

Перв. примен.
Справ. №

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Судовой автоматики и измерений»

М.В. АГУНОВ

«Электроника и схемотехника»

Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Методические указания к выполнению курсового проекта по курсу
«Электроника и схемотехника»

Санкт-Петербург - 2017

1. Задание на курсовой проект

1.1. Тема: Проектирование активного фильтра.

1.2. Исходные данные: Рассчитать схему активного фильтра низкой частоты для варианта, взятого из таблицы 1, и заданного двузначным числом даты рождения студента.

Допустимый уровень пульсаций амплитудной характеристики в полосе пропускания и ослабление на частоте среза (дБ) не должны превышать величины A_{min} .

Таблица 1

Номер варианта	Тип фильтра	A_{min} , дБ	Частота для 100 ^x ослабления нормированная к частоте среза (Гц)	Частота для 1000 ^x ослабления нормированная к частоте среза (Гц)	Частота среза (Гц)	Входное сопротивление (кОм)
1	Баттерворта	3	3,17	-	1000	10
2	Чебышева	0,25	2,59	-	680	20
3	Бесселя	3	4,74	-	560	30
4	Баттерворта	3	2,16	-	680	40
5	Чебышева	2	1,63	-	5100	50
6	Бесселя	3	3,65	-	3300	10
7	Баттерворта	3	-	5,62	4700	20
8	Чебышева	0,25	-	4,47	3600	30
9	Бесселя	3	-	8,45	4300	43
10	Баттерворта	3	-	3,17	3900	51
11	Чебышева	2	-	2,26	910	10
12	Бесселя	3	-	5,43	3000	20
13	Баттерворта	3	3,17	-	2700	30
14	Чебышева	0,25	2,59	-	820	43
15	Бесселя	3	4,74	-	2400	51
16	Баттерворта	3	2,16	-	750	10
17	Чебышева	2	1,63	-	2200	20
18	Бесселя	3	3,65	-	680	30
19	Баттерворта	3	-	5,62	2000	43
20	Чебышева	0,25	-	4,47	620	51
21	Бесселя	3	-	8,45	1800	10
22	Баттерворта	3	-	3,17	560	20
23	Чебышева	2	-	2,26	5100	30
24	Бесселя	3	-	5,43	620	43
25	Баттерворта	3	3,17	-	2000	51
26	Чебышева	0,25	2,59	-	4300	10
27	Бесселя	3	4,74	-	680	20
28	Баттерворта	3	2,16	-	820	30
29	Чебышева	2	1,63	-	750	43
30	Бесселя	3	3,65	-	910	51
31	Баттерворта	3	-	5,62	620	10

АБВГ.123456.789 ПЗ

Изм. Лист № докум. Подп. Дата

Электроника и схемотехника

Пояснительная записка

Лит. Лист Листов
У 1 18

СПБГМТУ

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Перв. примен.	
Справ. №	

1.4. Содержание расчетно-пояснительной записи подлежащих разработке вопросов

- Введение
- Обоснование выбора структурной схемы устройства
- Расчет принципиальной схемы узлов устройства
- Построение АЧХ и ФЧХ устройства
- Выводы
- Литература

1.5. Перечень обязательного графического материала.

Схема электрическая принципиальная, перечень элементов

2. Указания к выполнению курсового проектирования

Фильтры – это частотно-избирательные устройства, которые пропускают или задерживают сигналы, лежащие в определенных полосах частот. До 1960-х годов для реализации фильтров применялись, в основном, пассивные элементы, т.е. индуктивности, конденсаторы и резисторы. Основным недостатком таких фильтров является большой размер катушек индуктивности особенно для низких частот. С разработкой интегральных операционных усилителей появились новые активные фильтры на ОУ. В активных фильтрах применяются резисторы, конденсаторы и усилители (активные компоненты), но в них нет катушек индуктивности. В дальнейшем активные фильтры почти полностью заменили пассивные. В настоящее время пассивные фильтры применяются только на высоких частотах (выше 1МГц), за пределами частотного диапазона большинства ОУ широкого применения, но и здесь пассивные *RLC* цепи часто заменяются кварцевыми фильтрами и фильтрами на поверхностных акустических волнах.

Сейчас во многих случаях активные фильтры заменяются цифровыми. Работа цифровых фильтров обеспечивается, в основном, программными средствами, поэтому они оказываются значительно более гибкими в применении. Тем не менее, цифровые фильтры пока не могут заменить активные во всех ситуациях, поэтому потребность в активных фильтрах сохраняется.

