# Задание на курсовую работу

Исследовать усилитель переменного тока с параметрами, заданными в табл. 1.

Таблица 1

Варианты заданий для курсовой работы

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | *U*вх, мВ | *Кu* | *R*вх, кОм | *F*1, Гц | *F*2,  Гц | Спад  АЧХ  на нч  дВ/дек | Спад  АЧХ  на вч  дВ/дек | Вид АЧХ | *I*вых,  мА | *U*пит,  В  +  – |
| 1 | 0,2 | 104 | 1000 | 0,05 | 100 | 20 | 40 | Бесс. | 1 | 5 |
| 2 | 1 | 104 | 100 | 0,15 | 150 | 40 | 40 | Бесс. | 10 | 15 |
| 3 | 20 | 102 | 10 | 0 | 1000 | – | 40 | Батт. | 0,1 | 12 |
| 4 | 50 | 102 | 1 | 0,5 | 20 | 40 | 60 | Чеб. | 1 | 15 |
| 5 | 100 | 10 | 0,1 | 1 | 100 | 40 | 40 | Бесс. | 0,2 | 2,4 |
| 6 | 500 | 10 | 0,1 | 5 | 500 | 20 | 20 | – | 10 | 15 |
| 7 | 0,2 | 2 · 104 | 1 | 10 | 106 | 40 | 40 | Батт. | 20 | 15 |
| 8 | 0,1 | 5 · 104 | 10 | 50 | 2 · 106 | 20 | 60 | Батт. | 1 | 15 |
| 9 | 20 | 10 | 100 | 0 | 20 · 106 | – | 20 | – | 100 | 12 |
| 10 | 50 | 10 | 1000 | 300 | 3000 | 40 | 40 | Чеб. | 5 | 15 |
| 11 | 100 | 10 | 10000 | 500 | 1000 | 40 | 40 | Батт. | 0,1 | 2,4 |
| 12 | 0,5 | 10 | 1000 | 1000 | 106 | 60 | 60 | Батт. | 0,01 | 2,4 |
| 13 | 1000 | 10 | 10 | 0,05 | 400 | 20 | 60 | Бесс. | 10 | 15 |
| 14 | 0,2 | 104 | 100 | 1 | 1000 | 40 | 40 | Батт. | 10 | 15 |
| 15 | 1 | 104 | 1 | 100 | 2 · 106 | 60 | 40 | Бесс. | 20 | 15 |
| 16 | 0,2 | 104 | 1000 | 0,05 | 100 | – | – | загр. | 1 | 5 |
| 17 | 1 | 104 | 100 | 0,15 | 150 | – | - | загр. | 10 | 15 |
| 18 | 20 | 102 | 10 | 0 | 1000 | – | – | загр. | 0,1 | 12 |
| 19 | 50 | 102 | 1 | 0,5 | 20 | – | – | загр. | 1 | 15 |
| 20 | 100 | 10 | 0,1 | 1 | 100 | – | – | загр. | 0,2 | 2,4 |
| 21 | 500 | 10 | 0,1 | 5 | 500 | – | – | загр. | 10 | 15 |
| 22 | 0,2 | 2 · 104 | 1 | 10 | 106 | – | – | загр. | 20 | 15 |
| 23 | 0,1 | 5 · 104 | 10 | 50 | 2 · 106 | – | – | загр. | 1 | 15 |
| 24 | 20 | 10 | 100 | 0 | 20 · 106 | – | – | загр. | 100 | 12 |
| 25 | 50 | 10 | 1000 | 300 | 3000 | – | – | загр. | 5 | 15 |
| 26 | 100 | 10 | 10000 | 500 | 1000 | – | – | загр. | 0,1 | 2,4 |
| 27 | 0,5 | 10 | 1000 | 1000 | 106 | - | - | загр. | 0,01 | 2.4 |
| 28 | 1000 | 10 | 10 | 0,05 | 400 | - | - | загр. | 10 | 15 |

**Рекомендации по выполнению задания**

Первоначальный вариант структуры усилителя переменного тока приведён на рис. 1.



Рис. 1. Вариант структуры усилителя

Это всего лишь один из возможных вариантов. Структура в значительной мере зависит от параметров, заданных в табл. 1. Назначение блоков в структурной схеме следующее.

