

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Тольяттинский государственный университет

Певчев В.П.

РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы
по дисциплине: «Основы проектирования и технологии ЭКБ»
для студентов специальности 210106 всех форм обучения

Тольятти 2009

УДК 621.38.061

ББК 30.2-5-05

Кафедра «Промышленная электроника» (ТГУ).

Певчев В.П. Разработка усилителя переменного тока: Методическое пособие. Тольятти: ТГУ, 2009.

Пособие для студентов специальности 210106 "Промышленная электроника" направления подготовки 654100 "Электроника и микроэлектроника". В пособии приведены параметры задания на курсовое проектирование и предлагается теоретический материал по проектированию усилителей переменного тока с использованием RC - цепей и интегральных усилителей. Пособие может использоваться на очной и заочной формах обучения по курсу «Основы проектирования и технологии ЭКБ»

УДК 621.38.061

ББК 30.2-5-05

© Тольяттинский государственный университет, 2009

Содержание

1. Задание на курсовую работу. Структура и перечень исходных данных...	4
1.1. Содержание пояснительной записки	5
1.2. Требования к оформлению.	6
2. Краткая теория активных фильтров	7
2.1. Активные фильтры нижних частот	8
2.2. Активные фильтры верхних частот.....	12
2.3. Полосовые активные фильтры.....	14
2.4. Заграждающие активные фильтры	16
3. Порядок защиты курсовой работы	18
Литература	19
Приложение А. Варианты индивидуальных заданий.....	20
Приложение Б. Образец титульного листа	22

1. Задание на курсовую работу. Структура и перечень исходных данных

Разработать усилитель переменного тока с применением интегральных операционных усилителей. Для чего выполнить следующее:

1) Составить функциональную схему устройства, обеспечивающего достижение следующих параметров:

- входное напряжение;
- входное сопротивление;
- коэффициент усиления по напряжению;
- напряжение питания;
- ток нагрузки;

- параметры амплитудно-частотной характеристики: частоты срезов, значения спадов и тип характеристики в зонах частот срезов. Числовые значения параметров приведены в приложении А и выбираются в соответствии с заданным номером варианта.

При этом необходимо сформировать техническое задание для каждого из использованных блоков функциональной схемы (коэффициент усиления, функциональные характеристики и т.д.).

2) Выбрать интегральные микросхемы (обязательно должны присутствовать операционные усилители).

3) Рассчитать пассивные элементы схемы (предлагается краткая теория активных фильтров – п.2 и программа для ЭВМ для их расчёта).

4) Рассчитать параметры нагрузки микросхем и величины входных напряжений. Сравнить их со справочными параметрами. Принять решение о допустимости использования выбранных микросхем. Учитывать кроме предельно допустимых параметров также напряжение питания, усилительные и частотные характеристики микросхем. Если использование выбранной микросхемы недопустимо – произвести повторный выбор. В пояснительной записке приводится лишь результат окончательного выбора.

5) Составить пояснительную записку с приведением функциональной схемы и принципиальных схем отдельных её блоков и описанием принципа их действия.

1.1.Содержание пояснительной записки

Пояснительная записка должна содержать:

- 1) Задание на курсовое проектирование и номер варианта.
- 2) Раздел №1. Анализ исходных данных. Проектирование функциональной схемы (блок-схемы) с выработкой технического задания на каждый блок.
- 3) Раздел №2. Составление принципиальной схемы усилителя (сопроводить текст рисунками блоков принципиальной схемы) и расчёт необходимых для достижения задания параметров её пассивных элементов. Для выбранных микросхем привести в табличной форме справочные параметры и обосновать возможность использования выбранных микросхем по всем параметрам, за исключением предельных.
- 4) Раздел №3. Построение для разработанной принципиальной схемы усилителя амплитудно-частотной характеристики (с применением программы MicroCAP).
- 5) Раздел №4. Подтверждение правильности выбора интегральных микросхем. Для проверки соответствия микросхем по предельному выходному току необходимо составить схему замещения принципиальной схемы разработанного усилителя. По возможности упростить схемы замещения микросхем: исключить входные и выходные сопротивления, а также входные токи путём сравнения их с параметрами пассивных элементов разработанной схемы. Предельно допустимая погрешность от подобных допущений – 10%. Рассчитать амплитуды токов всех микросхем разрабатываемого усилителя. Сравнение параметров нагрузок микросхем со справочными значениями выполнить в виде таблицы.
- 6) Список использованной литературы.
- 7) Обязательные приложения: чертёж схемы электрической принципи-

альной разработанного усилителя и перечень элементов схемы.

