Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра электроники

ЭЛЕМЕНТЫ И СХЕМОТЕХНИКА АНАЛОГОВЫХ УСТРОЙСТВ

Методические указания по выполнению курсовых работ
для студентов специальности 5В071600 – Приборостроение

Алматы 2014

СОСТАВИТЕЛИ: Т.М. Жолшараева, С.Б. Абдрешова. Элементы и схемотехника аналоговых устройств. Методические указания по выполнению курсовых работ для студентов специальности 5В071600 – Приборостроение. – Алматы: АУЭС, 2013. – 29 с.

Рассмотрены вопросы разработки электронных аналоговых устройств, сформулированы цели и задачи курсовой работы, даны варианты заданий, приведены сведения о последовательности выполнения курсовой работы, требования к её содержанию, примеры расчётов схем, тематический список литературы. В приложении дан образец выполнения принципиальной схемы.

Методические указания предназначены для студентов специальности 5В071600 – Приборостроение.

Ил.8, табл.1, библиогр. – 31 назв.

Рецензент: доц. С.А. Калиева.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2013 год.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2014 г.

Содержание

Введение	4
1 Цель курсовой работы	4
2 Предмет курсовой работы	4
3 Задания на курсовую работу	4
4 Содержание и объем курсовой работы	4
5 Требования, предъявляемые к выполнению принципиальных электрических схем	5
6 Выбор электрорадиоэлементов (ЭРЭ)	6
7 Примеры расчета электронных схем	8
Приложение А	22
Приложение Б	23
Приложение В	24
Приложение Г, Д	25
Список литературы	26

Введение

Данные методические указания предназначены для студентов специальности 5В071600 – Приборостроение, учебный план которых предусматривает выполнение курсовой работы по электронным аналоговым устройствам.

Методические указания в сжатом виде содержат все сведения, необходимые для последовательного выполнения работы студентом, правильного её оформления и защиты. Дополнительные сведения, а также ответы на контрольные вопросы, которые могут возникнуть в процессе работы, студент может получить на консультациях. Приложения содержат: ряды номинальных сопротивлений и емкостей, образец выполнения принципиальной электрической схемы.

1 Цель курсовой работы

Целью курсовой работы является приобретение студентом навыков самостоятельной работы со специальной технической и справочной литературой, знаний и умений анализа и синтеза электронных схем, расчёта и конструирования электронной аппаратуры.

Курсовое проектирование является завершающим этапом изучения курса и даёт возможность студентам проявить самостоятельность в решении задач, возникающих при разработке электронных устройств.

2 Предмет курсовой работы

Выполнение курсовой работы дает возможность студенту:

– получить навыки работы с научно–технической литературой, системой государственных и фирменных стандартов;

– познакомиться с основными этапами разработки электронных устройств и аппаратов;

– закрепить знания методов расчёта электронных устройств;

– изучить элементную базу электронных устройств.

3 Задания на курсовую работу

Задания выдаются студентам строго индивидуально в соответствии с таблицами в приложениях Г и Д.

4 Содержание и объем курсовой работы

Курсовая работа должна содержать:

а) расчётно-пояснительную записку объёмом 25 – 35 страниц текста;

б) графическую часть на листах формата А4.

4.1 Пояснительная записка

Пояснительная записка должна содержать:

а) титульный лист;

б) задание;

в) содержание;

г) введение;

д) обзор электронных устройств данного класса с анализом их достоинств и недостатков - (10-15) стр.;

е) обоснование выбора принципиальной электрической схемы – (2-3)стр.;

ж) электрический расчёт электронной схемы – (10 - 15) стр.;

и) заключение;

к) список литературы;

л) приложения.

Обзор существующих аналогичных электронных устройств производится по данным отечественной и зарубежной литературы, авторским свидетельствам, патентам и другим источникам. Обзор излагается кратко и чётко с учётом лишь главных аспектов задания.

Выбор принципиальной электрической схемы должен основываться на результатах сравнительного анализа существующих схем по электрическим, конструктивным, технологическим и др. показателям.

Расчёт принципиальной электрической схемы целесообразно проводить в два этапа: сначала осуществляется ориентировочный, прикидочный расчёт (определяется число каскадов, выбираются режимы работы каскадов, рассчитываются приближённо их входные и выходные данные). Если его результаты согласуются с исходными данными на курсовую работу, то переходят к детальному, окончательному расчёту элементов схемы.

При этом найденные номиналы элементов необходимо выбирать в соответствии с требованиями технических условий на радиотехнические детали и элементы (приложение А).

4.2 Графическая часть

Графическая часть должна содержать принципиальную электрическую схему (приложение Б) с перечнем элементов или спецификацией. (приложение В). Если спецификация не входит в основной чертёж принципиальной схемы, то её можно сделать на отдельном листе формата А4.

5 Требования, предъявляемые к выполнению принципиальных электрических схем

Правила построения и выполнения принципиальных электрических схем установлены стандартами ЕСКД (ГОСТ 2.701 – 76, 2.705 – 75).

Все элементы электронного устройства на схеме изображают в виде условных графических обозначений, установленных в стандартах ЕСКД.

Обычные для курсовых работ масштабы: уменьшения 1:2, увеличения 2:1.

Условные обозначения элементов и линии связи должны быть выровнены по горизонтали и по вертикали.

Графические обозначения элементов следует выполнять линиями той же толщины, что и линии связи.

В соответствии с ГОСТ 2.751–73 в узлах электрической связи необходимо показать точки в виде зачернённых кружков.

При изготовлении схем, имеющих входы и выходы, входы, как правило, располагают слева, а выходы справа.

6 Выбор электрорадиоэлементов (ЭРЭ)

При проектировании возникает задача выбора ЭРЭ из чрезвычайно широкого их ассортимента. Ниже даны рекомендации по выбору основных типов ЭРЭ. Полагаем, что стандартный ЭРЭ выбран правильно, если номинальное значение его параметров находится в допускаемых отношениях (равно, больше, меньше) с расчётными значениями этих параметров.

Транзисторы

Применение высокочастотных транзисторов в низкочастотных электронных устройствах нежелательно, так как они дороги, склонны к самовозбуждению и развитию вторичного пробоя, обладают меньшими эксплуатационными запасами.

Не следует применять мощные транзисторы там, где можно применять маломощные.

Если нет особых причин для применения германиевого транзистора, лучше применить кремниевый.

Полупроводниковые диоды

Необходимо применять диоды по указанному в справочнике назначению.

Обратное напряжение на диоде и прямой ток через него не должны превышать 70 – 80 % от максимально допустимых значений.

Рабочая частота не должна превышать указанного в справочнике предельного значения.

Резисторы

В курсовой работе рекомендуется применять резисторы постоянного назначения типа МЛТ.

Резисторы постоянные специальные (прецизионные, высокоомные и др.) следует применять в тех случаях, когда значения соответствующих параметров резисторов общего назначения недостаточны.

Переменные резисторы следует применять только по назначению.

Конденсаторы

Тип конденсатора выбирают по совокупности значений его номинальных емкостей и рабочего напряжения.

Не следует без необходимости применять конденсатор с номинальным напряжением, значительно превышающим рабочее, т.к. при этом значительно ухудшаются массогабаритные и стоимостные показатели изделия.

Оксидные конденсаторы изготавливаются двух типов: полярные и неполярные. Полярные конденсаторы можно устанавливать лишь в тех цепях, в которых постоянная составляющая напряжения на конденсаторе будет больше амплитуды переменной составляющей.

Микросхемы

Главным условием применения микросхем является строгое соблюдение режимов работы, рекомендованных в технических условиях на выбранную микросхему. Это относится в первую очередь к величине напряжения питания, сопротивления нагрузки и диапазону температур.

Рекомендации по применению аналоговых микросхем приводятся в справочниках. Так, наиболее полно требованиям к усилителям низкой частоты удовлетворяют следующие серии микросхем: 140, 153, 157, 544, 553, 574, 1040, 1053, 1401, 1417, 1418, 1420, 1424, 1435, 1450.

Отметим некоторые особенности интегральных схем (ИС), которые необходимо учитывать при монтаже и эксплуатации.

