

# 1. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

## 1.1. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Курсовой проект по дисциплине “Теоретические основы радиотехники” выполняется студентами по специальности 11.05.01 – радиотехнические системы и комплексы.

Тема курсовой работы: «Синтез и анализ активных фильтров I-го и II-го порядков».

Задача курсового проекта – практическое освоение методов расчёта радиоэлектронных схем активных фильтров на современной элементной базе и анализ прохождения сигналов через них с применением ЭВМ.

Рассчитать активные фильтры I-го и II-го порядков, имеющие заданные параметры:

- максимальный коэффициент усиления по напряжению  $K_u$ ;
- граничную частоту  $f_{гр}$  (либо центральную частоту  $f_0$  и полосу пропускания  $2 \Delta f_n$ , либо две граничные частоты  $f_{гр\ м}$  и  $f_{гр\ в}$  – в зависимости от варианта) и проанализировать прохождение через него идеального прямоугольного импульса длительностью  $\tau_u$ .

Схема фильтра определяется предпоследней цифрой шифра табл. 6 (рис. 1, а, б, в, г, д, е, ж, з). Последняя цифра шифра в табл. 5 определяет параметры фильтра.

1. Используя схему замещения идеального ОУ, составить и начертить эквивалентную схему рассчитываемой цепи по переменному току.

2. Найти комплексный коэффициент передачи по напряжению  $K_u(j\omega)$  двумя способами: составив и решив систему уравнений электрического равновесия и руководствуясь принципом виртуального замыкания.

3. На основании данных табл. 4 подобрать тип операционного усилителя, подходящий для реализации требуемых характеристик схемы.

4. Рассчитать номиналы элементов, позволяющих реализовать заданные в табл. 5 параметры активного фильтра.

5. Рассчитать модуль и фазу коэффициента передачи  $K_u(j\omega)$  (АХЧ и ФХЧ) активного фильтра в зависимости от частоты. Построить графики.

6. Записать выражение для коэффициента передачи  $K_u(P)$ , используя которое с помощью теоремы разложения рассчитать переходную характеристику цепи и построить её график.

7. Используя результаты анализа в п. 6, рассчитать и изобразить на графике форму импульса на выходе фильтра при идеальном прямоугольном видео-импульсе длительностью  $\tau_u$  на входе. Пояснить, какими особенностями АХЧ обуславливается вид импульса на выходе. Определить время нарастания фронта, время спада импульса или декремент затухания (при колебательном характере отклика).

8. Изобразить на графике функцию спектральной плотности  $S_1(\omega)$  идеального прямоугольного видеоимпульса на входе активного фильтра и функцию спектральной плотности отклика  $S_2(\omega)$  на выходе.

9. Используя параметры реального ОУ, взятые из табл. 4, составить задание для расчёта коэффициента передачи схемы на ЭВМ. По данным расчёта построить графики АХЧ, ФХЧ. Сравнить графики АХЧ и ФХЧ с рассчитанными в п. 5.

10. Ориентируясь на выбранный ОУ, изобразить полную принципиальную схему рассчитанного активного фильтра, показав на ней цепи питания и фазовой коррекции.

Таблица 4

Тип ОУ	Параметры ОУ				
	$K$	$f_B$ , кГц	$f_1$ , МГц	$R_{вх.}$ , кОм	$R_{вых.}$ , кОм
К140УД5	400	35	14	50	1
К140УД6	30000	35	1	1000	0,2
К140УД7	50000	20	0,8	400	0,2
К140УД8	50000	20	1	1	0,2
К140УД10	50000	300	15	1000	0,2
К140УД12	200000	1,5	0,3	5000	1
К284УД1	20000	100	0,5	5000	0,2
К284УД2	5000	100	0,5	200000	0,01
К544 УД2	150000	100	15	10000	0,2
К553УД1	15000	65	1	200	0,15

Таблица 5

Параметры	Последняя цифра шифра										Примечание
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
$ K_u $ , дБ	15	60	20	55	26	50	32	45	40	20	
$f_{cp}$ , кГц	1000	20	800	30	400	40	100	60	80	900	кроме схем а, г, д, з
$f_0$ , кГц	300	10	250	15	150	25	45	25	40	200	для схем а, г
$2\Delta f_n$ , кГц	30	4	30	4	10	1	5	5	5	20	для схем ж, г
$f_{гр.н}$ , кГц	100	3	100	5	30	15	15	10	20	70	для схем д, з
$f_{гр.в}$ , кГц	400	15	450	25	200	55	75	40	80	300	для схем д, з
$\tau_{и}$ , мкс	5	200	10	150	10	50	30	50	40	10	

Таблица 6

Предпоследняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Схема рисунка	а	б	в	г	д	е	ж	з	а	б