Примечание. При необходимости могут быть введены другие разделы.

1.2. Требования к оформлению.

- Пояснительная записка выполняется в соответствии с ЕСКД как научно - исследовательская работа в соответствии с ГОСТ 7.32-2001.

- Пояснительная записка должна быть выполнена на стандартных листах формата А4 со сквозной нумерацией страниц и сброшюрована вместе с чертежом схемы и перечнем её элементов.

- Чертёж схемы электрической принципиальной разработанного усилителя выполняется на стандартных листах формата А4–А3 в соответствии с ГОСТ 2.004-79 и 2.701-84. Перечень элементов схемы помещается на первом листе схемы или выполняется в виде самостоятельного документа (ГОСТ 2.701-84).

- Расчётные формулы должны сопровождаться расшифровкой обозначений.

- Расчётные численные значения должны округляться до второго знака после запятой и иметь общепринятую размерность. Численные значения параметров пассивных элементов (резисторов, конденсаторов) приводятся в соответствие со стандартными рядами значений этих параметров.

- Выбор каждого элемента принципиальной схемы усилителя должен сопровождаться обоснованием в соответствии с техническим заданием (ТЗ).

- При использовании литературного источника в тексте записки необходимо давать ссылку в квадратных скобках. Список составляется в соответствии с последовательностью ссылок в тексте. Список литературы должен быть оформлен согласно ГОСТ 7.1-84.

- Текстовые пояснения в записке должны быть краткими и точными.

- Образец титульного листа приведён в приложении Б.

- Объем записки не должен превышать 30 страниц.

2. Краткая теория активных фильтров

В схемотехнике часто используются и имеют большое значение RC-цепи. Рассмотрим в качестве примера схемы активных фильтров на операционных усилителях. Любой усилитель с частотно зависимым коэффициентом усиления можно считать активным фильтром. Частотная зависимость коэффициента усиления может задаваться внешними пассивными элементами, частотной зависимостью усилительных параметров активных элементов или совместным действием обеих причин.

Внешние пассивные элементы могут быть включены в виде нагрузочных цепей или в виде цепей обратной связи. Когда они являются нагрузками активных элементов, особенно если их частотные характеристики соответствуют фильтрам нижних частот или полосовым (полосно-пропускающим) фильтрам, то мы имеем дело с обычными усилителями низких частот или с полосовыми усилителями. В любой из этих схем при интегральном исполнении катушки индуктивности могут быть заменены имитированными гираторами индуктивностями, а сами схемы фильтров обычно остаются подобными схемам на пассивных RLC – элементах. Однако гиратор не может создать имитированные индуктивности большой величины и добротности, поэтому этот метод замены индуктивности применим на достаточно высоких частотах при имитации сравнительно небольших индуктивностей.

При низких значениях частоты среза или центральной частоты полосы пропускания удобным и эффективным методом реализации фильтров является включение пассивных частотно зависимых элементов в цепи обратной связи. Это позволяет получить компактные фильтры высокого порядка без применения индуктивностей, что особенно важно при их микросхемотехническом исполнении.

Операционный усилитель (ОУ) является весьма подходящим активным элементом для реализации подобных фильтров. Чаще всего, когда говорят об активных фильтрах, имеют в виду именно фильтры такого рода на высокока-

чественных усилителях с цепями внешней обратной связи.

Рассмотрим основные схемные реализации активных фильтров на основе ОУ.

2.1. Активные фильтры нижних частот

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

$$K(p) = \frac{U_{\text{ВЫХ}}(p)}{U_{\text{ВХ}}(p)} = \frac{K_0}{(1 + a_1 p + b_1 p^2)(1 + a_2 p + b_2 p^2) \dots} \quad (1)$$

где: $U_{\text{ВЫХ}}(p)$ и $U_{\text{ВХ}}(p)$ - изображения по Лапласу выходного и входного напряжений;

K_0 – коэффициент передачи фильтра на нулевой частоте;

a_i, b_i – положительные действительные числа (коэффициенты фильтра);

$p = j \cdot \omega / \omega_c = j\Omega$ – нормированная комплексная переменная;

ω_c – частота среза фильтра;

Ω – нормированная частота.