При выборе микросхем необходимо избегать применения ИС разных серий. Если это неизбежно, то лучше применять микросхемы с одинаковым напряжением питания. Для устранения паразитной генерации по цепям питания в их шинах возле каждого операционного усилителя (ОУ) рекомендуется устанавливать конденсаторы емкостью (0.01 – 0.05) мкФ. Для защиты от всплесков дифференциального сигнала при переходных процессах между входами ОУ можно включить встречно-параллельные диоды.

Если ОУ не имеет внутренней защиты от короткого замыкания на выходе, то необходимо последовательно с выходным зажимом включить резистор сопротивлением 200 Ом, а цепь обратной связи подключить к

другому выводу резистора. Такое включение практически не увеличивает выходное сопротивление ОУ.

7 Примеры расчёта электронных схем

Рассчитать двухтактный бестрансформаторный усилитель мощности, изображенный на рисунке 7.1, если заданы мощность в нагрузке $P_н$=2 Вт и сопротивление нагрузки $R_н$=10 Ом. Усилитель работает от источника сигнала с параметрами $E_г$=600 мВ и $R_г$=10 Ом.

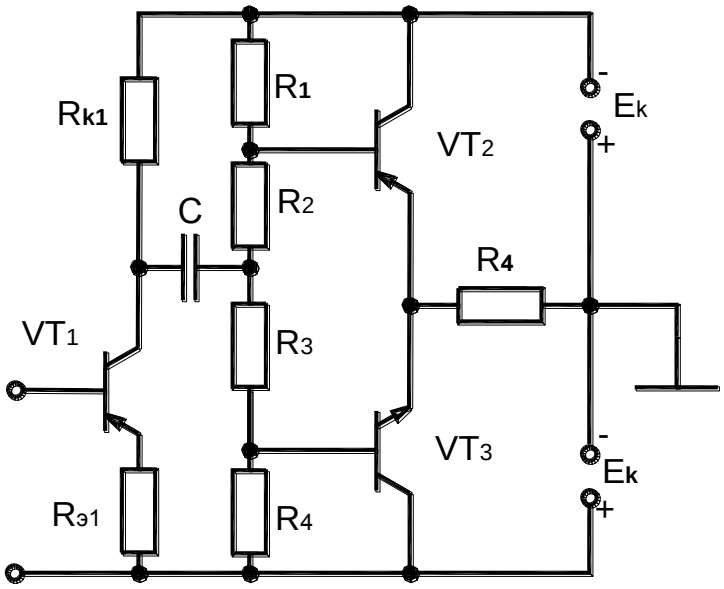


Рисунок 7.1

Решение.

а) определим с небольшим запасом мощность, которую должны выделять транзисторы обоих плеч каскада

$P = 1{,}1P_н = 2{,}2$ Вт;

б) требуемое максимальное значение коллекторного тока

$$I_{кмакс.} = \sqrt{\frac{2P}{R_H}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2{,}2}{10}} = 0{,}66 \quad A;$$

в) максимальное напряжение в цепи коллектор – эмиттер определим по выходным характеристикам транзисторов. Остаточное напряжение $U_{ост}$ должно отсекать нелинейную часть характеристик. Примем $U_{ост} \approx 1$В;

г) требуемую амплитуду напряжения на нагрузке $U_{вых}$ найдем из формулы

$$U_{кмакс.} = \frac{2P}{I_{кмакс}} = \frac{2 \cdot 2{,}2}{0{,}66} = 6{,}6 \quad B;$$

д) необходимое напряжение источника питания $E_к \geq U_{ост} + U_{km} = 6{,}6+1 =$ $= 7{,}6$ В. Возьмем с запасом $E_к = 8$ В;

е) выбираем мощные транзисторы VT_1 и VT_3 по значению отдаваемой мощности P и максимальному напряжению на коллекторе. Подходящими транзисторами с противоположным типом проводимости (комплементарной парой) являются транзисторы типа КТ814А и КТ815А. Примем, что среднее значение коэффициентов усиления по току β =25.

Тогда

$I_{бмакс.} = I_{кмакс.} / \beta = 0{,}6 / 25 = 0{,}015$ А = 15мА;

ж) рассчитаем цепь базового делителя $R_1 \div R_4$. Потенциал базы транзистора VT_2 в состоянии покоя выберем, исходя из необходимого начального тока через транзисторы VT_2 и VT_3 и вида входных характеристик. Пусть $I_{к.нач}$=10 мА, тогда $I_{б.нач}$=0,4 мА. Из входных характеристик находим $U_{бэ.нач}$=0,45 В. Примем ток делителя $I_д$ равным 0,8 мА, тогда

$$R_1 = R_4 = \frac{E_к - U_{бэ.нач}}{I_Д + I_{б.нач}} = \frac{8 - 0{,}45}{0{,}8 + 0{,}4} = 6{,}3 \quad кОм;$$

$$R_2 = R_3 = \frac{U_{бэ.нач}}{I_Д} = \frac{0{,}45}{0{,}8} = 0{,}56 \quad кОм;$$

и) рассчитаем каскад предварительного усиления на транзисторе VT_1. Коэффициент усиления каскада на VT_1 определяется выражением

$$K_{U1} = \frac{\beta_1 R_{k1} \,||\, R_{вх2}}{R_Г + R_{вх1}} \approx \frac{R_{к1} \,||\, (\beta_2 R_н + R_2)}{R_Г / \beta_1 + r_{э1} + R_{э1}},$$

где $R_{вх1} = r_{б1} + (r_{э1} + R_{э1})(1+\beta_1)$, $R_{вх2} \approx \beta_2 R_н + R_2$ при условии достаточно высокоомных резисторов R_1 и R_4, β_2= 25 – коэффициент передачи тока базы транзисторовVT_2 и VT_3.

С другой стороны, каскад на транзисторе VT_1 должен обеспечить следующее усиление: $K_{U1} = u_{кмакс} / E_Г = 6{,}6 / 0{,}6 = 11$. Такое усиление можно получить, задавшись током покоя транзистора VT_1, равным 5 мА. Выбрав $R_{к1}$ = 2 кОм, обеспечим режимное значение $U_{кэ1}$ = 5 В. Из формулы для K_{U1} при $r_{э1}$ = 5 Ом и β_1 = 50 находим сопротивление эмиттерного резистора $R_{э1}$, регулирующего усиление каскада на VT_1. Сопротивление $R_{э1}$=47 Ом обеспечивает необходимый коэффициент усиления каскада предварительного усиления на VT_1;

и) амплитуда входного тока транзистораVT_1

$$I_{вх.макс} = \frac{U_{вх.макс}}{R_Г + R_{вх1}} \approx \frac{E_Г}{\beta_1 (r_{э1} + R_{э1})} = \frac{0{,}6}{50(5+47)} \approx 0{,}23 \cdot 10^{-3} A = 0{,}23 \quad мА;$$

к) коэффициент усиления по мощности для рассчитываемого усилителя

$$K_P \frac{P_н}{P_{вх}} = \frac{2P_н}{U_{вх.макс} I_{вх.макс}} = \frac{2 \cdot 2{,}2}{0{,}6 \cdot 2{,}3 \cdot 10^{-4}} = 3{,}2 \cdot 10^4.$$

Рассчитать дифференциальный усилитель (ДУ) на биполярных транзисторах с генератором стабильного тока (ГСТ), несимметричным входом. ЭДС входного сигнала $E_г$ = 10 мВ, сопротивление $R_г$ = 0,1 кОм.

Требуемый коэффициент усиления $K_{УД}$ = 20, сопротивление $R_{вх} \geq 5$ кОм. Выбрать значение напряжения источников питания, рассчитать элементы схемы, величину $K_{ос.сф}$, а также оценить приведенный дрейф усилителя при условии, что абсолютные значения температурных приращений напряжений и токов транзистора разнятся на 5%.