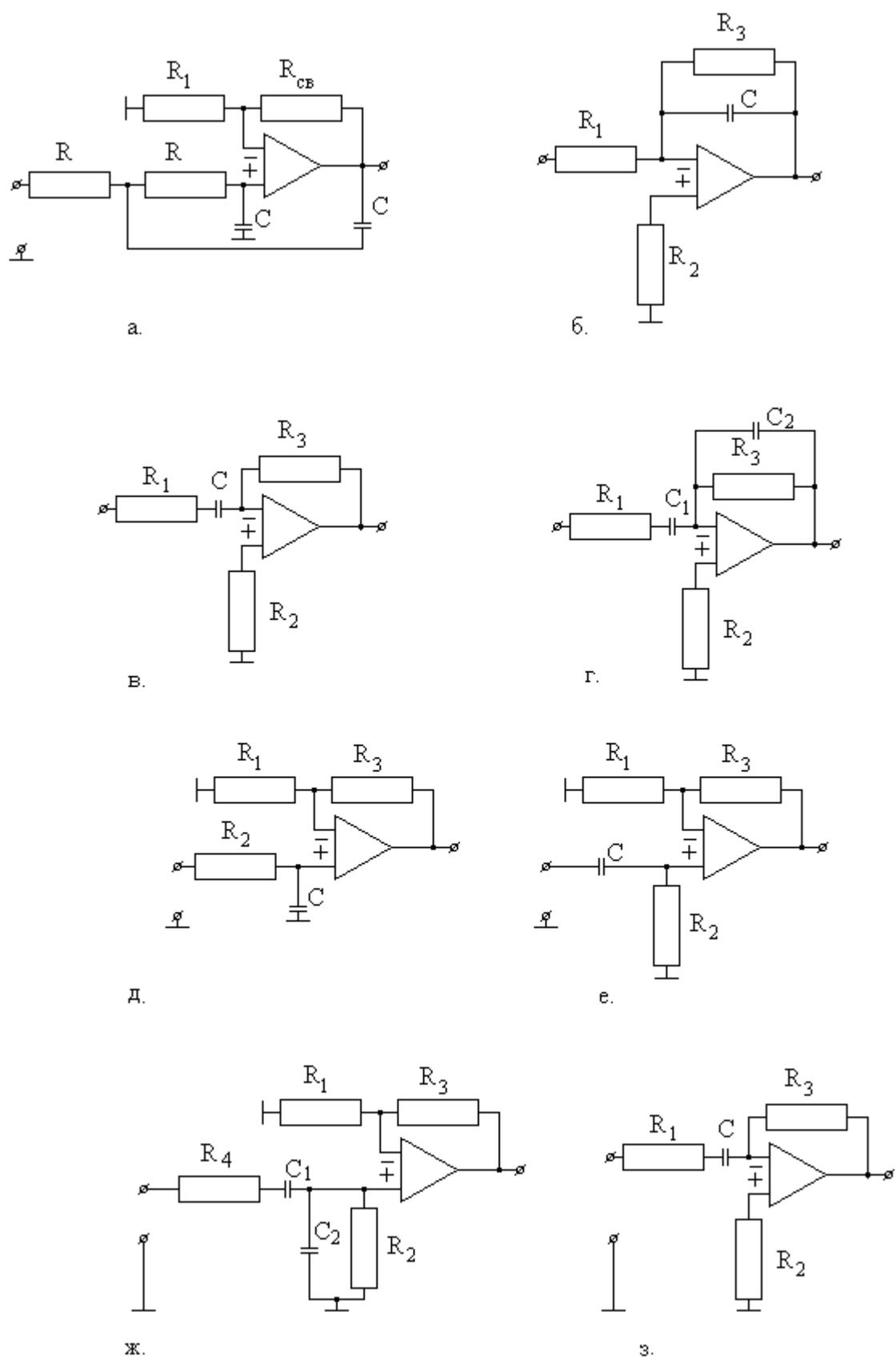


Рис. 1

## 1.2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Активные фильтры построены из резисторов, конденсаторов и усилителей (обычно операционных) и предназначены для того, чтобы из всех подаваемых на их вход сигналов пропускать на выход сигналы лишь некоторых заранее заданных частот. Эти обладающие частотной избирательностью схемы используются для усиления или ослабления определенных частот в звуковой аппаратуре, в генераторах электромузыкальных инструментов, в сейсмических приборах, в линиях связи и т. п.

Фильтр нижних частот пропускает на выход все частоты, начиная от нулевой (постоянный ток) и до некоторой заданной частоты среза  $f_{ср}$ , и ослабляют все частоты, превышающие  $f_{ср}$ , частотная характеристика такого фильтра показана на рис. 2, а.

Диапазон частот, начинающийся от нуля до  $f_{ср}$ , называется полосой пропускания, а диапазон частот, превышающий  $f_{ср}$ , – полосой подавления (или заграждения). Интервал частот между  $f_{ср}$  и  $f_{зрВ}$  называется переходным участком. Частота среза  $f_{ср}$  – это частота, при которой напряжение на выходе фильтра падает до уровня 0,707 от напряжения в полосе пропускания (т.е. падает на 3 дБ), частота  $f_{зрВ}$  – это частота, при которой выходное напряжение на 3 дБ выше, чем выходное напряжение в полосе подавления.

