**Схемотехника телекоммуникационных устройств**

**Вариант (последние цифры пароля) 12**

С целью приобретения навыков расчета различных усилительных каскадов в контрольную работу 1 включены расчеты широко применяемых однотактных резисторных каскадов предварительного усиления гармонических сигналов на БТ (задача № 1) и инвертирующего усилителя на ОУ (задача №2).

Номера вариантов задач, которые должен решить студент, определяются по двум последним цифрам пароля: предпоследняя цифра указывает номер варианта первой задачи, последняя цифра – номер варианта второй задачи.

Задача № 1. Начертить принципиальную схему однотактного резисторного каскада предварительного усиления на БТ, включенном по схеме с ОЭ с эмитерной стабилизацией точки покоя. Рассчитать параметры элементов схемы, режим работы каскада по постоянному току, коэффициент усиления в области средних частот, входные параметры каскада и амплитуду входного сигнала.

Исходные данные для расчетов приведены в таблицах 1 и 2.

Задача №2. Начертить принципиальную схему инвертирующего усилителя на ОУ без указания цепей подачи питания и балансировки (установки нуля), цепей коррекции АЧХ. Рассчитать параметры элементов принципиальной схемы, кроме разделительного конденсатора на входе схемы, определить максимально допустимую амплитуду входного сигнала и граничную частоту (иначе, частоту среза или частоту полюса) АЧХ спроектированного усилителя, глубину обратной связи F\*.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 3.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Технические данные | Номер варианта | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Марка транзистора | КТ315А | КТ361А | КТ357Б | КТ351А | КТ352А | КТ315Б | КТ361А | КТ357Б | КТ351А | КТ352А |
| Амплитуда сигнала на нагрузке, UmН, В | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,5 | 1,2 | 1,3 |
| Относительный коэффициент усиления на верхней рабочей частоте fВ, YВ, раз | 0,95 | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,95 | 0,9 | 0,7 | 0,8 | 0,95 | 0,9 |
| Относительный коэффициент усиления на нижней рабочей частоте fН, YН, раз | 0,8 | 0,7 | 0,85 | 0,75 | 0,8 | 0,7 | 0,75 | 0,85 | 0,8 | 0,7 |
| Емкость нагрузки, СН, пФ | 20 | 25 | 30 | 35 | 20 | 25 | 30 | 35 | 20 | 25 |
| Сопротивление нагрузки, RН, кОм | 100 | 150 | 120 | 200 | 160 | 140 | 100 | 150 | 120 | 170 |
| Верхняя рабочая частота, fВ, МГц | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 2,5 | 3 | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 2,5 |
| Нижняя рабочая частота, fН, Гц | 50 | 100 | 150 | 50 | 100 | 150 | 80 | 60 | 70 | 70 |
| Внутреннее сопротивление источника сигнала, RИСТ, Ом | 100 | 50 | 200 | 150 | 50 | 100 | 150 | 200 | 50 | 50 |

Таблица 2

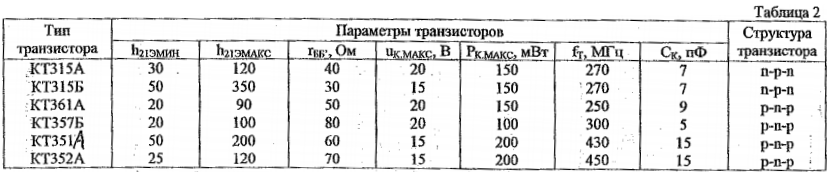


Таблица 3



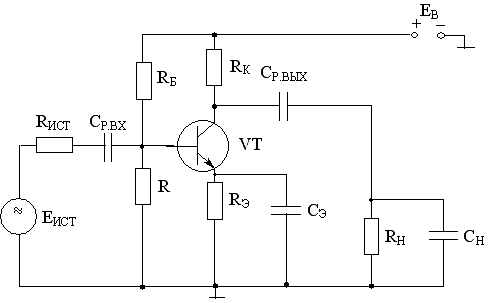
**Методические указания по выполнению контрольной работы**

Задача №1

Рекомендуется следующий примерный порядок выполнения первой задачи.

1. До проведения расчетов нужно проработать соответствующие главы и параграфы рекомендованной литературы: [1, глава 3, с.23…62, глава 5, с.117…119, 140…151, 181…195], [2, глава 1, с.10…65].