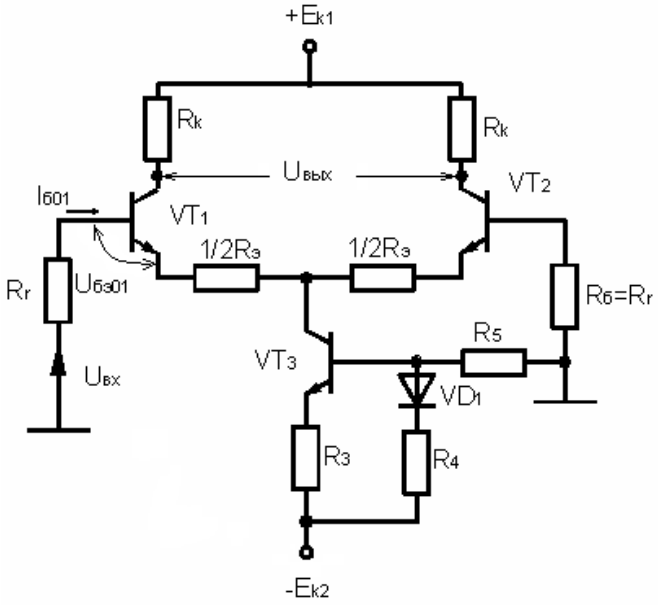


Рисунок 7.2

Решение.

Для обеспечения малого дрейфа ДУ выбираем транзисторы КТ312А, имеющие малый тепловой ток и достаточно высокий коэффициент β. Допустимое напряжение $U_{кэ.макс} \leq 15$В. Следовательно, $E_{к1}=E_{к2} \leq 7{,}5$ В. Амплитуда выходного напряжения $U_{вых}= K_{Уд}E_г = 20*10 = 200$ мВ может быть обеспечена при $E_{к1} = E_{к2} = 6{,}3$В. Меньшие значения $E_к$ затрудняют построение ГСТ.

При использовании двух источников питания $\pm E_{к1,2}$ в схеме ДУ по рисунку 7.2 потенциал эмиттеров транзисторов VT_1, VT_2 в режиме покоя можно принять равным нулю. Это связано с тем, что падение напряжения в цепях баз транзисторов VT_1, VT_2 от тока покоя $I_{б01}R_г$ очень мало при малых входных токах и, следовательно, база транзистора может считаться заземленной по постоянному току. Тогда потенциал эмиттера отличается от потенциала земли на величину $U_{бэ01,2}= 0{,}5 \div 0{,}7$ В для кремниевых транзисторов. Поэтому в первом приближении можно считать, что напряжение нижнего источника ($-E_{к2}$) приложено к ГСТ, а верхнего ($+E_{к1}$) - к транзистору VT_1 (VT_2) и резистору $R_к$.

Выбираем для транзисторов VT_1 и VT_2 рабочую точку с $U_{кэ0}$ = 3В, $I_{к0}$=1мА, $U_{бэ0}$ =0,45 В. Тогда номинал резистора $R_к$ составляет

$$R_K = \frac{E_{к1} - U_{кэ0}}{I_{к0}} = \frac{6{,}3-3}{1} = 3{,}3 \ \ кОм.$$

В выбранном режиме $h_{11э}$=2 кОм, β=35, тогда

$$I_{б0} = \frac{I_{к0}}{\beta} = \frac{1}{35} = 0{,}029 \quad мА.$$

Для увеличения $R_{вх}$ и выравнивания токов транзисторов VT_1 и VT_2 введем резисторы $R_э$, вносящие местную ООС по току транзисторов. Обычно $R_э$ выбирают порядка десятков или сотен Ом.

Полагаем $R_э$ =40 Ом, тогда

$$R_{ВХ.Д} = 2\left[h_{11э} + \frac{R_э}{2}(\beta + 1) \right] = 2\left[2 \cdot 10^3 + 20(35+1)\right] = 5{,}44 \quad кОм,$$

т.е. $R_{вх}$ >5 кОм.

Для уменьшения токовой составляющей погрешности ДУ в базовую цепь транзистора VT_2 включаем резистор $R_б$=$R_г$. Проверим, обеспечивает ли ДУ требуемое значение $К_{Uд}$. При несимметричном выходе и $R_н$ = ∞

$$К_{Uд} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\beta R_к}{R_r + R_{вх.пл}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{35 \cdot 3{,}3}{0{,}1 + 2{,}77} = 20{,}4,$$

что незначительно превышает требуемую величину.

Рассчитаем ГСТ, для чего вначале определим потенциал коллектора транзистора VT_3 относительно общей шины

$$U_{к3} = -\left(I_{б01} R_r + U_{бэ01} + I_{к01} \frac{R_э}{2} \right) = -\left(29 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}1 + 0{,}45 + 20 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \right) = -0{,}46 В.$$

Следовательно, падение напряжения на транзисторе T_3 и резисторе R_3 составит

$$E_{к2} – U_{к3} = 6{,}3 – 0{,}46 = 5{,}84 \text{ В}.$$

При работе ДУ для нормального функционирования транзистора VT_3 в ГСТ необходимо выполнение неравенств

$$U_{кб} > 0 \text{ и } U_{кб3} \geq U_{кэ\ нас.}$$

Выберем потенциал базы транзистора VT_3 относительно общей шины.

$U_{б3}$ = – 4,5 В, что обеспечит $U_{кб3} \cong$ 4 В, тогда падение напряжения U на резисторе R_4 и диоде VД

$$U = E_{к2} – U_{б3} = 6{,}3 – 4{,}5 = 1{,}8 \text{ В};$$

$$U_{R3} = U – U_{бэ03} = 1{,}8 – 0{,}5 = 1{,}3 \text{ В}.$$

Здесь $U_{бэ03}$=0,5 В при $I_{к03}$=$I_{к01}$= $I_{к02}$=2мА. Тогда сопротивление резистора R_3

$$R_3 = U_{R3}/I_{к03} = 1{,}3/2 = 0{,}65 \text{ кОм}.$$

Выберем ток делителя R_4, R_5 равным коллекторному току транзистора VT_3 , т.е. $I_{дел}$ =2 мА. Тогда

$$R_5 = (E_{к2} – U)/I_{дел} = 4{,}5/2 = 2{,}25 \text{ кОм}.$$

Для определения номинала резистора R_4 необходимо прежде выбрать диод VД. Целесообразно в качестве диода применить транзистор КТ312А в диодном включении, что обеспечит хорошую температурную компенсацию

изменения $U_{бэ}$ транзистора VT_3 вследствие одинаковых ТКН диода и транзистора VT_3. По входной характеристике транзистора КТ312А при $I_э$=2мА величина $U_д = U_{бэ0}$ =0,5В, и поэтому

$$R_4 = \frac{U - U_{БЭ0}}{I_{дел}} = \frac{1{,}8 - 0{,}5}{2} = 0{,}65 \text{ кОм}.$$

Рассчитаем коэффициент усиления синфазного сигнала $K_{u\ сф\ несим}$ при несимметричном выходе ДУ, имея в виду, что вместо резистора $R_э$ в схеме ДУ с ГСТ следует учитывать сопротивление $R_{вых3}$ транзистора VT_3 с введенной отрицательной обратной связью по току через резистор R_3.

$$R_{вых.3} = r^*_{к3}(1 + \beta_3 \gamma'_б),$$

$$\gamma'_б = \frac{r_{э3} + R_3}{r_{б3} + r_{э3} + R_3 + R_4 \| R_5}.$$

где

При значениях сопротивлений элементов

$$r^*_{к3} = \frac{r_{к3}}{\beta} = \frac{10^6}{35} Ом; \quad R_3 = 650 \text{ Ом};$$

$$r_{э3} = \frac{\varphi_T}{I_{э03}} = \frac{25}{2} = 12{,}5 Ом; \ r_{б3} = 100 \text{ Ом и}$$

$$R_4 \| R_5 = 2{,}25 \| 0{,}65 = 0{,}505 \text{ кОм};$$

$$R_{вых3} = \frac{10^6}{35}\left[1 + \frac{35(12{,}5 + 650)}{12{,}5 + 650 + 100 + 505}\right] = 550 \text{ кОм}.$$

Тогда

$$K_{u\ сф\ несим} = \frac{R_к}{2R_{вых\ 3}} = \frac{3{,}3}{2 \cdot 550} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ и}$$

$$K_{ос.сф} = \frac{K_{УД}}{K_{Усс.несим}} = \frac{20}{3 \cdot 10^{-3}} = 6{,}6 \cdot 10^3 \text{ или}$$

$$K_{ос.сф\ дБ} = 76{,}4 \text{ дБ}.$$

Рассчитаем приведенный дрейф ДУ, считая, что температурные приращения $U_{бэ0}$ и $I_{б0}$ транзисторов VT_1 и VT_2 разнятся на ±5%.