Порядок фильтра определяется значением степени p в знаменателе после перемножения всех сомножителей.

Свойства фильтра зависят от его порядка и величин a_i, b_i . Обычно коэффициенты фильтра выбираются так, чтобы удовлетворить определенному критерию оптимальности. В связи с этим различают следующие основные типы фильтров:

- Баттерворта, имеющие наиболее плоскую частотную характеристику до частоты среза;
- Чебышева, обладающие наибольшей крутизной спада частотной характеристики за частотой среза;
- Бесселя, у них наиболее линейная фазовая характеристика до частоты среза.

Все свойства фильтров различных типов любого порядка определяются коэффициентами a_i , b_i . Значения коэффициентов a_i , b_i рассчитаны и сведены в таблицы, имеющиеся в руководствах по проектированию фильтров. На основании их и требуемых значений частоты среза ω_c могут быть рассчитаны конкретные данные (R , L , C) реальной схемы фильтра.

Названия фильтров вытекают из того, что знаменатель выражения (1) в указанных выше случаях представляет собой полином Баттерворта, Чебышева или Бесселя. Выражения для этих полиномов при $n \leq 4$ приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Значения коэффициентов полинома

Порядок полинома	Полиномы		
	Баттерворта	Чебышева $\epsilon=0.5$	Бесселя
1	$a_1=1$ $b_1=0$	$a_1=1$ $b_1=0$	$a_1=1$ $b_1=0$
2	$a_1=1.4142$ $b_1=1$	$a_1=1.3032$ $b_1=1.5515$	$a_1=1.367$ $b_1=0.618$
3	$a_1=1$ $b_1=0$ $a_2=1$ $b_2=1$	$a_1=2.2156$ $b_1=0$ $a_2=0.5442$ $b_2=1.2057$	$a_1=0.756$ $b_1=0$ $a_2=0.996$ $b_2=0.4772$
4	$a_1=1.8478$ $b_1=1$ $a_2=0.7654$ $b_2=1$	$a_1=2.2156$ $b_1=4.13$ $a_2=0.3039$ $b_2=1.1697$	$a_1=1.3397$ $b_1=0.4889$ $a_2=0.7743$ $b_2=0.389$

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. При этом следует иметь в виду, что тип фильтра (Баттерворта, Чебышева, Бесселя) в общем случае не

соответствует типу его отдельных звеньев.

Далее представлены схемы ФНЧ 1-го и 2-го порядков на ОУ с отрицательной обратной связью.

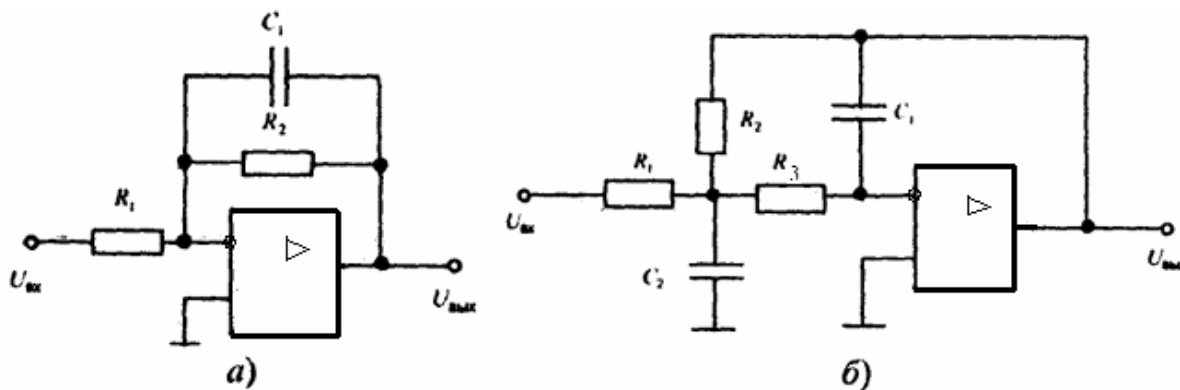


Рисунок 1 - ФНЧ 1-го и 2-го порядков на ОУ с отрицательной обратной связью.