Фильтр верхних частот ослабляет все частоты, начиная с нулевой и до частоты  $f_{ср}$ , и пропускает все частоты, начиная с  $f_{ср}$  и до верхнего частотного предела схемы (рис. 2, б).

Полосовой фильтр пропускает, как показано на рис. 2, в, все частоты в полосе между нижней частотой среза  $f_{зрН}$  и верхней частотой среза  $f_{зрВ}$ . Все частоты ниже  $f_{зрН}$  и выше  $f_{зрВ}$  ослабляются. Диапазон частот от  $f'_{зрН}$  до  $f_{зрН}$  и от  $f_{зрВ}$  до  $f'_{зрВ}$  являются переходными участками.

Геометрическое среднее частот  $f_{зрН}$  и  $f_{зрВ}$  называется средней центральной частотой  $f_0$ , т. е.  $f_0 = \sqrt{f_{зрН} f_{зрВ}}$ .

2. Синтез фильтра начинается с аппроксимации его АЧХ соответствующими функциями. Наиболее употребительной является аппроксимация полиномами Чебышева:

$$\left| \dot{K}(\omega) \right| = \frac{K}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 C_n^2(\omega/\omega_c)}} \quad (1)$$

и Баттерворта:

$$\left| \dot{K}(\omega) \right| = \frac{A}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_c)^{2n}}}, \quad (2)$$

где  $n = 1, 2, 3, \dots$  определяет порядок фильтра.

Характеристики фильтров Чебышева обладают максимальной крутизной, но значительной неравномерностью АЧХ; характеристики фильтров Баттерворта равномерны в полосе частот пропускания, однако крутизна среза невелика.

3. По сравнению с пассивными активные фильтры имеют следующие преимущества:

- в них используются только сопротивления и конденсаторы, т.е. компоненты, свойства которых ближе к идеальным, чем свойства катушек индуктивности;

- они относительно дешёвы;

- они могут обеспечивать усиление в полосе пропускания и (в отличие от пассивных фильтров) редко вносят существенные потери;

- использование в активных фильтрах операционных усилителей обеспечивает развязку входа от выхода;

- активные фильтры относительно легко настраивать;

- активные фильтры невелики по размерам и массе.

Активные фильтры имеют и недостатки. Они нуждаются в источниках питания, а их рабочий диапазон частот ограничен сверху максимальной рабочей частотой операционного усилителя.

4. Коэффициент затухания  $\alpha$  определяет форму характеристики на переходном участке и вид выбросов характеристики в полосе пропускания вблизи переходного участка.

5. Добротность  $\Theta$  связывает среднюю частоту полосы пропускания и её ширину на уровне 3 дБ. Численно добротность равна

$$\Theta = f_o / (f_{зрН} - f_{зрВ}) = \sqrt{f_{зрН} f_{зрВ}} / (f_{зрВ} - f_{зрН}), \quad (3)$$

где  $f_0 = \sqrt{f_{\text{срН}} f_{\text{срВ}}}$  – средняя частота;  
 $f_{\text{срН}}$  – нижняя частота среза на уровне 3 дБ;  
 $f_{\text{срВ}}$  – верхняя частота среза на уровне 3 дБ.

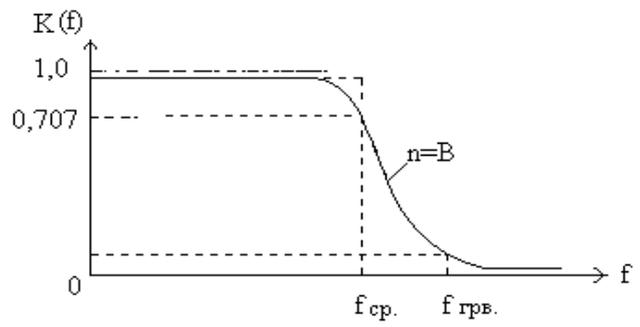
Для активных фильтров  $\Theta = 1/\alpha$ .

6. Схемы активных фильтров нижних частот с параллельной обратной связью второго порядка показаны на рис. 3, 4. На рис. 5 показана схема фильтра верхних частот.