Для наихудшего случая, когда отклонения тока и напряжения суммируются, получим

$$e^{вх}_{дрДУ} = \frac{U_{см}}{T} + \frac{dI_{б0\,разн}}{dT}\left(\frac{R}{2} + R_r\right) = \frac{0{,}1U_{бэ0}}{T} + b \cdot 0{,}1 I_{б0}\left(\frac{R'_э}{2} + R_r\right) =$$

$$= \frac{0{,}1 \cdot 0{,}45}{300} + 0{,}005 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}029(0{,}1 + 0{,}02) \cdot 10^3 = 0{,}17 мВ/°C.$$

Расчёт широкополосного усилителя.

Широкополосные усилители предназначены в большинстве случаев для усиления сигналов сложной формы, характеризующихся широким спектром частот. Поэтому амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) этих

усилителей должна быть равномерной в диапазоне от единиц и десятков герц до десятков и сотен мегагерц.

На современном этапе преимущественного использования интегральной электроники при проектировании широкополосных усилителей применяют либо специальные интегральные микросхемы (ИС) импульсных усилителей (К218УИ3, К224УСI, К175УСI, и др.), либо операционные усилители с отрицательной обратной связью. При этом разработанность схемы в значительной мере определяются правильным выбором ИС и обеспечением ее устойчивой работы в режиме усиления.

В качестве основных исходных данных для расчета обычно задаются:

- сопротивление нагрузки R_H;
- коэффициент усиления k;
- диапазон рабочих частот f_H, f_B,

где f_H – нижняя рабочая частота;

f_B – верхняя рабочая частота;

- напряжение Er и внутреннее сопротивление Rr источника сигнала;
- коэффициент частотных искажений M.

Основными этапами расчета широкополосного усилителя на основе ОУ являются следующие.

Выбор типа ИС и количества каскадов усиления.

Выбор типа ИС производится из условий обеспечения заданного коэффициента усиления k и устойчивой работы усилителя на высоких частотах, включая f_B. Как известно, самовозбуждение усилителя возникает в том случае, если суммарный фазовый сдвиг в петле обратной связи становится равным или более 2πn, следовательно, наклон АЧХ ОУ в области высоких частот 20 дБ/декаду или 6дБ/октаву. (При этом подразумевается, что петлевой коэффициент усиления kæ>1, k_0 – коэффициент усиления ОУ без обратной связи, æ – коэффициент обратной связи). Поэтому при выборе типа ОУ необходимо отдавать предпочтение скорректированным усилителям, у которых наклон АЧХ во всем диапазоне частот равен 20 дБ/декаду. В противном случае следует применять внешние корректирующие цепи, вид и номиналы которых указываются заводом – изготовителем для данного типа ИС.

АЧХ ОУ, построенная в полулогарифмическом масштабе, называется диаграммой Боде и приводится в справочниках. Для гипотетического усилителя она имеет вид, соответствующий рисунку 7.3 а.

Если АЧХ в справочнике отсутствует, ее можно построить самостоятельно по известным параметрам ОУ fr и k_0.

Из соотношения $k \cdot f = k_0 \cdot f_{гр}$ (k_0 и $f_{гр}$ – параметры ОУ) можно определить максимальный коэффициент усиления k, который может обеспечить один каскад на данном ОУ с ООС на частоте f_β:

$$k_1 = (k_0 \cdot fгр) / f_\beta.$$

Требуемое количество однотипных каскадов определяется методом последовательных приближений следующим образом. Для выбранного ориентировочно количества каскадов n и по заданной f_β всего усилителя рассчитывается $f_{\beta 1}$ каскада по соотношению:

$$f_{\beta 1}=f\cdot\sqrt{n}\ .$$

По ЛАЧХ ОУ и f_β определяется максимально возможный коэффициент усиления одного каскада на частоте $f_{\beta 1.}$ Выбирается $k_1< k_{max}$ и рассчитывается $k= k_1$ или $k_{\beta 1}=nk_{1,}$ который должен быть не менее заданного. В противном случае число каскадов необходимо увеличить и повторить проверку.

Выбирать n необходимо с запасом, т.к. часть усиливаемого сигнала теряется на элементах межкаскадной связи.

В ряде случаев при выборе числа n целесообразно задаваться разным коэффициентом усиления $k_{1,}$ k_2, …, k_n отдельных каскадов. При этом необходимо учитывать два обстоятельства:

– чем меньше коэффициент усиления каскада с ООС, тем больше его верхняя рабочая частота;

– первые каскады, работающие в режиме малого сигнала, имеют, как правило, больший коэффициент усиления k.

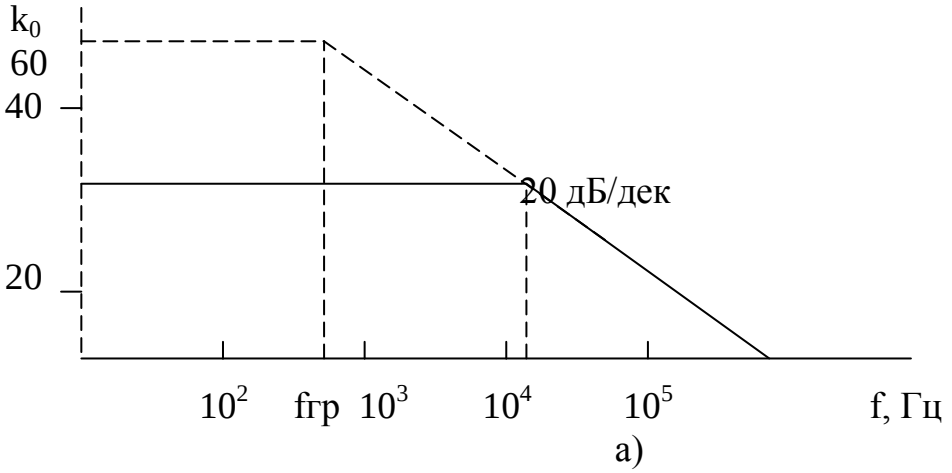
Выбор схемы и расчет элементов схемы.

Пример трехкаскадного усилителя на ОУ приведен на рисунке 7.3б.

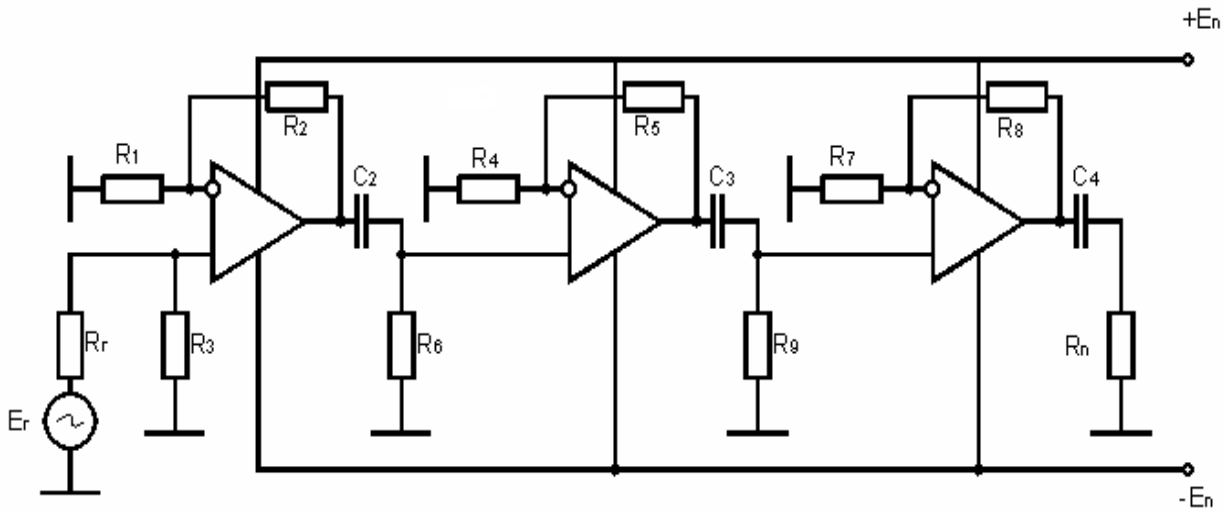
Резисторы R_1, R_2, R_4, R_5, R_7, R_8 определяют коэффициенты усиления каскадов

$$k_1=1+R_2/R_1;\ k_2=1+R_5/R_4;\ k_3=1+R_6/R_7. \qquad (7.1)$$

Резисторы R_1, R_4, R_7 определяют входное сопротивление усилительных каскадов, поэтому они должны быть достаточно большими (но не более $R_{ВХОУ}$). Обычно задаются величиной этих резисторов порядка единиц десятков килоом. По выражению (7.1) рассчитываются R_2, R_5, R_8.