Передаточные функции этих фильтров для а):

$$K(P) = -\frac{R_2 / R_1}{1 + \omega_c R_2 C \cdot P}, \quad (2)$$

для б):

$$K(P) = -\frac{R_2 / R_1}{1 + \omega_c C_1 \left(R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1} \right) \cdot P + \omega_c^2 C_1 C_2 R_2 R_3 P^2}. \quad (3)$$

Сопоставляя эти выражения с (1), можно получить выражения для коэффициентов a_i , b_i , а затем, задавшись частотой среза ω_c и численными значениями a_i , b_i для фильтра того или иного типа, определить значения элементов схемы. При этом, так как число коэффициентов меньше числа элементов, то значениями некоторых из них приходится также задаваться. Для схемы на рисунке 1а задаются ω_c , $K_0 = R_2 / R_1$, C и определяют:

$$R_2 = \frac{a_1}{\omega_c C}; \quad R_1 = -\frac{R_2}{K_0}, \quad (4)$$

а для схемы на рисунке 1б задаются ω_c , K_0 , C_1 и C_2 и определяют:

$$R_2 = \frac{a_1 C_2 - \sqrt{a_1^2 C_2^2 - 4C_1 C_2 b_1 (1 - K_0)}}{2\omega_c C_1 C_2}; \quad R_1 = -\frac{R_2}{K_0}; \quad R_3 = \frac{b_1}{\omega_c^2 C_1 C_2 R_2}. \quad (5)$$

Активные ФНЧ могут быть созданы также на ОУ с положительной обратной связью.

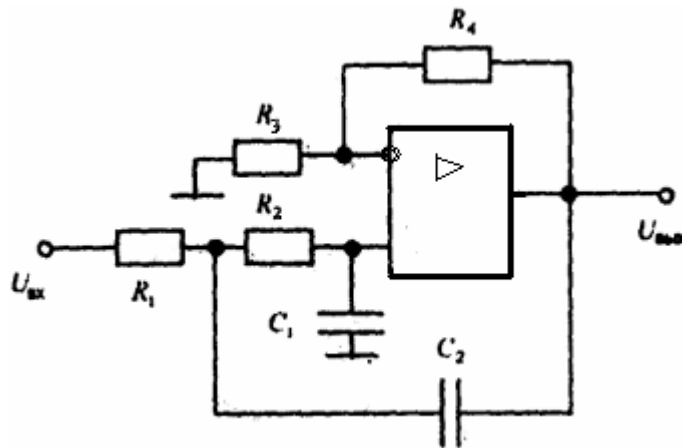


Рисунок 2 - ФНЧ на ОУ с положительной обратной связью.

Здесь $K_0 = 1 + R_4 / R_3$. Если принять, что $R_4 = (\alpha - 1)R_3$, то $K_0 = \alpha$.

Передаточная функция фильтра:

$$K(p) = \frac{\alpha}{1 + \omega_c [C_1(R_1 + R_2) + (1 - \alpha)R_1 C_1]p + \omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2 p^2}. \quad (6)$$

Видно, что схема фильтра и выражение существенно упрощаются, если выбрать $\alpha = 1$. В этом случае $R_4 = 0$, а $R_3 = \infty$, т.е. оба резистора R_3 и R_4 могут быть исключены из схемы и $K_0 = \alpha = 1$.

Тогда, задавшись ω_c , C_1 и C_2 , получаем:

$$R_1 = R_2 = \frac{a_1 C_2 \pm \sqrt{a_1^2 C_2^2 - 4b_1 C_1 C_2}}{2\omega_c C_1 C_2}; \quad \frac{C_2}{C_1} \geq \frac{4b_1}{a_1^2}. \quad (7)$$

Если принять $R_1=R_2=R$, $C_1=C_2=C$, то:

$$RC = \sqrt{b_1}/\omega_c; \quad \alpha = K_0 = 3 - a_1/\sqrt{b_1}. \quad (8)$$

Отсюда следует, что реализация фильтра того или иного типа (коэффициенты a_i , b_i) достигается выбором соответствующего значения α . При $\alpha = 3$ схема возбуждается на частоте:

$$f = 1/2\pi RC. \quad (9)$$

2.2. Активные фильтры верхних частот

В теории фильтров доказано, что передаточная функция ФВЧ может быть получена из передаточной функции ФНЧ заменой K_0 на K_B , где K_B – коэффициент усиления на частоте $f \rightarrow \infty$, и P на $1/P$.