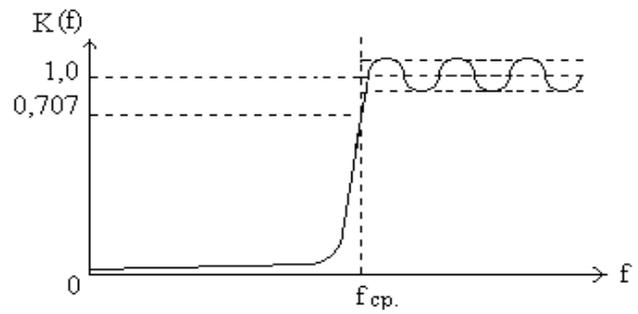
Эти схемы популярны и недороги, их легко настраивать. В обеих схемах каждая из  $RC$  – цепей вносит 6 дБ/Октаву в наклон характеристики на переходном участке. Эти схемы содержат по две  $RC$  – цепи ( $R_1C_1$  и  $R_2C_2$ ), поэтому соответствующие фильтры имеют второй порядок. В фильтре нижних частот цепи  $R_1C_1$  и  $R_2C_2$  являются интегрирующими, а в фильтре верхних частот – дифференцирующими. Сопротивления  $R_A$  и  $R_B$  определяют коэффициент затухания. Характеристика вблизи края полосы пропускания формируется за счет обратной связи, которая осуществляется через конденсатор  $C_1$  в случае фильтра нижних частот или через сопротивление  $R_1$  в случае фильтра верхних частот. Если  $R_1 = R_2$  и  $C_1 = C_2$ , то величины компонентов таких фильтров можно рассчитать.

7. Фильтр с параллельной обратной связью – это простой полосовой фильтр, хорошо работающий при низких и умеренных (примерно до 10) значениях добротности; его схема показана на рис. 6.

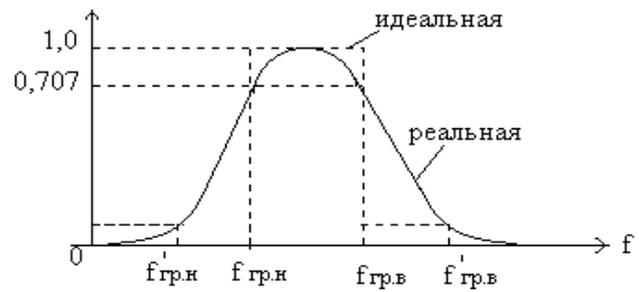
Обратная связь в этой схеме осуществляется одновременно через включенные параллельно  $R_3$  и  $C_1$ . Часть характеристики, соответствующая фильтру нижних частот, формируется с помощью цепи  $R_1$  и  $C_1$ , а часть, соответствующая фильтру верхних частот, – с помощью цепи  $R_3$  и  $C_2$ . Такая обратная связь обеспечивает положение максимума характеристики вблизи частоты  $f_0$ . Сопротивление  $R_2$  можно убрать, но в этом случае изменится процедура вычисления величин компонентов схемы. Сопротивление  $R_2$  служит для увеличения  $R_{\text{вх}}$  и обеспечивает возможность задавать коэффициент усиления в полосе пропускания.



а) амплитудно-частотная характеристика фильтра Баттерворта нижних частот 6-го порядка



б) амплитудно-частотная характеристика фильтра Чебышева верхних частот 6-го порядка