а)



б)

Рисунок 7.3

Симметрирующие резисторы R_3, R_6, R_9 уменьшают синфазную помеху $\Delta I_{BX.OУ}$ и определяются из выражений

$$R_3=R_1R_2/(R_1+R_2);\ R_6=R_4R_5/(R_4+R_5);\ R_9=R_7R_8/(R_7+R_8).$$

Так как каждый каскад усилителя охвачен ООС по напряжению последовательного типа, входное и выходное сопротивления его рассчитываются по приближенным формулам

$$R_{BX}=R_{BX.OУ}\cdot k_0/к;\ \ R_{ВЫХ}=R_{ВЫХ.OУ}\cdot k/k_0,$$

где $к_0$-параметр ОУ;

$R_{ВХОУ}$, $R_{ВЫХОУ}$- паспортные данные ИС;

$k/k_0=1+æk_0\approx æk_0$- петлевое усиление.

Для определения номиналов разделительных конденсаторов $C_1 \div C_4$ необходимо распределить заданный коэффициент низкочастотных искажений, согласно выражению

$$M_H=M_{HC1}M_{MC2}M_{MC3}M_{MC4}.$$

После этого номиналы конденсаторов рассчитываются по формулам:

$$C_1=1/(2\pi f_H+R_{BX1})\sqrt{M_{HC1}{}^2-1};R_{BX1}\approx R_3;$$

$$C_2=1/(2\pi f_H+R_{ВЫХ1}+R_{BX2})\sqrt{M_{HC}{}^2-1};\ R_{BX2}\approx R_6;$$

$$C_3=1/(2\pi f_H+R_{ВЫХ2}+R_{BX3})\sqrt{M_{HC3}{}^2-1};\ R_{BX3}\approx R_9;$$

$$C_4=1/(2\pi f_H+R_{ВЫХ3}+R_H)\sqrt{M_{HC4}{}^2-1}.$$

Напряжение питания $\pm E_H$ выбирается, исходя из паспортных данных ИС.

Проверка правильности выбора ИС и расчета элементов схемы

Проверка обеспечения $U_{ВЫХ}$:

$$U_{вых}=E_Г\frac{R_{BX1}\cdot k_1}{R_{UГ}+R_{BX1}}\cdot\frac{R_{BX2}\cdot k_2}{R_{ВЫХ1}+R_{BX,2}}\cdot\frac{R_{BX3}\cdot k_3}{R_{ВЫХ,2}+R_{BX3}}\cdot\frac{R_H}{R_{ВЫХ,3}+R_H}.$$

Должно быть $U_{ВЫХ}\le U_{ВЫХ.OУ}$.

Проверка обеспечения $I_{ВЫХ}$

$$I_{ВЫХ}=U_{ВЫХ}/R_Н+U_{ВЫХ}/R_З \le I_{ВЫХ.ОУ}.$$

Проверка верхней граничной частоты усилителя

$$f_В = f_{ВОУ} / \sqrt{3} \ge f_{ВЫХ.}$$

Проверка нижней граничной частоты усилителя

$$f_Н=1/2\pi\tau_{Н\ ЭКВ} \le f_{Н\ ЗАД},$$

где $1/\tau_{Н\ ЭКВ}=1/\tau_{Н1}+1/\tau_{Н2}+1/\tau_{Н3}+1/\tau_{Н4}$;

$\tau_{Н1}=C_1(R_Г+R_{ВХ1})$;

$\tau_{Н2}=C_2(R_{ВЫХ1}+R_{ВХ2})$;

$\tau_{Н3}=C_3(R_{ВЫХ2}+R_{ВХ3})$;

$\tau_{Н4}=C_4(R_{ВЫХ3}+R_Н)$.

Проверка на скорость нарастания выходного напряжения V(В/мкс)

$V = 2\pi f_В U_{ВЫХ} \le V_{ОУ}$.

Рассчитать фильтр нижних частот с максимально плоской характеристикой по следующим данным: f_0 =10 кГц, K_0 >=10, n = – 40 дБ/дек.

Решение.

а) выбираем схему фильтра на основе ОУ с многопетлевой обратной связью, которая может обеспечить заданный наклон АЧХ в полосе ограничения n = – 40 дБ/дек (рисунок 7.4);

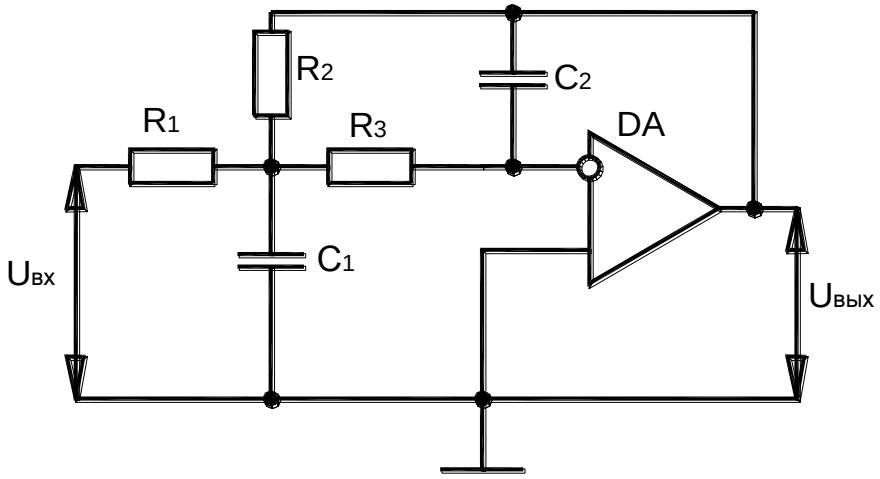


Рисунок 7.4

б) выбираем ОУ по частоте единичного усиления $f_{тоу} \ge f_0K_0$= 100 кГц. Для ОУ типа 140УД6 $f_т$ =1 МГц, т.е. последнее неравенство выполняется с запасом. По справочнику $R_{вх\ ОУ}$=2000 кОм, $R_{выхОУ}$=200 Ом;

в) задаваясь значением емкости C_2=2200 пФ, заметим, что выбранная величина существенно больше возможных паразитных емкостей в схеме. Конденсаторы КМ-6 такой емкости обладают малыми габаритами и хорошей стабильностью (группы по ТКЕ П33 и М47);

г) находим значение вспомогательного коэффициента

$K=2\pi f_0 C_2=6{,}28\cdot 10\cdot 10^3\cdot 2200\cdot 10^{-12}=13{,}8\cdot 10^{-5}$. Отсюда величина емкости C_1 при $\alpha=\sqrt{2}$

$$C_1=(4/\alpha^2)(H+1)C_2=\frac{4}{2}(10+1)2200=40000 \text{ пФ, где } H=K_0;$$

д) определяем значение резисторов схемы фильтра

$$R_1=\frac{\alpha}{2HK}=\frac{\sqrt{2}}{2\cdot 10\cdot 13{,}8\cdot 10^{-5}}\cong 500 \quad Ом,$$

$$R_2=\frac{\alpha}{2K}=HR_1=5 \quad кОм,$$

$$R_3=\frac{\alpha}{2(H+1)K}=480 \quad Ом.$$

Сопротивления резисторов R_1 и R_3 получились меньше 2 кОм. Поэтому уменьшаем емкость C_2 примерно в четыре раза, получаем C_2=510 пФ и производим пересчет схемы.

Получаем $K=3{,}2\cdot 10^{-5}$, C_1=9300 пФ, R_1=2150 Ом, R_2 =21500 Ом, R_3=2000 Ом;

е) проверяем полученное значение частоты среза

$$f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{C_1C_2R_2R_3}}=\frac{1}{6{,}28\sqrt{9300\cdot 510\cdot 21{,}5\cdot 2}}\cong 10{,}9 \quad кГц$$

и коэффициента усиления в полосе пропускания

$$K_0=\frac{R_2}{R_1}=10;$$

ж) обратим внимание на значение входного тока для ОУ типа 140УД6; по справочнику $I_{вх}$ =40 нА. Подсчитаем величину

$U_{вх}=I_{вх}(R_3+R_1\|R_2)=40\cdot 10^{-9}\cdot 4\cdot 10^{-3}=160$ мкВ.