В этом случае, передаточная функция ФВЧ в общем виде выглядит следующим образом:

$$K(p) = \frac{K_B}{\left(1 + \frac{a_1}{P} + \frac{b_1}{P^2}\right) \left(1 + \frac{a_2}{P} + \frac{b_2}{P^2}\right)}. \quad (10)$$

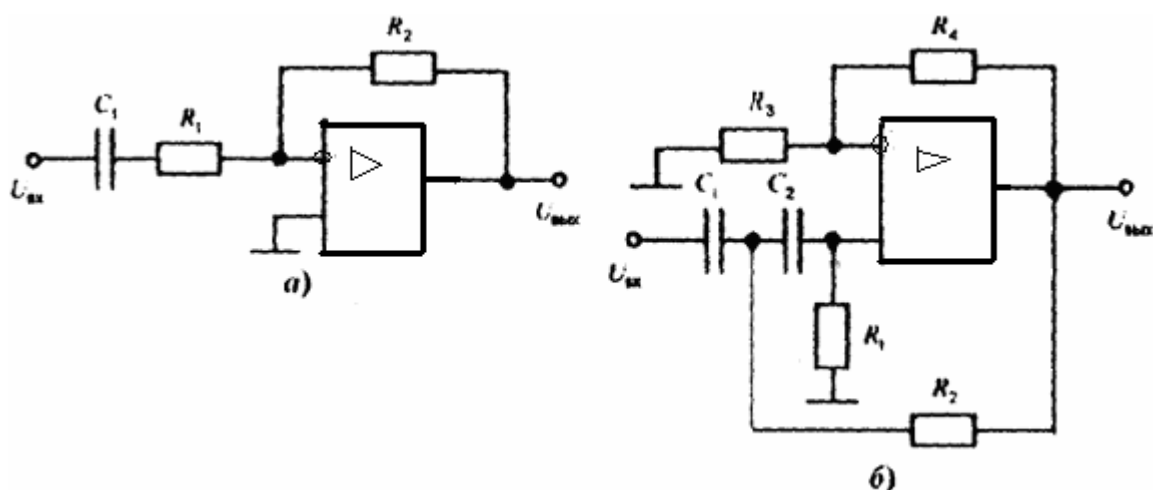


Рисунок 3 - ФВЧ 1-го и 2-го порядков на ОУ с отрицательной и положительной обратными связями.

Соответственно схема фильтра верхних частот получается из схемы ФНЧ взаимной заменой R и C в цепях, определяющих частотную характеристику. На рисунке 3а, б изображены активные ФВЧ 1-го и 2-го порядков на ОУ с отрицательной и положительной обратными связями.

Для схемы на рисунке 3а:

$$K(p) = -\frac{R_2/R_1}{1 + \frac{1}{\omega_c R_1 C_1 p}}; \quad R_1 = \frac{1}{\omega_c a_1 C_1}; \quad R_2 = -R_1 K_B. \quad (11)$$

Для схемы на рисунке 3б при $R_4 = (\alpha-1)/R_3$:

$$K(p) = \frac{\alpha}{1 + \frac{R_2(C_1 + C_2) + R_1 C_2(1 - \alpha)}{R_1 R_2 C_1 C_2 \omega_c p}} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2 \omega_c^2 p^2}. \quad (12)$$

При $\alpha = 1$; $C_1 = C_2 = C$ получаем:

$$K_B = 1; \quad R_1 = \frac{2}{\omega_c C a_1}; \quad R_2 = \frac{a_1}{2\omega_c C b_1}. \quad (13)$$

Частотная характеристика ФВЧ является зеркальным отображением частотной характеристики ФНЧ относительно частоты среза.