в) полосовой фильтр

Рис. 2

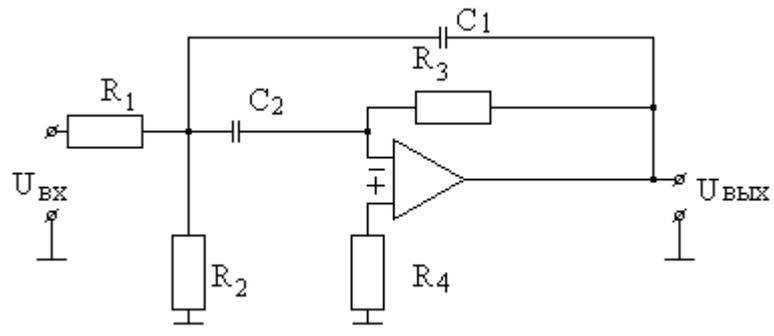


Рис. 3

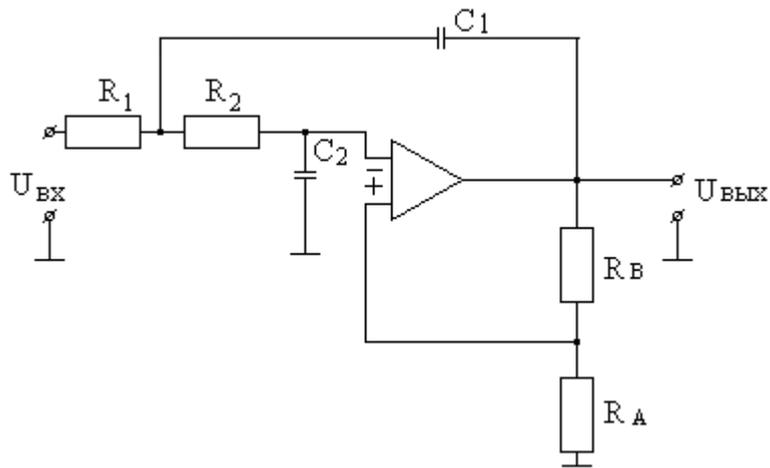


Рис. 4

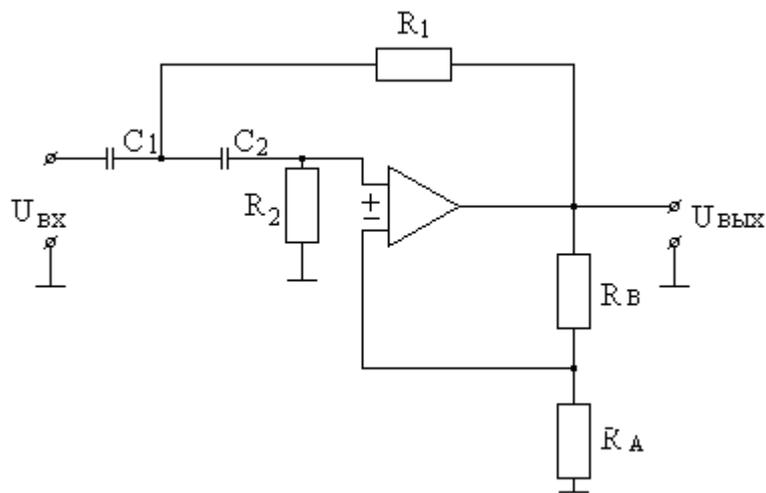


Рис. 5

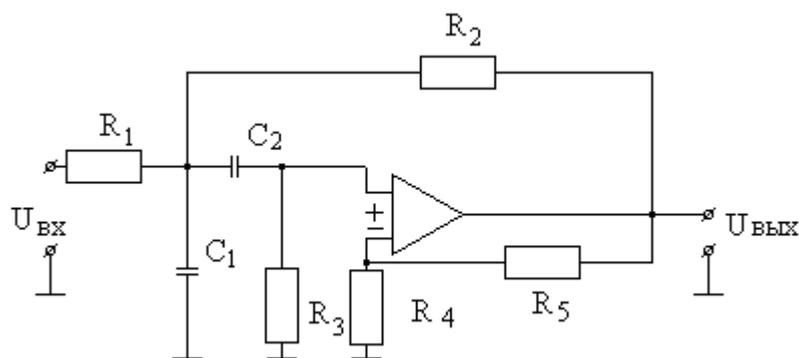


Рис. 6

### 1.3. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ

Вариант схемы активного фильтра для расчёта выбирается студентом по предпоследней цифре личного шифра согласно табл. 6. По табл. 5 в соответствии с последней цифрой шифра выбираются численные значения параметров рассчитываемой схемы. Все предлагаемые для анализа схемы по виду АЧХ можно разделить на 4 типа: фильтры нижних частот; фильтры верхних частот; полосовые фильтры и узкополосные фильтры.

Студент должен самостоятельно определить, к какому типу относится рассчитываемая им схема.

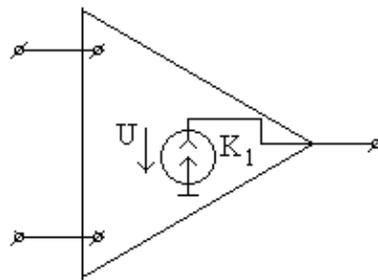
Расчёт активного фильтра начинается с составления эквивалентной схемы цепи по переменному току. Для этого используется схема замещения ОУ, приведённая на рис. 7 (подробнее об ОУ [8, гл.10]; [9, раздел 14.3]).

При этом используется понятие об идеальном операционном усилителе, с той лишь разницей, что  $K_0$  считается конечной, хотя и большой величиной.

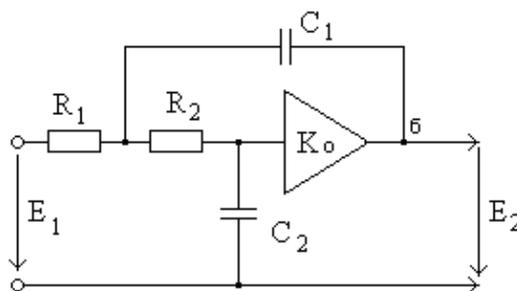
Расчёт комплексного коэффициента передачи можно произвести, используя, например, метод контурных токов или любой другой метод [8, гл. 4] для составления уравнений электрического равновесия (рис. 8, 9).

Приближённую формулу для комплексного коэффициента передачи можно получить также с помощью принципа виртуального замыкания. Суть этого принципа состоит в том, что при качественном анализе радиоэлектронных цепей, содержащих ОУ, разность напряжений на дифференциальных входах усилителей и их входные токи полагаются равными нулю. Виртуальное замыкание не является реальным физическим замыканием, при котором по замкнутому участку цепи может протекать любой ток при нулевом напряжении. Ситуация, описываемая принципом виртуального замыкания, физически нереализуема, что является следствием последовательного использования понятия идеального операционного усилителя ( $R_{вх} = \infty$ ,  $K_0 = \infty$ ,  $R_{вых} = 0$ ). Дело в том, что идеальный операционный усилитель за счёт бесконечно большого собственного коэффициента усиления  $K_0$  и выходного сопротивления, равного нулю,