Это напряжение можно скомпенсировать, подключив между неинвертирующим входом ОУ и общей шиной резистор $R_4\approx 4$ кОм.

Рассчитать генератор с мостом Вина по схеме рисунка 7.5 на частоту 10 кГц. Взять значение С=0,001 мкФ.

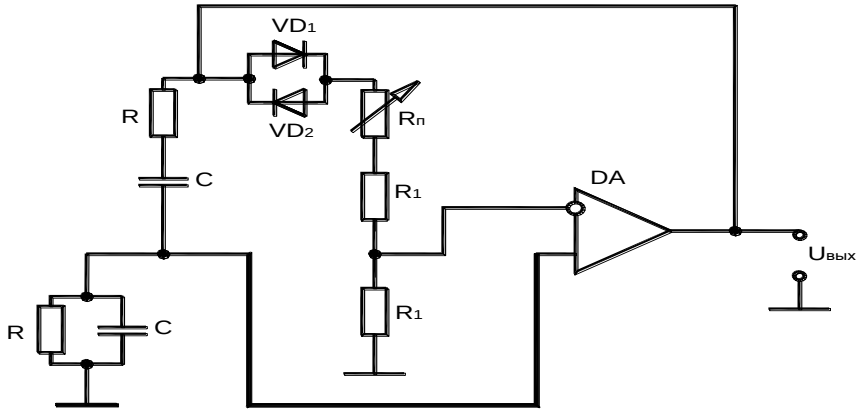


Рисунок 7.5

Решение:
квазирезонансная частота

$$f_0 = 1/2\pi RC.$$

Отсюда определим R

$$R=1/2\ \pi f_0 C = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0{,}001 \cdot 10^{-6}} = 15\ \text{кОм}.$$

Коэффициент передачи звена обратной связи – моста Вина $\gamma = \frac{1}{3}$, тогда коэффициент усиления усилителя должен быть

$$K = \frac{R_n + R_1}{R_1} = 3.$$

Положим R_1=25 кОм, отсюда $R_п$=50кОм.

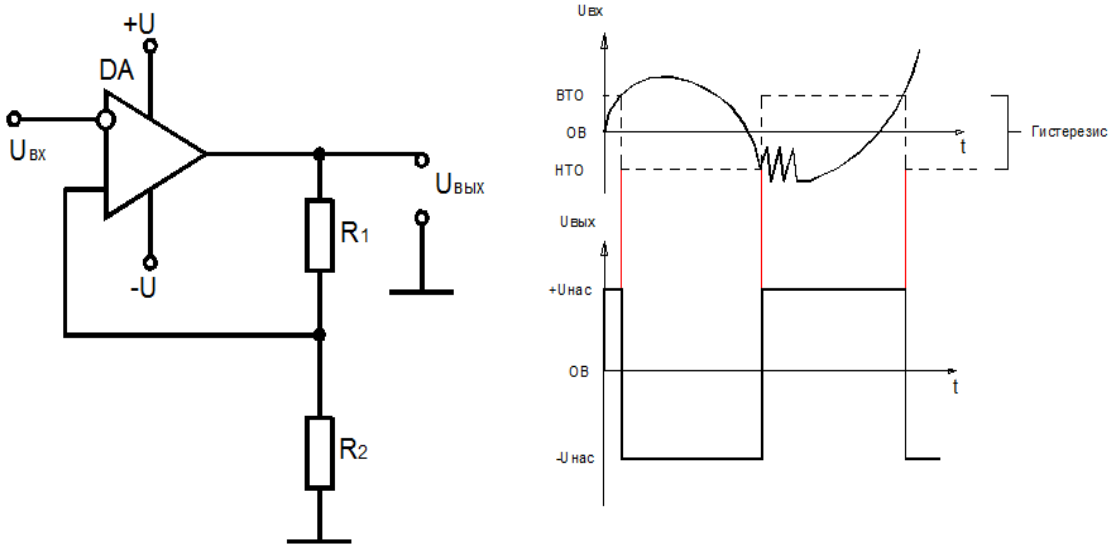
Рассчитать компоненты для схемы триггера Шмитта, приведенной на рисунке 7.6. Пусть гистерезис составляет 2 В, +U=15 В, –U= –15 В, $+U_{нас}$ =14 В и $-U_{нас}$ = –14 В.

Решение. Так как гистерезис задан равным 2 В, то для этой схемы напряжение верхней точки опрокидывания $U_{вто}$ равно напряжению нижней точки опрокидывания $U_{вто}$

$|U_{вто}| = |U_{вто}|$, и , следовательно, $U_{вто}$=1 В, а $U_{нто}$= –1 В.

Пусть $I_{R1}=I_{R2}$=0,1 мА. Током смещения $I_{см.}$ можно пренебречь, так как $I_{R1} >> I_{cm}$.

В результате получаем $R_1=(|U_{нас}|-U_{вто})/ I_{R1} =(14 -1)/0{,}1\cdot 10^{-3}$=130 кОм, $R_2=U_{нто}/I_{R2}=1/0{,}1\cdot 10^{-3}$=10 кОм.



а) б)

Рисунок 7.6

Рассчитать компоненты генератора сигналов прямоугольной формы, показанного на рисунке 7.7, так, чтобы частота генерации $f_{ген}$=1 кГц при пиковом значении $U_{вых}\pm$ = 8 В.

Решение.

Для стабилитронов примем прямое напряжение, равное 0,7 В, и напряжение пробоя около 7,3 В. R_1 выбираем большим, чем R_3+ R_4. Положим R_1 = 100 кОм, и тогда R_3+ R_4<< 100 кОм. Если U_{R4} = 0,473 $U_{вых}$,
то $\tau = 2 R_{OC}C$.

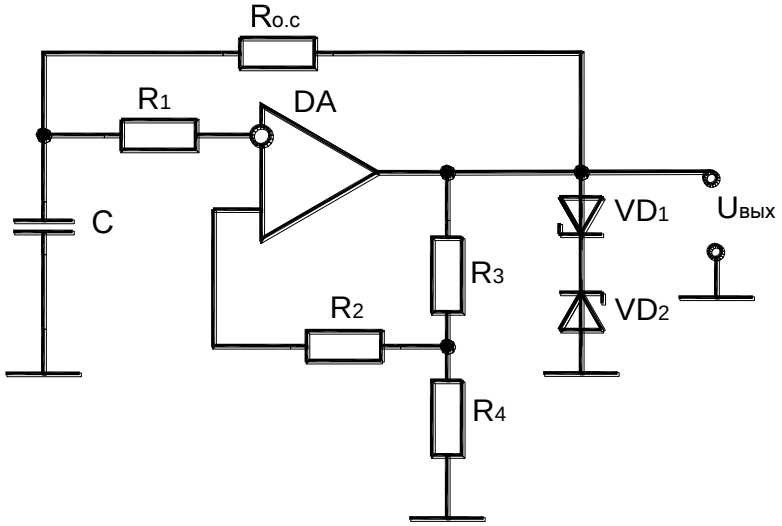


Рисунок 7.7

Остановимся на этом. Положим $I_{R4} = I_{R3}$ = 1мА;
$R_4 = U_{R4}/I_{R4}$ = 0,473 $U_{вых}/I_{R4}$ =0,473 (8) / 1 = 3,784 / 10^{-3} = 3,78 кОм.
$R_3 = (U_{вых} - U_{R4})/I_{R3}$ =(8–3,784) / 10^{-3} = 4,22 кОм.
Положим С = 0,01 мкФ, тогда $R_{OC} = \tau /2C$ = 50 кОм.
Наконец, если $I_Н$ = 3 мА, $U_{вых.макс}$ ОУ = 14 В и $I_{СТ}$= 5 мА, то $R_5 = (U_{ВЫХ.МАКС} - U_{ВЫХ})/(I_{СТ} + I_Н + I_{R3} + I_{Roc})$= 6/9,24·$10^{-3}$ = 649 Ом.

