

## Лабораторная работа № 6-2

### ТИПОВЫЕ ЗВЕНЬЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Таблица 5.1

№ П/П	Название звена	Модель	Передаточная функция
1	2	3	4
1	ФНЧ		$W(p) = k/(1-pT_1)$
2	Фильтр второго порядка		$W(p) = \frac{k}{1 + (3-k)pCR + (pCR)^2}$

### Активные RC-фильтры

Активные RC-фильтры, часто называемые просто активными фильтрами,

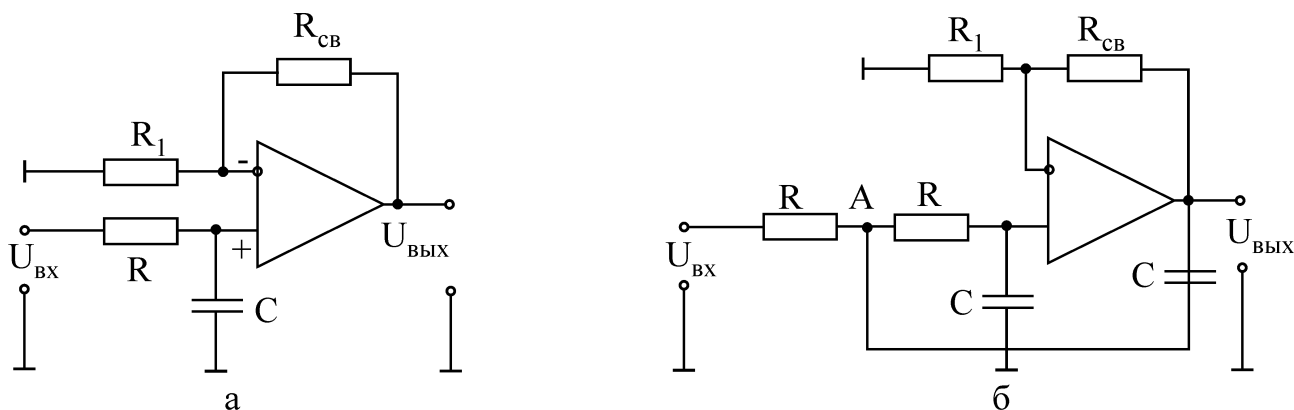


Рис. 5.5

отличаются от обычных фильтров тем, что в их состав входят активные элементы: диоды, электронные лампы, транзисторы. В настоящее время в качестве активного элемента обычно используются микросхемы операционных усилителей.

Операционные усилители широко применяются в активных фильтрах благодаря тому, что их высокое входное сопротивление не нагружает частотно-задающие RC-цепи.

Простейший активный фильтр нижних частот показан на (рис.5.5,а). Собственно говоря, этот фильтр является совмещением обычной интегрирующей цепи и не инвертирующего ОУ. Благодаря большому входному сопротивлению ОУ не нагружает интегрирующую цепь и передаточная характеристика фильтра определяется интегрирующей цепью:  $W(p) = K_0/(1 - p/p_1)$ . Данный фильтр является фильтром первого порядка, поскольку многочлен в знаменателе передаточной характеристики имеет первую степень аргумента  $p$ .

На (рис.5.5,б) приведена схема активного фильтра второго порядка. На ней частотно-задающие элементы связаны не только со входом, но и с выходом. Найдём передаточную функцию этого фильтра.

Сумма токов в узле А:

$$(U_{\text{вх}} - U_A)/R - (U_A - U_{\text{вых}})pC - I = 0,$$

где

$$U_A = I(R + 1/pC) = U_{\text{вых}}pC/[K(R + 1/pC)];$$

$I = U_{\text{вх}}pC = U_{\text{вых}}pC/K$  – ток, текущий через правое сопротивление  $R$  и ёмкость  $C$ ;

$K = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$  – коэффициент передачи от не инвертирующего входа к выходу с учётом обратной связи через  $R_{\text{св}}$  и  $R_1$ .