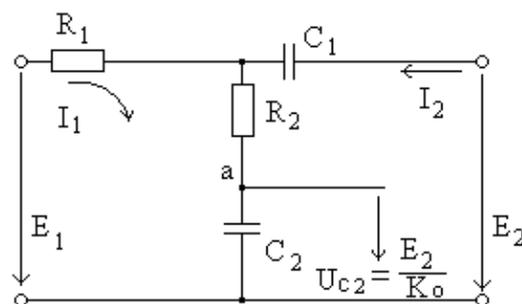
развивает конечное напряжение на любой, отличной от нуля, нагрузке при нулевом входном напряжении. Этот принцип моделирует процессы, протекающие в реальных цепях, ровно в той же мере, в какой модель идеального ОУ соответствует физическому объекту, именуемому “операционный усилитель”. Поскольку эта модель груба, принцип виртуального замыкания, значительно упрощающий расчёты, используется лишь для качественного оперативного анализа радиоэлектронных схем с ОУ. Точность, обеспечиваемая принципом виртуального замыкания, достаточна для целей данной курсовой работы. Примеры использования принципа виртуального замыкания приведены в [8, с. 243-248].



а)



б) активная RC-цепь второго порядка



в) схема замещения

Рис. 7

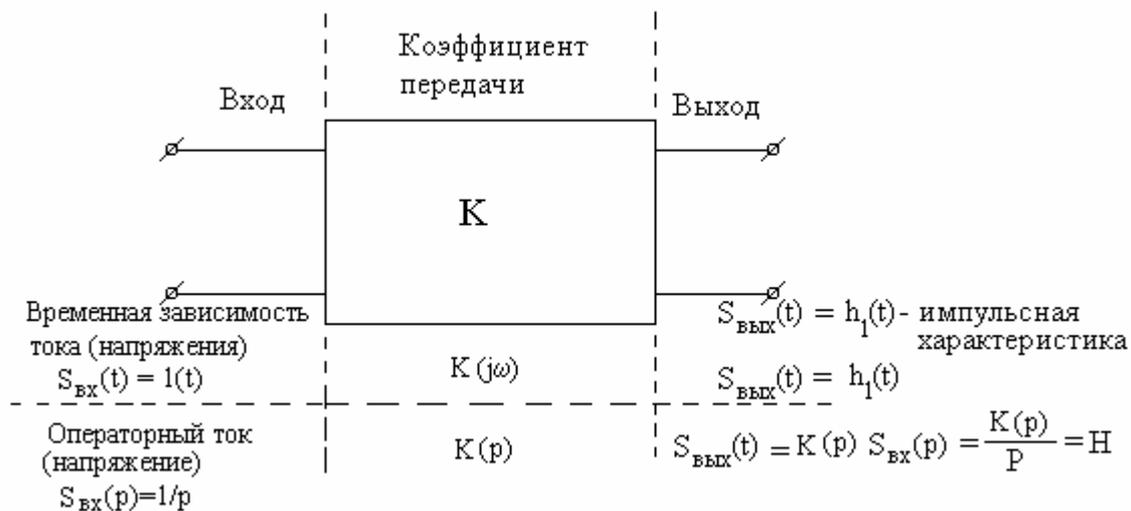


Рис. 8

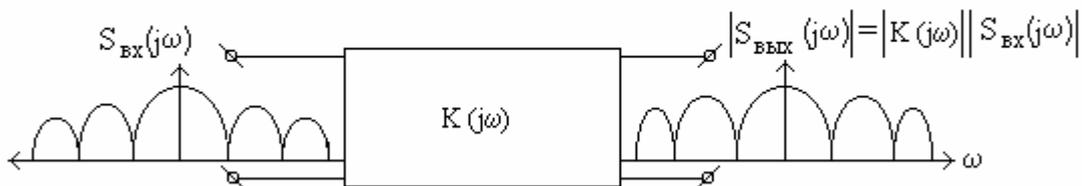


Рис. 9

В курсовой работе предлагается получить выражение для коэффициента передачи  $K(j\omega)$  как с помощью одного из универсальных методов анализа, так и с использованием принципа виртуального замыкания (п. 2).

После того, как будут получены выражения для  $K(j\omega)$  в обоих случаях, положите в первом варианте  $K_0 \rightarrow \infty$ , упростите выражение и сравните результаты.

Выбор типа операционного усилителя на практике может быть обусловлен самыми различными соображениями: теми или иными радиотехническими параметрами (предельной частотой, коэффициентом усиления, напряжением питания и т. п.), стоимостью, вибростойкостью, габаритами, способностью работать при пониженных или повышенных температурах и т. п. В курсовой работе необходимо руководствоваться возможностью удовлетворить требованиям задания по частоте и по коэффициенту усиления, не забывая при этом об экономичности, т. е. о том, что более высокочастотные ОУ, как правило, и более дорогие.

При выполнении п. 4 задания необходимо по заданным характеристикам фильтра и выражению для комплексного коэффициента передачи  $K(j\omega)$  рассчитать значения величин элементов, составляющих схему. Например, в случае полосового фильтра (задаются  $K_{u\max}, f_{zрН}, f_{zрВ}$ ) расчёты можно производить по следующей схеме.