Активные *RC* фильтры принадлежат к классу линейных схем с сосредоточенными параметрами. Передаточная функция линейной цепи *n*-го порядка (порядок цепи определяется степенью полинома знаменателя) с сосредоточенными параметрами описывается следующим выражением:

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АБВГ.123456.789 ПЗ	Лист
						2

$$W(p) = \frac{A(p)}{B(p)},$$

где $p = j\omega$; $j = \sqrt{-1}$; $A(p) = \sum_{i=0}^m a_i p^i$; $B(p) = \sum_{i=0}^n b_i p^i$; $n > m$; ω –

циклическая частота; a_i и b_i – коэффициенты, определяющие параметры RC контуров (постоянная времени).

Для решения задачи одновременной аппроксимации АЧХ и ФЧХ фильтра, составляется система из n алгебраических уравнений, вида

$$\frac{A(p)}{B(p)} = K(\omega)e^{j\varphi(\omega)},$$

где $K(\omega)$ – амплитудно-частотная характеристика, $\varphi(\omega)$ – фазо-частотная характеристика.

Решением системы уравнений для нормированных частот определяются коэффициенты a_i и b_i .

В настоящее время нет необходимости при расчете фильтров каждый раз решать подобные системы уравнений. В радиотехнической литературе предлагается большое количество разнообразных таблиц для нормированных фильтров различных типов, позволяющих упростить расчет фильтров.

На рис. 1 и рис. 2 представлены принципиальные схемы активных фильтров второго и третьего порядков (порядок фильтра определяется числом входящих в него элементов, способных запасать энергию, т.е. конденсаторов и катушек индуктивности). Фильтр второго порядка получается путем каскадного соединения двух RC фильтров и введения положительной обратной связи для увеличения коэффициента передачи фильтра на граничной частоте.

Передачная функция фильтра второго порядка определяется как:

$$W(p) = \frac{1}{R^2 C_1 C_2 p^2 + 2RC_2 p + 1},$$

В фильтре третьего порядка на входе включен еще один дополнительный RC фильтр. Каскадируя фильтры второго и третьего порядков, можно получить фильтры более высоких порядков. Путем такого же последовательного соединения ФНЧ и ФВЧ получают полосно-пропускающие фильтры. Параллельное соединение ФНЧ и ФВЧ позволяет получить полосно-заграждающие (режекторные) фильтры. Важной характеристикой полосно-пропускающих и полосно-заграждающих фильтров является добротность $Q =$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

АБВГ.123456.789 ПЗ

Лист

3

Перв. примен.	<p>$\omega_0 / \Delta\omega$, где ω_0 – частота квазирезонанса (как бы резонанса); $\Delta\omega$ – ширина полосы пропускания (подавления) фильтра отсчитываемая по уровню –3 дБ.</p> <p><i>Примечание.</i> Децибел (дБ или dB) - логарифмическая единица измерения, используемая для измерения отклонения двух значений какой-либо величины или для выражения усиления или ослабления этой величины.</p> <p><i>Пример 1.</i> Ослабление по напряжению –12 dB (т.е. отношение напряжений 1:3,98 - ослабление)</p> $k_{oc} = 20 \lg(U1/U2)$ <p><i>Пример 2.</i> Усиление по мощности в 1000 раз (т.е. отношение мощностей 1000:1) в децибелах +30 dB</p> $k_{ус.} = 10 \lg(P1/P2)$ <p>Основными типами фильтров классифицированных по типу аппроксимирующего полинома являются фильтры Баттерворта, фильтры Чебышева и фильтры Бесселя.</p> <p>При представлении информации в частотной области тип фильтра и его порядок определяются допустимыми уровнем пульсаций амплитудной характеристики в полосе пропускания (дБ) и наименьшей частотой полосы задерживания с ослаблением по уровню, как правило, в 100 раз (Гц) (или наименьшей частотой полосы задерживания с ослаблением по уровню в 1000 раз (Гц)).</p> <p>Фильтры Баттерворта характеризуются максимально плоской АЧХ в полосе пропускания при относительно высокой крутизне затухания вне полосы пропускания.</p> <p>Фильтры Чебышева обеспечивают наибольшую крутизну затухания, но при неравномерной АЧХ в полосе пропускания. Чем сильнее неравномерность тем больше крутизна затухания. В зависимости от допустимого уровня неравномерности АЧХ в полосе пропускания используются различные таблицы для расчета этих фильтров.</p> <p>Фильтры Бесселя обладают максимально плоской характеристикой группового времени запаздывания (сигналы всех частот в полосе пропускания имеют одинаковые времена задержки), но относительно небольшой крутизной затухания вне полосы пропускания. При воздействии на фильтр ступенчатого сигнала переходная характеристика фильтра имеет малую величину перерегулирования. Это особенно важно при работе с импульсными сигналами, которые надо передавать с минимальными искажениями.</p> <p>В таблице 2 приведены данные, позволяющие проводить простой расчет каскадно - соединяемых активных фильтров. Здесь предполагается, что частота среза фильтра (отсчитывается по уровню –3 дБ) $\omega_0 = 1$рад/с. Для всех резисторов фильтра $R_0 = 1$ Ом. Емкости C_{oi} = всех конденсаторов указаны в</p>					
Справ. №						
Подп. и дата						
Инв. № дубл.						
Взам. инв. №						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АБВГ.123456.789 ПЗ	Лист 4