* ВК – входной каскад. Если *R*вх < 1 МОм, то оно не должно зависеть от частоты, а при *R*вх ≥ 1 МОм оно должно быть не менее заданной в табл. 1 величины на верхней граничной частоте;
* АФ-УК – активные фильтры и усилительные каскады должны обеспечить заданные в табл. 1 параметры амплитудно-частотной характеристики. При выборе параметров пассивных элементов (резисторов и конденсаторов) выбирать ближайшее значение из стандартного, дискретного ряда. Обеспечивать высокую точность параметров амплитудно-частотной характеристики включением вместо одного пассивного элемента группы соединённых параллельно или последовательно не требуется. Число каскадов уточняется по мере расчёта усилителя;
* ОК – оконечный каскад может не потребоваться, если микросхемы в блоке АФ-УК выдерживают заданный в табл. 1 ток.

Окончательный вариант может и остаться таким, как на рис. 1. Однако не во всех вариантах есть необходимость во входном и оконечном блоках. А каскадов в блоке АФ-УК для реализации задания может потребоваться несколько. Причём после выбора интегральных микросхем может потребоваться корректировка их количества. Создание усилителя требуется проводить поэтапно. Этапы:

1. По предварительной функциональной схеме усилителя сформировать техническое задание для каждого из использованных блоков схемы: коэффициент усиления и реализуемую функцию.
2. Выбрать микросхемы – операционные усилители.
3. Рассчитать пассивные элементы схемы. Далее в задании предлагаются краткие сведения по расчёту активных фильтров.
4. Рассчитать токи нагрузки микросхем. Принять решение о допустимости использования выбранных микросхем. Кроме предельно допустимого тока нагрузки учитывать также напряжение питания, усилительные и частотные характеристики микросхем. Если использование выбранной микросхемы не решает возложенную на неё задачу, то произвести повторный выбор либо изменить функциональную схему усилителя. В пояснительной записке приводить лишь результат окончательного выбора.
5. Составить пояснительную записку, содержащую:

* Титульный лист. Образец приведён в приложении.
* Раздел 1. Анализ исходных данных. Проектирование функциональной схемы с выработкой технического задания на каждый блок. Привести лишь окончательный вариант схемы.
* Раздел 2. Составление принципиальной схемы и расчёт необходимых для достижения технического задания параметров пассивных элементов усилителя. Сопроводить текст рисунками блоков принципиальной схемы и расчётными формулами. Для выбранных микросхем привести в табличной форме справочные параметры и обосновать возможность использования выбранных микросхем по напряжению питания, усилительным и частотным параметрам.
* Раздел 3. Подтверждение правильности выбора интегральных микросхем. Для проверки соответствия микросхем по предельному выходному току необходимо составить расчётную схему разработанного усилителя. В каскадах использовать упрощенные схемы замещения операционных усилителей. То есть входную цепь разорвать, а к выходу подключить источник с напряжением, равным произведению входного напряжения каскада на его коэффициент усиления. Конденсаторы заменить ёмкостными сопротивлениями на верхней граничной частоте. При расчётах допускается полагать, что *I*вых и *R*н активные, то есть в расчётную схему замещения можно ставить не источник тока, а резистор. Составить систему уравнений. Рассчитать амплитуды токов всех микросхем разрабатываемого усилителя. Сравнение параметров нагрузок микросхем со справочными значениями выполнить в виде таблицы. Кроме неё в пояснительной записке привести расчётную схему и систему уравнений.
* Список использованных первоисточников. На все источники в тексте записки необходимо давать ссылки. Список составляется в соответствии с последовательностью ссылок в тексте.

***Примечание***. При необходимости могут быть введены другие разделы.

**Кратко об активных фильтрах**

Рассмотрим основные схемные реализации активных фильтров на основе операционных усилителей.

1. Активные ФНЧ

Передаточная функция активного фильтра нижних частот в общем случае может быть записана так:

, (1)

где *К*0 – коэффициент передачи фильтра на нулевой частоте; *а*i, *b*i – коэффициенты полинома;  – нормированная комплексная переменная; ω**с** – частота среза фильтра; Ω – нормированная частота.

Порядок фильтра определяется значением степени оператора *Р* в знаменателе после перемножения. Параметры пассивных элементов фильтра рассчитываются на основании приведенных в табл. 2 коэффициентов *а*i, *b*i и требуемых значений частоты среза ωс.