После этого из таблиц 1 и 2 нужно выписать условия задачи. Расчет каскада предварительного усиления ведется аналитическим методом.

2. Приводится принципиальная схема каскада (рис.1).  
Рисунок 1

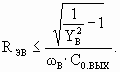
3. Рассчитывается общая нагружающая каскад емкость [2]

С0.ВЫХ = СВЫХ.VT + СМ + СН,

где СВЫХ.VT – выходная емкость транзистора, которую можно принять приблизительно равной емкости коллекторного перехода СК (см. таблицу 2);

СМ – емкость монтажа, которую можно взять примерно равной 5 пФ.

4. Находится эквивалентное сопротивление выходной цепи каскада в области верхних частот с учетом заданного относительного коэффициента усиления YВ на верхней частоте [2]



5. Затем из соотношения [2]

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1242.gif

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1243.gifв котором можно пренебречь влиянием большого выходного сопротивления RВЫХ.VT транзистора VT, находят RК

6. Определяется амплитуда тока в нагрузке ImН и ток покоя транзистора iК0

Im.Н = Um.Н / RЭВ; iК0 = (2…2,5)Im.Н.

7. Напряжение покоя UКО должно быть в несколько раз больше амплитуды сигнала. По условию Um.Н < 2В. Поэтому удобно принять UК0 = 5В (при этом напряжении обычно измеряются параметры транзисторов).

8. Расчет элементов схемы эмиттерной стабилизации тока покоя начинается с определения величин токов базы iБ0 и делителя iД.

Постоянный ток базы (ток смещения)

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1244.gif

iБ0 = iК0 / h21Э, где

Величины коэффициентов передачи тока h21Э.МИН, h21Э.МАКС приведены в таблице 2.

Ток делителя смещения:

iД = 5 iБО.

Падение напряжения на резисторе RЭ

U0Rэ  (0.2…0.3)UК0.

Тогда

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1245.gif

(ГОСТ)

Входное сопротивление транзистора VT

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1246.gif

где rББ’ – сопротивление базы (справочный параметр).

Потенциал базы UБ0

UБ0 = UБЭ0 + U0Rэ,

где UБЭ0  0,5 В – напряжение база – эмиттер для маломощных кремниевых транзисторов при токе покоя, измеряемого единицами миллиампер. Расчетная величина тока покоя устанавливается при настройке путем подбора сопротивлений резисторов базового делителя.

Напряжение источника питания

ЕВ = UК0 + iК0RК + U0Rэ (округлить до целого числа).

Сопротивление резисторов делителя

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1247.gif

(ГОСТ)

R = UБ0 / iД. (ГОСТ)

9. Коэффициент усиления каскада

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1248.gif

10. Входное сопротивление и входная емкость каскада

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1249.gif

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1250.gif

где fТ – граничная частота транзистора (справочный параметр);

rЭ = 0,026 / iК0 – сопротивление эмиттера;

СК – емкость коллектора (справочный параметр).

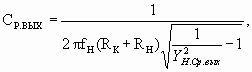
11. Амплитуда входного сигнала Um.ВХ:

Um.ВХ = Um.Н / К.

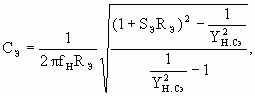
12. Величина допустимых искажений в области нижних частот распределяется с учетом разрешенной к применению элементной базы и других соображений между переходной цепью YН.Ср.вых и цепью СЭRЭ – YН.Сэ.

В данном случае ограничений нет и можно принять

YН.Ср.вых = YН.Сэ = YН

Тогда

(ГОСТ)



(ГОСТ)

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1253.gif

где крутизна характеристики тока эмиттера;

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1254.gif

эквивалентное сопротивление тракта,

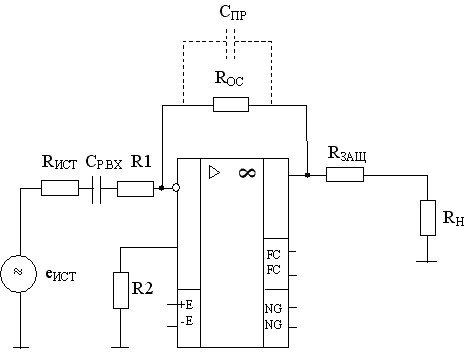
предшествующего транзистору VT.