Перв. примен.
Справ. №

таблице в фарадах. Параметры ω_0 , R_0 , C_{0i} характеризуют некоторый нормированный фильтр; масштабирование их значений осуществляется с помощью уравнения

$$\omega_0 R_0 C_{0i} = \omega R C_i. \quad (1)$$

Параметрами ω и R задаются, а затем из этого уравнения определяются значения емкостей C_i .

Таблица 2.

Порядок фильтра, n	C_{01}	C_{02}	C_{03}	C_{01}	C_{02}	C_{03}
	Фильтр Бесселя			Фильтр Баттерворта		
2	0,9066	0,6799		1,414	0,7071	
3	1,423	0,988	0,2538	3,546	1,392	0,2024
4	0,7351	0,6746		1,082	0,9241	
	1,012	0,39		2,613	0,3825	
5	1,009	0,8712	0,3095	1,753	1,354	0,4214
	1,041	0,3098		3,235	0,3089	
6	0,6352	0,6098		1,035	0,966	
	0,7225	0,4835		1,414	0,7071	
	1,073	0,2561		3,863	0,2588	
	Фильтр Чебышева (2дБ)			Фильтр Чебышева (0,25дБ)		
2	2,672	0,5246		1,778	0,6789	
3	27,82	3,113	0,03892	8,551	2,018	0,1109
4	4,021	1,163		2,221	1,285	
	9,707	0,115		5,363	0,2084	
5	12,4	4,953	0,1963	5,543	2,898	0,3425
	14,99	0,07169		8,061	0,1341	
6	5,75	1,769		3,044	1,875	
	7,853	0,2426		4,159	0,4296	
	21,46	0,04902		11,36	0,09323	

Пример 3. Предположим, что нам нужно рассчитать ФНЧ Баттерворта пятого порядка с частотой среза 200 Гц и входным сопротивлением 50 кОм. Для получения требуемого фильтра пятого порядка можно использовать последовательное каскадирование фильтров третьего и второго порядков. В таблице 1 находим данные для фильтра Баттерворта с $n = 5$. В соответствии с (1) запишем:

$$C_{1A} = \frac{\omega_0 R_0 C_{01}}{\omega R} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 1,753}{2\pi \cdot 200 \cdot 50000} = 27,9 \cdot 10^{-9} = 27,9[\text{нФ}]$$

Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

$$C_{2A} = \frac{1,354}{2\pi \cdot 200 \cdot 50000} = 21,6[\text{нФ}]$$

$$C_{3A} = \frac{0,4214}{628 \cdot 10^5} = 6,7[\text{нФ}]$$

$$C_{1B} = \frac{3,235}{628 \cdot 10^5} = 51,5[\text{нФ}]$$

$$C_{2B} = \frac{0,3089}{628 \cdot 10^5} = 4,9[\text{нФ}]$$

Законченная конструкция представлена на рис. 3.

Таблицу 2 можно также использовать для расчета фильтров верхних частот по схемам, показанным на рис. 2, при этом (1) записывают следующим образом:

$$\omega_0 R_{0i} C_0 = \omega R_i C.$$

Задавшись значениями параметров ω и C , определяют значения сопротивлений R_{0i} . Для определения значения сопротивлений R_{0i} , берут, например значение C_{01} из таблицы и обращая его, получают значение R_{01} в омах. Таким образом, $R_{01} = 1/C_{01}$, $R_{02} = 1/C_{02}$ и т. д. Предполагают, что $\omega_0 = 1$ рад/с, для всех конденсаторов фильтра $C_0 = 1$ Ф. Подставляя эти значения в