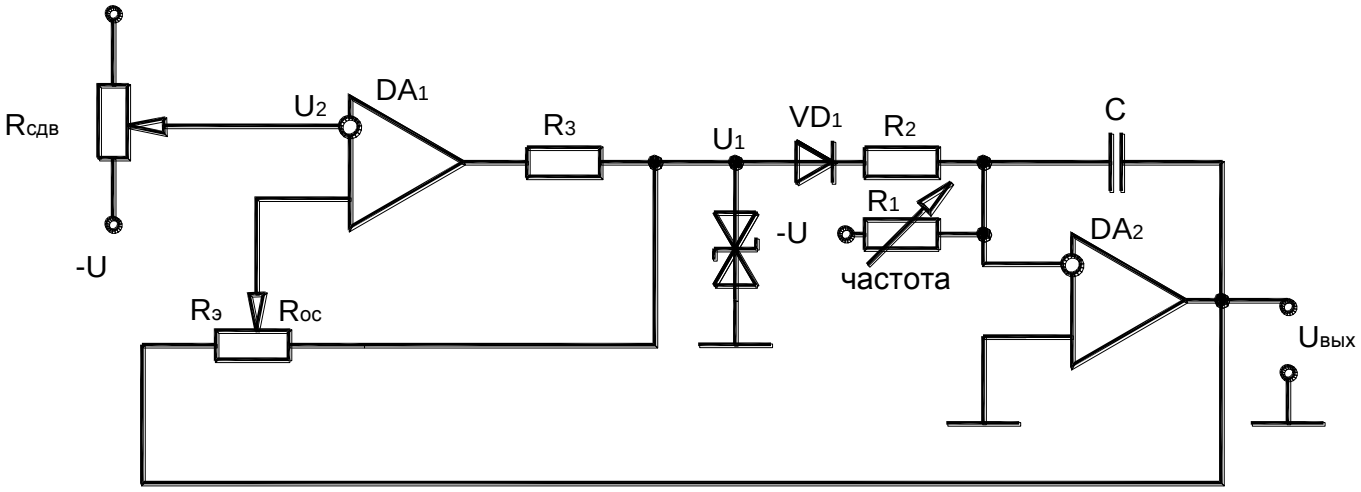
Построить генератор пилообразного напряжения с пиковым значением выходного напряжения 10 В при 2 мА, периодом 10 мс и временем возврата 0,1 мс (рисунок 7.8). Задать ±U = 10 В.

Решение.

Если максимальный ток, отдаваемый усилителем $ДА_1$, составляет 20 мА, а на смещение стабилизатора уходит 4 мА и на питание Roc. 0,1 мА, то наибольший ток, которым можно разрядить конденсатор С во время возврата, составит 15,9 мА. Пусть I_{R2} = 12 мА, тогда сопротивление резистора будет равно $R_2 = (U_{Ст}–U_Д)/I_{R2}$=775 Ом, и, следовательно, $C=I_t/U$=12(10^{-3}·0,1·10^{-3}) /10=0,12 мкФ. R_1 выбираем, исходя из того, чтобы конденсатор С заряжался до 10 В за 10 мс:

$$I_{R1}=CU/t=(0,12\cdot10^{-6}\cdot10)/10\cdot10^{-3}= 0,12 \text{ мА};$$

$$R_1=|–U|/I_{R1} = 15/ 0,12\cdot10^{-3}=125 \text{ кОм}.$$



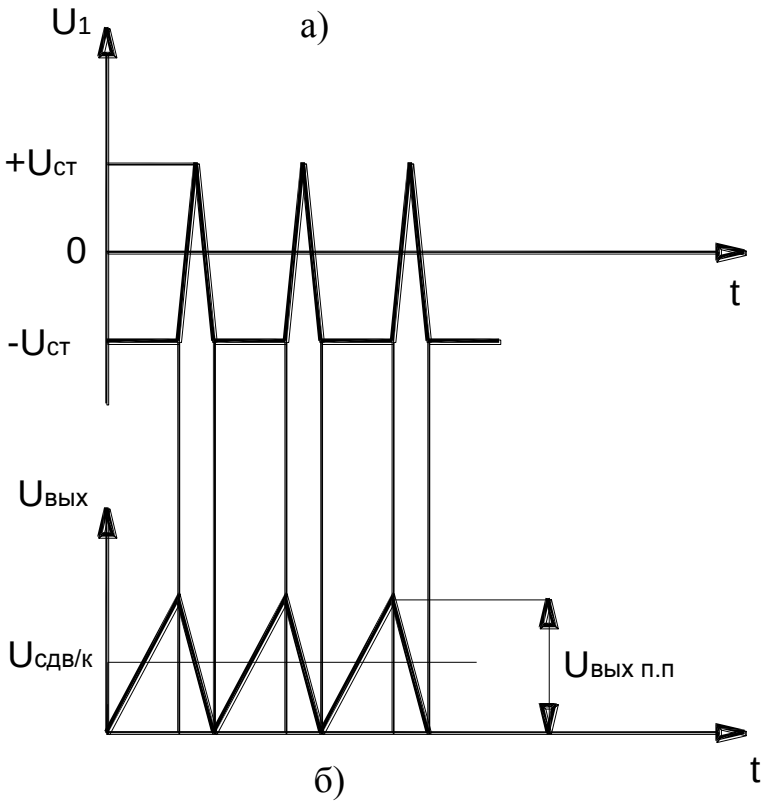


Рисунок 7.8

Полярность выходного напряжения усилителя $ДА_1$ должна меняться с отрицательной на положительную, когда выходное напряжение усилителя $ДА_2$ $U_{ВЫХ}$ = 10 В, и с положительной на отрицательную, когда $U_{ВЫХ}$ = 0. Для того чтобы найти значения U_2, $R_{ОС}$. и $R'_{ОС}$, необходимо использовать уравнение

$U_{ВЫХ.ПП} = 2\ U_{СТ}[(1/К)–1)]$; $1/К = (U_{ВЫХ.ПП.}/2U_{Ст}) + 1$;

$1/К = (10/20) + 1=1,5$; $К = 0,667$.

Так как $К = R'_{ОС} / (R_{ОС}+R'_{ОС})$, то $R_{ОС} = (R'_{ОС}–КR'_{ОС})/К$. Положим $R'_{ОС}$=100 кОм, тогда $R'_{ОС} = [(100–0{,}667\cdot100)\cdot10^3]/0{,}667$=49,9 кОм.

Теперь должно быть найдено напряжение на инвертирующем входе усилителя $ДА_2$. Оно может быть получено от делителя напряжения. Когда $U_{ВЫХ}$=0 и U_1=+10 В, выходное напряжение операционного усилителя $ДА_1$ должно переключаться на отрицательное. Так как $U_2/(U_{ВЫХ}+U_1) = R_{ОС}/(R_{ОС}+R'_{ОС})$, то $U_2 = R_{ОС}(U_{ВЫХ}+U_1)/(R_{ОС}+R'_{ОС})$ = 3,33 В.

Наконец, если максимальное выходное напряжение усилителя $ДА_1$ равно 14 В, то

$R_3 = (U_{ВЫХ.\ МАКС.\ ДА1} − U_{СТ})/(I_{R2}+I_{ВЫХ}+IR'_{ОС})=(14–10)/(12+2+0{,}133)\cdot10^{-3}$ = 283 Ом.

Приложение А

1 Номинальные сопротивления (омы, килоомы, мегоомы) постоянных резисторов всех типов с допускаемыми отклонениями ±20 %, 10 % и 5 % в установленном для каждого типа резисторов диапазоне значений должны соответствовать (ГОСТ 2825-67) числам, приведенным в таблице П. А, и числам, полученным путем умножения этих чисел на 10^n, где n - целое положительное или отрицательное число.

Таблица А1 - Ряды для определения номинальных сопротивлений и емкостей при допускаемых отклонениях ±20 %, 10 % и 5 %

E6	E12	E24	E6	E12	E24
1,0		1,1	3,3		3,6
	1,2	1,3		3,9	4,3
1,5		1,6	4,7		5,1
	1,8	2,0		5,6	6,2
2,2		2,4	6,8		7,5
	2,7	3,0		8,2	9,1

Ряд Е6 (шесть чисел) входит в состав ряда Е12 (12 чисел).