Задача №2

1. Рекомендуется следующий примерный порядок выполнения второй задачи. До расчетов нужно проработать соответствующие главы и параграфы рекомендованной литературы: [1, глав 3, с.44…50, глава5, с.115…117], [2, глава 2, с.257…286, глава 3, с.297…313].

После этого из таблицы 3 нужно выписать условие задачи.

2. Приводится принципиальная схема усилителя (рис.2). Размер изображения ОУ 20х40 мм. Дополнительные поля 5мм. В основном поле изображения ОУ помещен знак функционального назначения элемента – усилитель с бесконечно большим коэффициентом усиления. Инвертирующий вход обозначен кружком. В дополнительных полях помещены следующие метки: +Е0, - Е0 – подключение источника питания; FC – подключение цепей коррекции АЧХ; NC – подключение элементов балансировки усилителя. Цепи коррекции и балансировки индивидуальны для каждого усилителя и поэтому на рис.2 не показаны.

  
Рисунок 2

3. Расчет начинается с определения сопротивления защиты RЗАЩ:

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1255.gif, (ГОСТ)

где uВЫХ.МАКС – максимальная амплитуда выходного сигнала; IВЫХ.МАКС – максимальный постоянный выходной ток.

Справедливость приведенного выражения можно пояснить с помощью амплитудной характеристики ОУ, приведенной на рис.3. Буквами +Е0 и –Е0 отмечено напряжение источника питания, а буквами u+ВЫХ и u–ВЫХ – максимальная амплитуда выходного сигнала. На рис.3  u+ВЫХ =  u–ВЫХ  , но это условие на практике не всегда выполняется. Полный раствор входной характеристики  uВХ, как правило, измеряется долями милливольта. Поэтому в схемах обработки аналоговых сигналов с помощью ООС его приходится искусственно расширять.

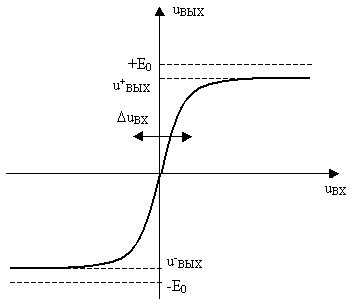


Рисунок 3

С помощью RЗАЩ предотвращают перегрузку ОУ. Следует отметить, что значительная часть ОУ снабжена внутренней защитой и тогда RЗАЩ не ставится.

4. Далее надо рассчитать сопротивление резистора RОС. При этом следует учитывать два обстоятельства. Во-первых, сопротивление RОС не должно шунтировать нагрузку, а, во-вторых, сопротивление RОС желательно выбирать возможно меньшей величены, чтобы обеспечить минимальные фазовые искажения в цепи ОС.

Часто выбирают RОС = (20…40)RЗАЩ. (ГОСТ)

5. Прежде чем перейти к расчету R1, следует обратиться к вспомогательным формулам.

Сквозной коэффициент усиления ОС с обратной связью К\*ОУ.ОС и коэффициент усиления по напряжению с обратной связью КОУ.ОС, практически равные друг другу К\*ОУ.ОС = КОУ.ОС, рассчитываются по формулам:

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1256.gif;

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1257.gif,

где К\*ОУ и КОУ – соответственно сквозной коэффициент усиления и коэффициент усиления по напряжению ОУ без ОС, которые практически равны К\*ОУ.ОС  КОУ.ОС.

 - коэффициент передачи цепи обратной связи.

В данном случае  можно выразить через RИСТ, R1 и RОС (см. рис.2)

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1258.gif.

Поскольку по условию заданы КОУ и КОУ.ОС, то в дальнейшем следует использовать формулу для КОУ.ОС.

Согласно выражению для КОУ.ОС, рассчитывают  :

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1259.gif.

По найденному  находят сопротивление R1

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1260.gif. (ГОСТ)

Для того, чтобы не дебалансировать усилитель за счет хотя и малых, но все же имеющих место входных токов, выбирают R2 = RОС.

6. Входное и выходное сопротивления рассчитываются по формулам:

C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1261.gif, C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1262.gif

7. Входная емкость самого ОУ (несколько пикофарад) пренебрежимо мала по сравнению с емкостью, вносимой за счет параллельной по входу ООС. Собственно емкостная составляющая цепи ООС создается за счет проходной емкости СПР резистора RОС (на рис.2 обозначена пунктиром). Тогда СВХ.ОУ.ОС  СПР  КОУ.ОС, где СПР  1пФ.