2.3. Полосовые активные фильтры

Выражение для передаточной функции полосового фильтра можно получить из аналогичного выражения для ФНЧ заменой P на:

$$\frac{1}{\Delta\Omega} \left(P + \frac{1}{P} \right),$$

где: $\Delta\Omega$ – нормированная относительно резонансной частоты полоса пропускания полосового фильтра $\Delta\Omega = \Omega_B - \Omega_H$;

Ω_B и Ω_H – верхняя и нижняя нормированные частоты среза полосового фильтра. Если Ω_B и Ω_H определены по спаду усиления на 3 дБ, то:

$$\Omega_{B,H} = 0.5\sqrt{(\Delta\Omega)^2 + 4} \pm 0.5\Delta\Omega.$$

Передаточная функция полосового фильтра не может иметь порядок меньше второго. В общем виде её можно записать как:

$$K(p) = \frac{K_0 P / Q}{1 + P / Q + P^2}, \quad (14)$$

где K_0 – коэффициент усиления на резонансной частоте;

$$Q = \frac{f_0}{B} = \frac{f_0}{f_B - f_H} = \frac{1}{\Delta\Omega} \quad \text{– добротность фильтра.} \quad (15)$$

Полосовой фильтр всегда может быть реализован в виде каскадного соединения ФНЧ и ФВЧ, но может быть создан и на одном ОУ.

Схемы подобных фильтров с отрицательной и положительной обратны-

ми связями приведены на рисунке 4 а, б.

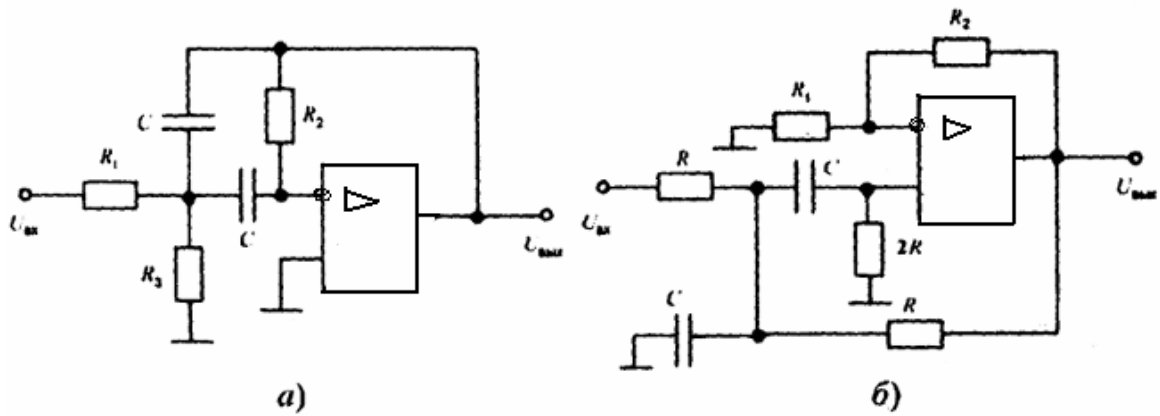


Рисунок 4 - Схемы полосовых фильтров.

Для схемы на рисунке 4 а:

$$K(p) = \frac{-\frac{R_2 R_3}{R_1 + R_3} C \omega_0 P}{1 + \frac{2R_1 R_3}{R_1 + R_3} C \omega_0 P + \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_3} C^3 \omega_0^2 P^2} \quad (16)$$

Сопоставляя это выражение с (2), получаем:

$$B = f_B - f_H = \frac{f_0}{Q} = \frac{1}{\pi R_2 C}, \quad (17)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}}; \quad K_0 = -\frac{R_2}{2R_1};$$

$$Q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_2 (R_1 + R_3)}{R_1 R_3}} = \pi R_2 C f_0. \quad (18)$$

Как видим, полоса пропускания **B** не зависит от R_1 и R_3 . Поскольку K_0 не зависит от R_3 , резонансную частоту f_0 удобно изменять вариацией R_3 , оставляя при этом постоянными K_0 и B .

Для схемы на рисунке 4б при $R_2 = (\alpha - 1) R_1$:

$$K(p) = \frac{\alpha \omega_0 R C P}{1 + \omega_0 R C (3 - \alpha) P + \omega_0^2 R^2 C^2 P^2} . \quad (19)$$

Сопоставляя это выражение с (2), получаем:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R C}; \quad K_0 = \frac{\alpha}{3 - \alpha}; \quad Q = \frac{1}{3 - \alpha} . \quad (20)$$

При $\alpha = 3$ $K_0 \rightarrow \infty$ и возникает самовозбуждение схемы.

2.4. Заграждающие активные фильтры

Передаточную функцию заграждающего фильтра можно получить из передаточной функции ФНЧ заменой P на $\frac{\Delta\Omega}{1 + 1/P}$.