Количественная и качественная оценки динамических свойств звеньев электрических цепей осуществляются с помощью переходных и частотных характеристик.

Переходная характеристика  $h(t)$  – это реакция цепи на входную единичную функцию  $1(t)$  при нулевых начальных условиях. Если на вход подаётся единичный скачок, то его изображение по Лапласу  $1(t) = 1/p$ . Зная передаточную функцию звена  $W(p) = U_{\text{вых}}(p)/U_{\text{вх}}(p) = F_1(p)/F_2(p)$ , находим изображение выходной величины  $U_{\text{вых}}(p) = W(p)/p$ .

По теореме разложения:

$$U_{\text{вых}}(t)=h(t) = \frac{F_1(0)}{F_2(0)} + \sum_{i=1}^n \frac{F_1(p_i)}{p_i F_2(p_i)} \cdot e^{p_i t},$$

получаем переходную функцию звена. При подаче на вход звена постоянного напряжения, отличного от единичного, происходит простое масштабирование.

Частотные характеристики представляют собой связь параметров установившихся вынужденных колебаний на выходе звена с параметрами входной гармонического воздействия.

К частотным характеристикам относятся: амплитудно-фазовая  $W(j\omega)$ , амплитудная  $W(\omega)$  и фазовая  $\varphi(\omega)$ . Амплитудно-фазовая частотная характеристика получается из передаточной функции подстановкой  $p = j\omega$ . В результате подстановки частотная передаточная функция  $W(j\omega) = F_1(j\omega)/F_2(j\omega)$  представляет собой комплексное число, модуль которого равен отношению амплитуды выходной величины к амплитуде входной, а аргумент – сдвиг фаз между выходным и входным сигналами и может быть представлен в виде

$$W(j\omega) = W(\omega)e^{j\varphi(\omega)} = U(\omega) \angle \varphi(\omega),$$

где  $W(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}$  – амплитудно-частотная характеристика;

$\varphi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)}$  – фазочастотная характеристика.

Если передаточная функция представлена в виде отношения полиномов числителя и знаменателя, то модуль амплитудно-фазовой характеристики удобно находить как отношение модулей числителя и знаменателя  $W(\omega) = |F_1(j\omega)| / |F_2(j\omega)|$ , а фазу – как разность аргументов числителя и знаменателя  $\varphi(\omega) = \arg F_1(j\omega) - \arg F_2(j\omega)$ .

Между передаточными функциями  $W(j\omega)$  и дифференциальными уравнениями существует однозначная связь. В частности, записывая дифференциальное уравнение в операторной форме и взяв отношение выходной величины ко входной, получаем передаточную функцию. И наоборот, по передаточной функции с учётом операционных соответствий можно получить дифференциальное уравнение. Коэффициенты дифференциального уравнения представляют собой физический коэффициент передачи (безразмерная величина) и постоянные времени (размерность в секундах).

Передаточная функция интегратора имеет вид

$$W(p) = U_{\text{вых}}(p)/U_{\text{вх}}(p) = -1/R_1 C_2 p.$$

Дифференциальное уравнение данной схемы может быть получено из выражения  $U_{\text{ВХ}}(p) = -R_1 C_2 p U_{\text{ВЫХ}}(p)$  заменой  $p = d/dt$ ;  $U_{\text{ВХ}}(t) = -R_1 C_2 \frac{dU_{\text{ВЫХ}}(t)}{dt}$ .

Для идеальных интегрирующего и дифференцирующего звеньев постоянную передачи называют постоянной интегрирования или дифференцирования соответственно.

Для апериодического звена постоянная времени  $\tau$  представляет собой время, в течение которого значение свободной составляющей переходного процесса уменьшается в  $e = 2,72$  раза.

Для колебательного звена период свободных колебаний определяется коэффициентом  $\omega_c$  при мнимой части корня характеристического уравнения и зависит от параметров цепи  $T_c = 2\pi/\omega_c$ .

