K _у [U]	I _{вх.} [мА] не более	R _{вх.} [кОм] не менее	U _{вых.} [В]	R _{н.} [кОм] не менее
К140УД1А	+6.3	-6.3	6.0	500-4500	6000	4	±2.8	5.05
К140УД1Б	+12.6	-12.6	12.0	1600-11500	9000	4	+5.7 -5.0	5.05
К140УД2А	+12.6	-12.6	8.0	35000-200000	700	300	±10.0	-
К140УД2Б	+6.3	-6.3	5.0	3000-35000	700	-	±3	-
К140УД5А	±12.0	-12.0	-	500	5000	-	+6.5 -4.5	-
К140УД5Б	+12.0	12.0	-	1000	10000	-	+6.5 -4.5	-
К140УД6	+15.0	-15.0	4.0	30000	100	1000	±11	-
К140УД7	+15.0	-15.0	3.5	50000	400	400	±10.5	-
К140УД8А	+15.0	-15.0	5.0	50000	0.2	-	-	-
К140УД8Б	+15.0	-15.0	5.0	50000	0.2	-	-	-
К140УД8В	+15.0	-15.0	5.0	20000	0.2	-	-	-
К140УД9	±12.6	-12.6	8.0	35000	350	300	±10	-
К140УД13	+15.0	-15.0	2.0	10	0.5	50000	±10	-
К140УД14	+15.0	-15.0	0.6	50000	2	30000	±13	-
К153УД1А	-	-	6.0	15000-80000	1500	100	±10	2.0
К153УД2	-	-	-	20000	1500	-	±10	-
К153УД3	-	-	3.6	25000	200	-	±10	-
К153УД4	-	-	0.7	5000	400	-	±4	-

СОДЕРЖАНИЕ

1. Расчет каскада усилителя напряжения низкой частоты на транзисторах	
1.1 Исходные данные для расчета.....	3
1.2 Задание.....	3
1.3 Указания к выполнению работы.....	4
1.4 Порядок выполнения расчетов.....	5
1.5 Расчет динамических параметров усилителя.....	7
2. Расчет стабилизаторов постоянного напряжения (СН).....	9
2.1. Задание на расчет.....	9
2.2. Исходные данные для расчета СН.....	9
2.3. Алгоритм расчета стабилизатора напряжения.....	9
2.3.1. Разработка функциональной схемы (блок-схемы).....	9
2.3.2. Разработка принципиальной электрической схемы стабилизатора.....	10
2.3.3. Последовательность расчета.....	11
2.4. Пример расчета стабилизатора.....	12
Литература.....	16
Приложения 1-4	17

Девочкин Олег Васильевич

Прохоров Виктор Андреевич

Гайтова Тамара Борисовна

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА. Раздел Электроника

**Методические указания для выполнения курсовых и расчетно-графических работ по курсу
Электротехника и электроника. Раздел электроника.**

Подписано в печать

, Заказ

Тираж

Усл. Авт л. 1,5

Уч. Изд. Л.

МГТУ «МАМИ», Москва, 105839, Б. Семеновская, 38