8. Максимальная амплитуда выходного сигнала um.ВХ зависит только от максимальной амплитуды выходного сигнала и коэффициента усиления:

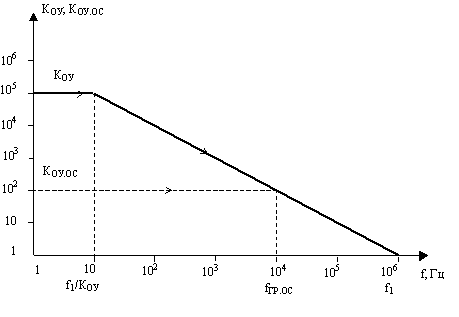
C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1263.gif.

9. Глубина обратной связи C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1264.gif.

10. Определение граничной частоты (иначе, частоты среза, частоты полюса) ОУ без ОС и с ОС fГР и fГР.ОС.

У реальных ОУ АЧХ круто падает при увеличении частоты сигнала. Для проведения инженерных расчетов удобно пользоваться идеализированной АЧХ, приведенной на рис.4. На оси ординат в логарифмическом масштабе отмечается заданная величина коэффициента усиления без ОС КОУ, а на оси абсцисс – частота единичного усиления f1 (это частота, на которой КОУ уменьшается до единицы). Пусть, например, КОУ = 105, f1 = 1МГц.

Затем от отметки КОУ = 105 на оси ординат проводится прямая, параллельная оси абсцисс до частоты C:\Users\dizo\Desktop\DO SIBGUTI\2-1\Схемотехника телекоммуникационных устройств (часть 1)\img\image1265.gif(в нашем примере это будет 10Гц), и эта точка соединяется с отметкой f1. Всегда наблюдается закономерность: чем больше КОУ тем меньше fГР.

  
Рисунок 4

Для нахождения граничной частоты fГР.ОС (иначе, частоты среза, частоты полюса) на оси ординат идеализированной АЧХ отмечается заданный коэффициент усиления с ОС КОУ.ОС (например, КОУ.ОС = 102) и проводится прямая, параллельная оси абсцисс до пересечения с АЧХ (пунктир на рис.4). Из точки пересечения опускаем перпендикуляр на ось абсцисс, который и определит fГР.ОС.

АЧХ спроектированного усилителя будет ограничиваться горизонтальной пунктирной линией и склоном АЧХ ОУ.

**5.3 Правила выполнения и оформления контрольной работы 1**

1. Настоящее учебно-методическое пособие и рекомендованная литература [1,2,3] являются основными документами, которыми обязан пользоваться студент. Этой литературы вполне достаточно для выполнения контрольной работы.

2. В тексте каждой задачи контрольной работы должны содержаться: техническое задание, таблица используемых параметров усилительного прибора, решение задачи, принципиальная схема рассчитываемого каскада и графики с необходимыми построениями. В конце работы следует дать список использованной литературы, необходимы подпись исполнителя, дата.

3. Контрольная работа выполняется в ученической тетради с полями 30-40мм и пронумерованными страницами на одной стороне каждого листа. Другая сторона листа предназначена для внесения студентом исправлений и дополнений по результатам рецензии.

4. На обложке тетради студентов-заочников должен быть наклеен адресный бланк.

5. Схемы и графики выполняются в тетради или на масштабно-координатной бумаге с соблюдением требований Единой системы конструкторской документации и нумеруются.

6. Необходимо соблюдать правила написания единиц измерений и требования гост на начертание элементов принципиальной схемы [3,приложение 3,с. 140]

7. Поле вычисления сопротивления какого-либо резистора или емкости конденсатора необходимо сразу же выбрать ближайший номинал по шкале ГОСТа [3,приложение 6,с.142…146] и в дальнейших расчетах использовать только эту величину.

8. Формулы, по которым ведётся расчет, обязательно должны быть приведены в тексте. Подставляемые в формулы числовые значения необходимо указывать в основных единицах (вольт, ампер, фарад, генри и т.д.). Окончательный результат должен быть вычислен с точностью до трёх значащих цифр (32700, 3,27 или 0,327), округлен до двух значащих цифр и снабжен знаком основной или производной размерности (миллиампер-мА, килоом-кОм и т.д.).

9. Текстовые пояснения к расчетам должны быть предельно кратки, а общий объем работы не должен превышать 10-12 страниц.

10. Контрольные работы, выполненные с отступлением от указанных правил, рецензированию не подлежат.