Декрементом колебаний колебательного звена  $\Delta$  называется отношение двух амплитудных значений напряжений или токов в моменты времени  $t$  и  $t + T_c$ , а логарифмическим декрементом колебаний – натуральный логарифм этого отношения, т.е. декремент колебаний  $\Delta = a_1/a_2 = e^{\delta T_c}$ , а логарифмический декремент колебаний  $\Theta = \ln(a_1/a_2) = \delta T_c$ , где  $\delta$  – действительная часть корня характеристического уравнения.

### Последовательность выполнения работы

1. Нарисовать электрическую схему типовых звеньев, пронумеровав узлы и элементы ветвей. Описать схемы на входном языке PSPICE. Предусмотреть директивы для расчёта АЧХ и ФЧХ звеньев.

номер варианта	Н а з в а н и е з в е н а																							
	интегрирующее			дифференцирующее			апериодическо е			фильтр нижних частот			фильтр второго порядка			колебательное								
	№ э л е м е н т а																							
	C2	R1	C1	R2	C2	R2	R1	C	R3	R2	R1	C	R	R1	R2	R4	R1	C1	R3	C2	R2	R5	R6	
1	0,4	0,1	0,5	0,1	0,2	0,1	1,0	0,6	0,8	0,1	0,6	1,0	0,1	0,1	0,5	0,5	0,8	0,9	0,9	0,01	0,1	1,0	1,0	
2	0,8	0,2	0,6	0,3	0,6	1,0	0,1	0,5	0,7	1,0	0,5	0,1	0,2	1,0	0,6	0,7	0,1	0,2	0,5	0,02	0,1	1,0	1,0	
3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2	0,1	0,5	0,6	0,2	0,5	0,9	0,3	0,2	0,6	0,9	0,7	0,8	0,7	0,01	0,1	1,0	1,0	
4	0,9	0,4	0,7	0,4	1,0	0,9	0,2	0,6	0,4	0,9	0,6	0,2	0,4	0,9	0,5	0,8	0,2	0,3	0,6	0,02	0,1	1,0	1,0	
5	0,2	0,5	0,3	0,8	0,9	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,8	0,5	0,3	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,01	0,1	1,0	1,0	
6	1,0	0,6	0,8	0,6	0,4	0,8	0,4	0,7	0,3	0,8	0,7	0,3	0,6	0,8	0,4	0,9	0,3	0,4	0,7	0,02	0,1	1,0	1,0	
7	0,1	0,7	0,2	0,7	0,8	0,4	0,5	0,3	0,1	0,4	0,3	0,7	0,7	0,4	0,8	0,8	0,5	0,6	0,9	0,01	0,1	1,0	1,0	
8	0,6	0,8	0,9	0,5	0,5	0,7	0,6	0,8	0,2	0,7	0,8	0,4	0,8	0,7	0,3	1,0	0,4	0,5	0,8	0,03	0,1	1,0	1,0	
9	0,5	0,9	1,0	0,9	0,6	0,5	0,7	0,2	0,5	0,5	0,2	0,6	0,9	0,5	0,9	0,9	0,4	0,5	0,5	0,03	0,1	1,0	1,0	