Порядок передаточной функции при этом не может быть меньше второго. Для заграждающего фильтра, полученного из ФНЧ 1-го порядка, можно записать:

$$K(p) = \frac{K_0 (1 + P^2)}{1 + P/Q + P^2} \quad (21)$$

где K_0 – коэффициент усиления на нулевой частоте;

$$Q = \frac{f_0}{B} = \frac{f_0}{f_B - f_H} = \frac{1}{\Delta\Omega} \text{ – добротность подавления;}$$

B – полоса подавления;

$\Delta\Omega$ – нормированная полоса подавления.

На резонансной частоте f_0 ($\Omega = 1$) значение передаточной функции равно нулю.

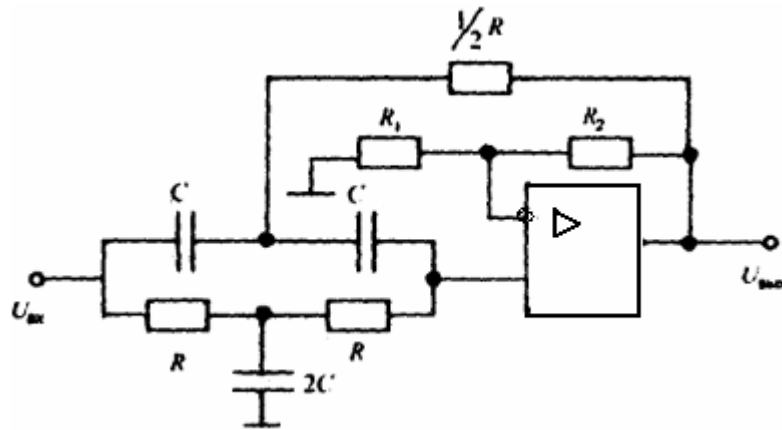


Рисунок 5 - Заграждающий фильтр с двойным Т-образным мостом в цепи положительной обратной связи.

Пассивный фильтр на двойном Т - образном мосте является заграждающим, но с невысокой добротностью ($Q = 1/4$). Использование ОУ с положительной обратной связью позволяет повысить добротность подавления.

При $R_2 = (\alpha - 1)R_1$:

$$K(p) = \frac{\alpha(1 + P^2)}{1 + 2(2 - \alpha)P + P^2}. \quad (22)$$

Сопоставляя это выражение с (3), получаем:

$$Q = \frac{1}{2(2 - \alpha)}; \quad f_0 = \frac{1}{2\pi RC}; \quad K_0 = \alpha. \quad (23)$$

Как видим, при $\alpha \rightarrow 2$ добротность подавления стремится к бесконечности.

3. Порядок защиты курсовой работы

В случае ритмичного выполнения курсовой работы и досрочной сдачи правильно выполненной работы (до зачётной недели) процедура защиты упрощается и происходит без ответов студента на вопросы. В противном случае студенту могут быть заданы вопросы из следующего списка:

Перечень вопросов по защите работы

- Структурная схема и параметры ОУ.
- Обозначения ИМС, нумерация выводов, изображения аналоговых ИМС на схемах.
- Схемы масштабных усилителей.
- Формулы для расчета коэффициента усиления, входного и выходного сопротивлений масштабных усилителей.
- Схемы активных фильтров 2-порядка.
- Правила выбора ИМС в схемах усилителей и в переключательных схемах.
- Схемотехника и пороговые напряжения компараторов.

Литература

1. ГОСТ 17021-75 Микросхемы интегральные. Термины и определения.
2. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники / И.П.Степаненко.- 2-е изд. - М.: Лаб.Базовых Знаний, 2003.- 488 с.
3. Аваев Н.А. Основы микроэлектроники / Н.А.Аваев, Ю.Е.Наумов, В.Т.Фролкин.- М.: Радио и связь, 1991.
4. Агаханян Т.М. Интегральные микросхемы / Т.М.Агаханян.- М.: Энергоиздат, 1991.- 464 с.
5. Хоровиц П. Искусство схемотехники / П.Хоровиц, У.Хилл.- изд.6; Пер. с англ.- М.: Мир, 2003.- 704 с
6. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы / под ред. Якубовского С.В.- М.: Радио и связь, 1985. - 432 с.
7. Шило В.А. Линейные интегральные микросхемы в радиоэлектронной аппаратуре / В.А.Шило.- М.: Радио и связь, 1987.- 352 с.
8. Титце У. Полупроводниковая схемотехника / У.Титце, К.Шенк.- М.: Мир, 1982.
9. Певчев В.П. Анализ схем и разработка печатных плат: учебно-методическое пособие / ТГУ.- Тольятти:, 2006.- 154 с.
10. Знаменский А.Е. Активные RC- фильтры / А.Е.Знаменский, Н.Н. Теплюк.- М.: Радио и связь, 1989.
11. Джонсон Д. Справочник по активным фильтрам / Д. Джонсон, Дж. Джонсон, Г. Мур.- М.: Мир, 1984.
12. Сословский А.Д. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства / А.Д. Сословский, Н.Н. Акимов.- М., 1994.