Таблица 2

Значения коэффициентов полинома

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Порядок полинома | Полиномы в знаменателе формулы (1) | | |
| Баттерворта | Чебышева ε = 0,5 | Бесселя |
| 1 | *а*1 = 1  *b*1 = 0 | *a*1 = 1  *b*1 = 0 | *а*1 = 1  *b*1 = 0 |
| 2 | *а*1 = 1,4142  *b*1 = 1 | *а*1 = 1,3032  *b*1 = 1,5515 | *а*1 = 1,367  *b*1 = 0,618 |
| 3 | *а*1 = 1  *b*1 = 0  *а*2 = 1  *b*2 = 1 | *а*1 = 2,2156  *b*1 = 0  *а*2 = 0,5442  *b*2 = 1,2057 | *а*1 = 0,756  *b*1 = 0  *а*2 = 0,996  *b*2 = 0,4772 |

В виде единичных звеньев обычно выполняются фильтры не более 2-го порядка. Дальнейшее повышение порядка фильтра осуществляется каскадным включением фильтров 1-го и 2-го порядков.

На рис. 2 представлены варианты схем ФНЧ 1-го и 2-го порядков на операционных усилителях с частотно-зависимой отрицательной обратной связью.



Рис. 2 – ФНЧ: *а* – 1-го порядка; *б* – 2-го порядка

Передаточные функции этих схем:

, (2)

. (3)

Сопоставляя эти выражения с (1), можно получить выражения для коэффициентов *а*i, *b*i. Затем по частоте среза ωс и значениям *а*i, *b*i из табл. 1 определить параметры резисторов и конденсаторов фильтра. Так как число коэффициентов меньше числа элементов, то значениями некоторых из них приходится задаваться. Для схемы на рис. 2,а задаются ωc, *К*0 = *R*2/*R*1, *С* и определяют:

, (4)

а для схемы на рис. 2,б задаются ωc, *К*0, *С*1 и *C*2 и определяют:

. (5)

В курсовой работе могут быть использованы схемы ФНЧ с частотно-зависимой положительной обратной связью. Формулы (2)–(5) для них надо получать самостоятельно.

2. Активные ФВЧ

Частотная характеристика ФВЧ является зеркальным отражением характеристики ФНЧ относительно частоты среза. При замене в (1) *К*0 на коэффициент *K*B усиления на высоких частотах и *Р* на 1/*Р* передаточная функция ФВЧ в общем виде выглядит следующим образом:

. (6)

На рис. 3 изображены активные ФВЧ 1-го и 2-го порядков.



Рис. 3. ФВЧ: *а* – 1-го порядка; *б* – 2-го порядка

Для схемы на рис. 3,а:

. (7)

Для схемы на рисунке 3,б при *R*4 = (α – 1)/*R*3:

. (8)

Пусть α = *K*B =1 и *С*1 = *С*2 = *С*. Тогда получается:

. (9)

3. Полосовые активные фильтры

При замене в (1) *Р* на  передаточная функция полосового фильтра в общем виде выглядит следующим образом:

, (10)

где *K*0 – коэффициент усиления на резонансной частоте; *Q* – добротность фильтра:

,

ΔΩ – полоса пропускания фильтра:

ΔΩ = ΩB – ΩH;

ΩB и ΩH – верхняя и нижняя частоты среза фильтра.

Полосовой фильтр может быть реализован последовательным соединением ФНЧ и ФВЧ, но может быть и однокаскадным. Схема одного из вариантов полосового фильтра приведена на рис. 4.



Рис. 4. Схема полосового фильтра

Для схемы на рис. 4:

. (11)

,

 (12)

Резонансную частоту *f*0 удобно изменять, варьируя величиной *R*3, при постоянных *K*0 и *В*.

4. Заграждающие активные фильтры

У такого фильтра на резонансной частоте значение передаточной функции равно нулю. Передаточную функцию заграждающего фильтра в общем виде можно получить заменой в (1) *Р* на :

, (13)

где ΔΩ – нормированная полоса подавления; *Q* – добротность подавления:

;



Рис. 5. Заграждающий фильтр с двойным Т-образным мостом в цепи положительной обратной связи

Пассивный фильтр на основе двойного T-образного моста является заграждающим, но с низкой добротностью (Ω = 1/4). Использование усилителя позволяет повысить добротность подавления. При *R*2 = (α – 1)*R*1:

. (14)

Сопоставляя это выражение с (13), получаем:

 (15)

При α → 2 добротность подавления стремится к бесконечности.