Сначала определяем экстремум  $K(j\omega)$ . Продифференцировав  $K(j\omega)$  по  $\omega$  и приравняв результат к нулю, из уравнения

$$\frac{d|K(j\omega)|}{d\omega} = 0$$

найдем значение частоты  $\omega = \omega_0$ , при котором функция  $K(j\omega)$  имеет максимум  $K(j\omega) = K_{u\max}$ .

Очевидно, должно выполняться условие

$$2\pi f_{zрН} < \omega < 2\pi f_{zрВ}.$$

Таким образом, мы имеем три уравнения:

$$\frac{|K(j\omega_0)|}{K_{u\max}} = 1, \quad \frac{|K(j\omega_{zрН})|}{K_{u\max}} = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \frac{|K(j\omega_{zрВ})|}{K_{u\max}} = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad (4)$$

из которых можно найти необходимые значения величин элементов рассчитываемой схемы.

Расчёт АЧХ и ФЧХ (п. 5 задания) традиционен и не требует дополнительных пояснений.

Важными характеристиками радиотехнических систем и устройств являются переходная и импульсная характеристики, которые показывают степень искажения импульсов, проходящих через систему или устройство, и, следовательно, позволяют определить степень искажений сигналов (п. 6 задания).

В данной работе предлагается рассчитать форму импульса на выходе, если на вход подается идеальный прямоугольный видеоимпульс. Сделать этот расчёт можно различными способами, например по переходной (операторный метод) или по амплитудно-частотной (частотный метод) характеристикам цепи.

В первом случае идеальный прямоугольный видеоимпульс можно представить как разность двух функций Хевисайда (единичных ступенек):

$$I(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ I & t \geq 0 \end{cases} \quad S_{\text{ВХ}}(t) = A [I(t) - I(t - T)], \quad (5)$$

где  $T$  – длительность видеоимпульса;  
 $A$  – его амплитуда.

Тогда, в силу того, что заданная радиоэлектронная цепь рассматривается в линейном режиме, справедлив принцип суперпозиции, и, следовательно, отклик цепи на внешнее воздействие в форме идеального прямоугольного видеоимпульса можно рассматривать как разность откликов цепи на воздействия в виде двух функций Хевисайда  $I(t)$  и  $I(t - T)$ .

Известно, что отклик цепи на внешнее воздействие в виде единичной ступени (функции Хевисайда) есть переходная характеристика этой цепи. Следовательно, отклик цепи на прямоугольный видеоимпульс пропорционален разности переходных характеристик, взятых в моменты  $t = 0$  и  $t = T$ :

$$S_{\text{ВЫХ}}^{(t)} = A [h_1(t) - h_1(t - T)]. \quad (6)$$

Таким образом, для расчёта отклика цепи на прямоугольный видеоимпульс необходимо прежде всего определить ее переходную характеристику. Для этого сначала нужно рассчитать операторное изображение переходной характеристики (о преобразовании Лапласа и его использовании для анализа радиоэлектронных цепей см. [9, разделы 2.4; 2.5; 3.5; 5.4 гл. 6]).

Как известно, переходная характеристика есть отклик цепи на внешнее воздействие в форме единичного скачка напряжения (тока). Рассмотрим некоторую цепь как четырёхполюсник (рис.8) с коэффициентом передачи  $K$ .

Пусть на вход этой цепи поступает входной сигнал в виде единичной ступеньки. Тогда форма сигнала на выходе и представляет собой переходную характеристику. В терминах операционного исчисления аналогичное рассуждение приводит к важным выводам. Изображением по

Лапласу функции Хевисайда является  $\frac{I}{p}$ . Следовательно, на входе

рассматриваемого четырёхполюсника действует операторный сигнал  $\frac{I}{p}$ .

Если операторный коэффициент передачи четырёхполюсника  $K(P)$ , то на выходе в результате внешнего воздействия появится операторный сигнал

$$S_{\text{ВЫХ}}(P) = K(P) \cdot S_{\text{ВЫХ}}(P) = \frac{K(P)}{P},$$

который представляет собой изображение по Лапласу переходной характеристики.

Таким образом, чтобы найти переходную характеристику, надо найти оригинал изображения  $\frac{K(P)}{P}$ . Изображение  $\frac{K(P)}{P}$  практически известно, так как  $K(P)$  очень легко найти из  $K(j\omega)$  [7, раздел 3.5]. Для отыскания оригинала можно воспользоваться либо таблицами преобразования Лапласа [8, с. 90], либо теоремой разложения. Теорема разложения формулируется следующим образом: если изображение сигнала по Лапласу имеет вид

$$S(P) = \frac{M(P)}{N(P)},$$

где  $M(P)$  и  $N(P)$  – полиномы степени  $m$  и  $n$  по  $P$  соответственно, причём  $m < n$  и в множестве корней  $P_k$  уравнения  $N(P) = 0$  нет кратных, оригинал  $S(P)$  выражается формулой

$$S(t) = \sum_{k=1}^n \frac{M(P_k)}{\left. \frac{dN(P)}{dP} \right|_{P=P_k}} e^{P_k t}. \quad (7)$$

После получения переходной характеристики  $K(P)$  необходимо рассчитать вид прямоугольного видеоимпульса по формуле (7) и изобразить входной и выходной импульсы на одном графике.