Приложение А. Варианты индивидуальных заданий

Таблица 2 - Варианты индивидуальных заданий

Вариант	Uвх мВ	Ku	Rвх кОм	F ₁ Гц	F ₂ Гц	Спад АЧХ на нч дВ/дек	Спад АЧХ на вч дВ/дек	Вид АЧХ	Iвых мА	Упит В + -
1	0.2	10 ⁴	1000	0.05	100	20	40	Бесс.	1	5
2	1	10 ⁴	100	0.15	150	40	40	Бесс.	10	15
3	20	10 ²	10	0	1000	-	40	Батт.	0.1	12
4	50	10 ²	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*10 ⁴	1	10	10 ⁶	40	40	Батт.	20	15
8	0.1	5*10 ⁴	10	50	2*10 ⁶	20	60	Батт.	1	15
9	20	10	100	0	20*10 ⁶	-	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	10 ⁶	60	60	Батт.	0.01	2.4
13	1000	10	10	0.05	400	20	60	Бесс.	10	15
14	0.2	10 ⁴	100	1	1000	40	40	Батт.	10	15
15	1	10 ⁴	1	100	2*10 ⁶	60	40	Бесс.	20	15
16	0.2	10 ⁴	1000	0.05	100	-	-	загр.	1	5
17	1	10 ⁴	100	0.15	150	-	-	загр.	10	15
18	20	10 ²	10	0	1000	-	-	загр.	0.1	12
19	50	10 ²	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*10 ⁴	1	10	10 ⁶	-	-	загр.	20	15
23	0.1	5*10 ⁴	10	50	2*10 ⁶	-	-	загр.	1	15
24	20	10	100	0	20*10 ⁶	-	-	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	10 ⁶	-	-	загр.	0.01	2.4
28	1000	10	10	0.05	400	-	-	загр.	10	15

Продолжение таблицы 2

29	0.2	10^4	100	1	1000	-	-	загр.	10	15
30	1	10^4	1	100	10^6	-	-	загр.	20	15
31	0.2	10^4	1000	0.05	100	20	40	Бесс.	1	5
32	1	10^4	100	0.15	150	40	40	Бесс.	10	15
33	20	10^2	10	0	1000	-	40	Батт.	0.1	12
34	50	10^2	1	0.5	20	40	60	Чеб.	1	15
35	100	10	0.1	1	100	40	40	Бесс.	0.2	2.4
36	500	10	0.1	5	500	20	20	-	10	15
37	0.2	$2 \cdot 10^4$	1	10	10^6	40	40	Батт.	20	15
38	0.1	$5 \cdot 10^4$	10	50	$2 \cdot 10^6$	20	60	Батт.	1	15
39	20	10	100	0	$20 \cdot 10^6$	-	20	-	100	12
40	50	10	1000	300	3000	40	40	Чеб.	5	15
41	100	10	10000	500	1000	40	40	Батт.	0.1	2.4
42	0.5	10	1000	1000	10^6	60	60	Батт.	0.01	2.4
43	1000	10	10	0.05	400	20	60	Бесс.	10	15
44	0.2	10^4	100	1	1000	40	40	Батт.	10	15
45	100	10	10000	500	5000	-	-	загр.	3	5

Приложение Б. Образец титульного листа

Тольяттинский государственный университет

Электротехнический факультет

Кафедра «Промышленная электроника»

Пояснительная записка к курсовой работе

«Разработка усилителя переменного тока»

вариант ____

Преподаватель:

Студент:

Группа:

Тольятти ____ г.