10	0,7	0,8	1,0	1,1	0,4	0,6	0,8	0,9	0,3	0,6	0,9	0,5	0,8	0,6	0,2	0,9	0,5	0,6	0,9	0,01	0,1	1,0	1,0
11	0,4	0,7	0,2	1,5	0,7	0,6	0,9	0,1	0,7	0,6	1,0	0,5	0,7	0,6	1,0	0,8	0,4	0,4	0,7	0,02	0,1	1,0	1,0
12	0,8	0,6	0,9	0,1	0,3	0,5	1,0	1,0	0,4	0,5	0,1	0,6	0,6	0,5	0,1	0,8	0,6	0,7	0,7	0,02	0,1	1,0	1,0
13	0,4	0,1	0,5	0,1	0,2	0,1	1,0	0,6	0,8	0,1	0,6	1,0	0,1	0,1	0,5	0,5	0,8	0,9	0,9	0,01	0,1	1,0	1,0
14	0,8	0,2	0,6	0,3	0,6	1,0	0,1	0,5	0,7	1,0	0,5	0,1	0,2	1,0	0,6	0,7	0,1	0,2	0,5	0,02	0,1	1,0	1,0
15	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2	0,1	0,5	0,6	0,2	0,5	0,9	0,3	0,2	0,6	0,9	0,7	0,8	0,7	0,01	0,1	1,0	1,0
16	0,9	0,4	0,7	0,4	1,0	0,9	0,2	0,6	0,4	0,9	0,6	0,2	0,4	0,9	0,5	0,8	0,2	0,3	0,6	0,02	0,1	1,0	1,0
17	0,2	0,5	0,3	0,8	0,9	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,8	0,5	0,3	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,01	0,1	1,0	1,0
18	1,0	0,6	0,8	0,6	0,4	0,8	0,4	0,7	0,3	0,8	0,7	0,3	0,6	0,8	0,4	0,9	0,3	0,4	0,7	0,02	0,1	1,0	1,0
19	0,1	0,7	0,2	0,7	0,8	0,4	0,5	0,3	0,1	0,4	0,3	0,7	0,7	0,4	0,8	0,8	0,5	0,6	0,9	0,01	0,1	1,0	1,0
20	0,6	0,8	0,9	0,5	0,5	0,7	0,6	0,8	0,2	0,7	0,8	0,4	0,8	0,7	0,3	1,0	0,4	0,5	0,8	0,03	0,1	1,0	1,0
21	0,5	0,9	1,0	0,9	0,6	0,5	0,7	0,2	0,5	0,5	0,2	0,6	0,9	0,5	0,9	0,9	0,4	0,5	0,5	0,03	0,1	1,0	1,0
22	0,7	0,8	1,0	1,1	0,4	0,6	0,8	0,9	0,3	0,6	0,9	0,5	0,8	0,6	0,2	0,9	0,5	0,6	0,9	0,01	0,1	1,0	1,0
23	0,4	0,7	0,2	1,5	0,7	0,6	0,9	0,1	0,7	0,6	1,0	0,5	0,7	0,6	1,0	0,8	0,4	0,4	0,7	0,02	0,1	1,0	1,0
24	0,8	0,6	0,9	0,1	0,3	0,5	1,0	1,0	0,4	0,5	0,1	0,6	0,6	0,5	0,1	0,8	0,6	0,7	0,7	0,02	0,1	1,0	1,0
25	0,4	0,1	0,5	0,1	0,2	0,1	1,0	0,6	0,8	0,1	0,6	1,0	0,1	0,1	0,5	0,5	0,8	0,9	0,9	0,01	0,1	1,0	1,0
26	0,8	0,2	0,6	0,3	0,6	1,0	0,1	0,5	0,7	1,0	0,5	0,1	0,2	1,0	0,6	0,7	0,1	0,2	0,5	0,02	0,1	1,0	1,0
27	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2	0,1	0,5	0,6	0,2	0,5	0,9	0,3	0,2	0,6	0,9	0,7	0,8	0,7	0,01	0,1	1,0	1,0
28	0,9	0,4	0,7	0,4	1,0	0,9	0,2	0,6	0,4	0,9	0,6	0,2	0,4	0,9	0,5	0,8	0,2	0,3	0,6	0,02	0,1	1,0	1,0
29	0,2	0,5	0,3	0,8	0,9	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,8	0,5	0,3	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,01	0,1	1,0	1,0
30	1,0	0,6	0,8	0,6	0,4	0,8	0,4	0,7	0,3	0,8	0,7	0,3	0,6	0,8	0,4	0,9	0,3	0,4	0,7	0,02	0,1	1,0	1,0