Другой метод расчёта формы прошедших через радиоэлектронную цепь сигналов обычно называют частотным методом, так как в нем используются методы анализа сигналов и цепей в частотной области.

Пусть, например, на вход четырёхполюсника поступает сигнал, который характеризуется функцией спектральной плотности  $S_{\text{вх}}(j\omega)$ . Комплексный коэффициент передачи четырёхполюсника  $K(j\omega)$  известен. Тогда, очевидно, спектральная плотность выходного сигнала  $S_{\text{вых}}(j\omega)$  будет равна  $K(j\omega) \cdot S_{\text{вх}}(j\omega)$ , а по спектральной плотности сигнала можно восстановить его вид в реальном времени, воспользовавшись обратным преобразованием Фурье. В принципе, можно пытаться решить эту задачу аналитически, однако известно, что для практически интересных форм сигналов получить аналитическое решение не удаётся. Поэтому разумно воспользоваться вычислительной техникой. Подпрограммы, реализующие алгоритмы быстрого преобразования Фурье (БПФ), содержатся в современных математических пакетах типа Mathcad (5.6.7.8) или Matlab.

В результате расчёта на выходе программы должен получиться массив чисел, представляющих собой отсчёты выходного сигнала через равные интервалы времени, причём  $\Delta t = \frac{1}{2N\Delta f}$ , где  $N$  - число разбиений полосы

частот. Результаты этого расчёта также необходимо нанести на график, полученный при выполнении п. 7 задания и сравнить с той формой выходного сигнала, которая была получена ранее. При сравнении следует иметь в виду, что изложенный здесь метод вычисления обратного преобразования Фурье с помощью численного алгоритма БПФ приближённый. Это понятно хотя бы из того факта, что отбрасывание части функций спектральной плотности для частот, при которых  $|S_{\text{ВЫХ}}(j\omega)| < 0,05 \cdot |S_{\text{ВЫХ}}(j\omega)|_{\text{max}}$ , превышает сигнал с бесконечным спектром в сигнал с финитным спектром. Это неизбежная плата за использование дискретного численного алгоритма БПФ, однако, чем меньшая часть функции отбрасывается и чем чаще берутся отсчёты, тем точнее будет результат, полученный этим методом.

Выполнение п. 10 связано с использованием программы анализа линейных радиоэлектронных цепей в частотной области. Смысл выполнения этого пункта задания состоит в сопоставлении результатов расчетов с помощью простейшей модели ОУ с расчетами по более сложной модели с использованием ЭВМ.

Наконец, последний пункт задания курсовой работы ориентирован на то, что операционный усилитель – это реальный физический объект и его необходимо уметь правильно включить в радиоэлектронную цепь с тем, чтобы обеспечить её работоспособность и требуемые параметры. Величины напряжений питания, место его подключения, наличие, вид и место включения цепей коррекции зависят от типа ОУ и обычно приводятся в справочниках. Использование материалов справочника позволяет составить полную принципиальную схему (которая существенно отличается от схемы, использованной для расчёта) заданной радиоэлектронной цепи.

#### **1.4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА И ПОРЯДКУ ЕГО ЗАЩИТЫ**

Курсовой проект представляет собой инженерную разработку радиотехнического устройства, которая содержит расчётный и графический разделы, которые должны быть выполнены согласно требованиям ЕСКД.

Проект может быть оформлен в рукописном и машинописном варианте с указаниями шифра, фамилии, имени и отчества студента.

Текст, формулы и расчётная часть пишутся чётко без исправлений и без помарок; на краях страницы должны быть поля (3 ÷ 4) см для замечаний и указаний рецензента.

В конце курсового проекта следует предусмотреть раздел для работы по устранению ошибок, выявленных в процессе рецензирования.

Выполненный проект представляется преподавателю для рецензирования, а затем после устранения отмеченных недоработок студент допускается к защите проекта.

В ходе защиты студент должен знать принципы работы устройства, область применения активного фильтра; уметь анализировать полученные результаты в зависимости от параметров схемы.

#### Литература

7. Жуков, В.П. Задачник по курсу “Радиотехнические цепи и сигналы”/ В.П. Жуков, В.Г. Карташев, А.М. Николаев. – М.: Высш. шк., 1986
8. Манаев, Е.И. Основы радиоэлектроники/ Е.И. Манаев. – М.: Радио и связь, 1985.
9. Каяцкас, А.А. Основы радиоэлектроники/ А.А. Каяцкас. – М.: Высш. шк., 1988.