В свою очередь ряд Е12 входит в состав ряда Е24 (24 числа), что отражено в построении таблицы. Например, начало ряда Е12 имеет вид: 1,0; 1,2; 1,5; 1,8 и т.д.; начало ряда Е24 - 1,0; 1,1; 1,2; 1,3 и.т.д.

Ряд Е6 применяется для определения номинальных сопротивлений постоянных резисторов при допускаемом отклонении ±20 %; ряд Е12- при допускаемом отклонении ±10%; ряд Е24 - при допускаемом отклонении ±5 %.

2 Номинальные ёмкости (до 91000 пФ) конденсаторов постоянной ёмкости с допускаемыми отклонениями ±20 %, 10 % и 5 % должны соответствовать (ГОСТ 2519-67) числам, приведенным в таблице П.Б, и числам, полученным путем умножения этих чисел на 10^n, где n- целое положительное или отрицательное число.

Ряд Е6 применяется для определения номинальных емкостей конденсаторов при допускаемом отклонении ±20 %; ряд Е12 - при допускаемом отклонении +10%; ряд Е24 - при допускаемом отклонении +5 %.

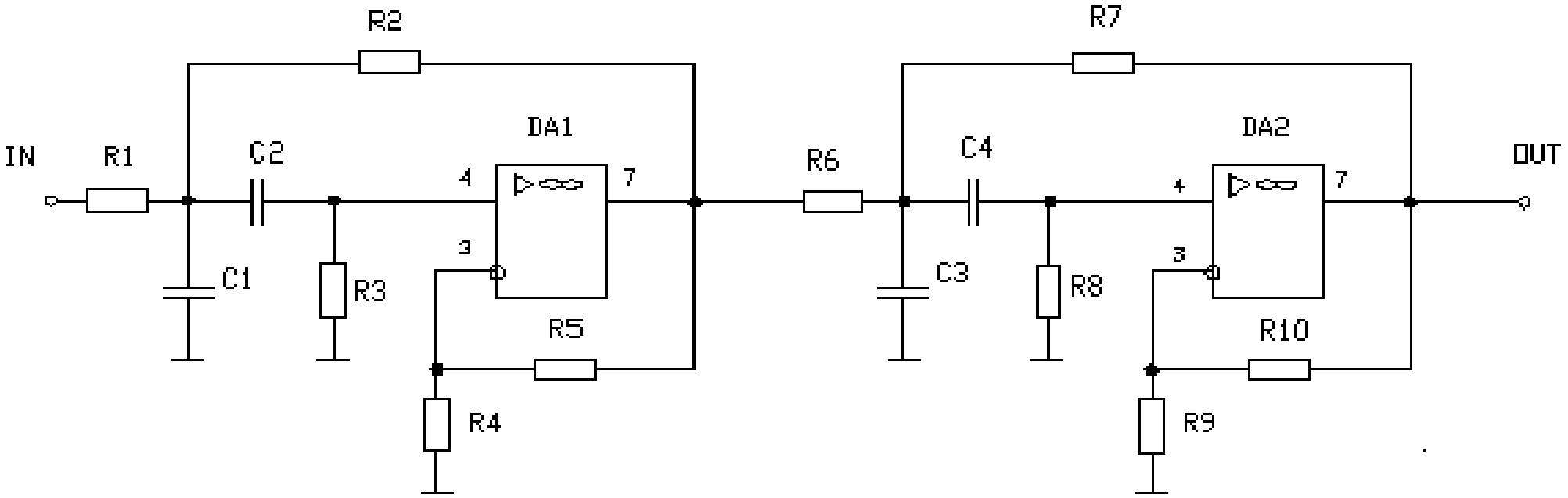
Номинальные ёмкости (от 0,1 мкФ и свыше) конденсаторов с бумажным и пленочным диэлектриком в прямоугольных корпусах должны соответствовать числам ряда:

0,1; 0,25; 1; 2; 4; 6; 8; 10; 20; 40;60; 80; 100; 200; 400; 600; 800; 1000.

Номинальные емкости (в мкФ) оксидных алюминиевых конденсаторов должны соответствовать числам ряда:

0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 30; 100; 200; 300; 500; 1000; 2000; 5000.

Приложение Б



					КУРСОВАЯ РАБОТА
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АКТИВНЫЙ ФИЛЬТР принципиальная схема
Разраб.					
Пров.					
Т. контр.					
Н. контр.					
Утв.					

Лит.	Масса	Масштаб
У		1:1
Лист 1	Листов 1	1:1

Приложение В

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
	Операционный усилитель		
DA1, DA2	К140УД8	2	
	Резисторы МЛТ ГОСТ7113-77		
R1, R6, R7	МЛТ-0,125-12кОм±10%	3	
R2	МЛТ-0,125-10кОм±10%	1	
R3	МЛТ-0,125-33кОм±10%	1	
R4, R5	МЛТ-0,125-56кОм±10%	2	
R8	МЛТ-0,125-68кОм±10%	1	
R9, R10	МЛТ-0,125-13кОм±10%	2	
	Конденсаторы ОЖО. 464. 031. ТУ		
C1, C2	К73-9-100нФ±10%	4	

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	КУРСОВАЯ РАБОТА		
Разраб.					АКТИВНЫЙ ФИЛЬТР Перечень элементов	Лит.	Лист 2 / Листов 2
Провер.						У	
						АИЭС БРЭ-04-11	

Приложение Г

Последняя цифра номера зачетной книжки										
№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Выходная мощность, Вт	12	5	10	45	100	20	40	45	120	30
Сопротивление активной нагрузки $R_Н$, Ом	20	45	30	3	10	4	12	5	15	10
Сопротивление источника сигнала $R_{ИСТ}$, кОм	0,56	0,82	0,39	0,56	0,2	0,3	0,46	0,55	0,25	0,60
Тип оконечного каскада	Бестрансформаторный двухтактный в классе АВ									

Приложение Д

Предпоследняя цифра номера зачетной книжки										
№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Нижняя частота рабочего диапазона $F_н$, Гц	80	70	100	140	50	100	120	100	60	70
Верхняя частота рабочего диапазона $F_в$, кГц	12	15	12	10	15	10	15	10	15	12
Допустимый коэффициент частотных искажений $M_н$, дБ	2	2,5	3	2	2,8	3	2,7	2 ,7	2,2	2,9
Коэффициент гармоник $К_г$, %	2,5	8	2	9	2,3	1,5	0,5	0,5	0,6	0,5
Диапазон изменения температуры Т, °С	-10 +50	-10 +50	-10 +50	+15 +25	+15 +25	+15 +25	+10 +25	+5 +40	-5 +25	+5 +40

Список литературы

1 Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника: Учеб.пособие – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 704 с.

2 Павлов В.Н., Ногин В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств. – М.: Радио и связь, 2005. – 320 с.

3 Жолшараева Т.М. Микроэлектроника. Полупроводниковые приборы: Учебное пособие. Алматы: АИЭС, 2006. – 79 с.

4 Жолшараева Т.М. Микроэлектроника. Интегральные микросхемы: Учебное пособие. Алматы: АИЭС, 2007. – 81 с.

5 Нефедов А.В. Транзисторы для бытовой, промышленной и специальной аппаратуры: Справочное пособие. – М.: Солон-Пресс, 2006. – 600с

6 Абдрешова С.Б. Элементы и схемотехника аналоговых устройств. Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В071600 – Приборостроение – Алматы: АУЭС, 2013. – 31 с.

7 Абдрешова С.Б. Аналогты құрылғылардың сұлбатехникасы мен элементтері. Зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әістемелік нұсқаулар. 5В071600 – Приборлар жасау мамандығының студенттеріне арналған – Алматы: АЭжБУ, 2013. – 31 б.

Сводный план 2013 г., поз. 144

Тамара Маруповна Жолшараева
Самал Бексултановна Абдрешова

ЭЛЕМЕНТЫ И СХЕМОТЕХНИКА АНАЛОГОВЫХ УСТРОЙСТВ

Методические указания по выполнению курсовых работ
для студентов специальности 5В071600 – Приборостроение

Редактор Л.Т. Сластихина
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать _____
Тираж 100 экз.
Объем 1,7 уч.-изд.л.

Формат 60х84 1/16
Буага типографская №1
Заказ _____ Цена 850 тн

Копировально – множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, Байтурсынова, 126