$$R_i = \frac{\omega_0 R_{0i} C_0}{\omega C},$$

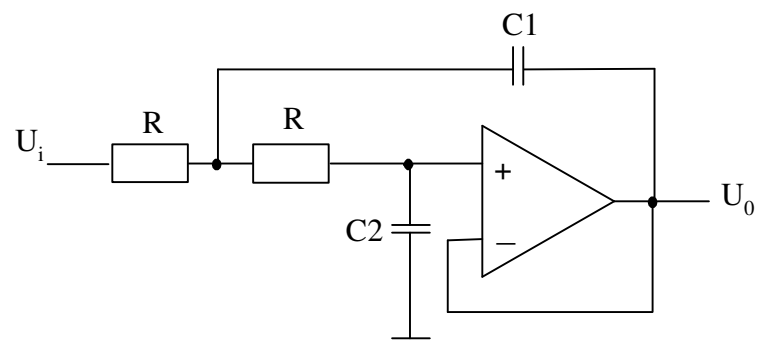
определяют значения R_i .

Перв. примен.									
Справ. №									
Подп. и дата									
Инв. № дубл.									
Взам. инв. №									
Подп. и дата									
Инв. № подл.									
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АБВГ.123456.789 ПЗ				Лист
									6

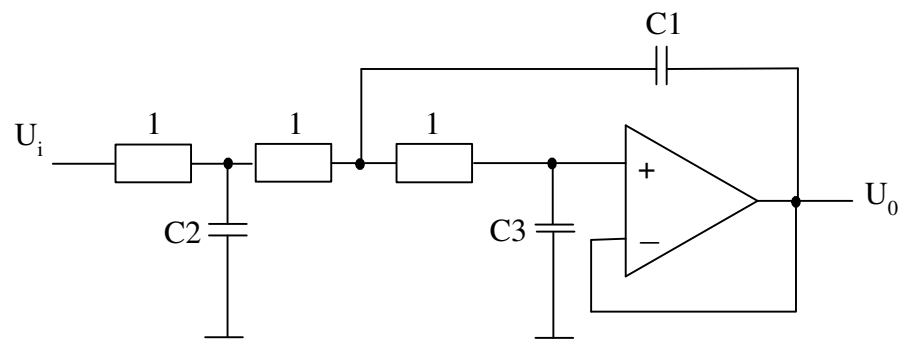
Перв. примен.
Справ. №

Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Активный фильтр нижних частот второго порядка (а) и нормированный активный фильтр нижних частот третьего порядка (б)



(а)



(б)

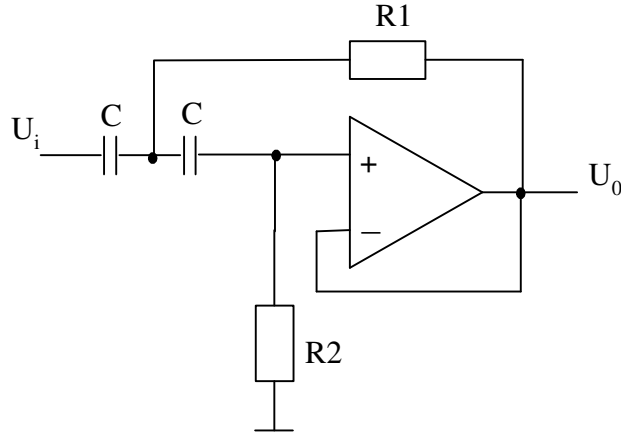
Рис.1.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

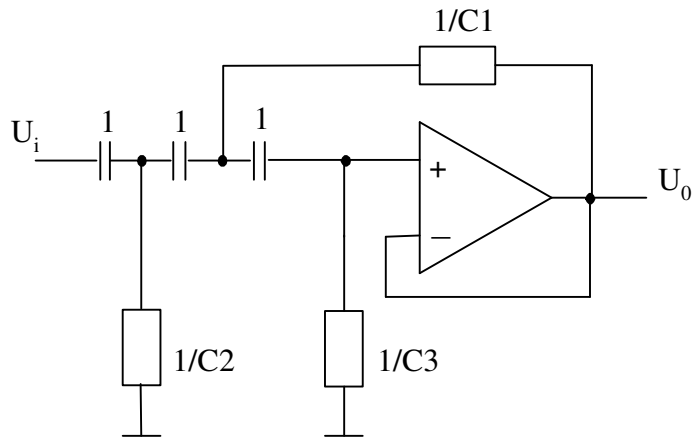
АБВГ.123456.789 ПЗ

Перв. примен.
Справ. №

Активный фильтр верхних частот второго порядка (а) и нормированный активный фильтр верхних частот третьего порядка (б)



(а)



(б)

Рис.2.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Перв. примен.
Справ. №

ФНЧ Баттерворта пятого порядка с частотой среза 200 Гц и входным сопротивлением 50кОм (решение примера 3)

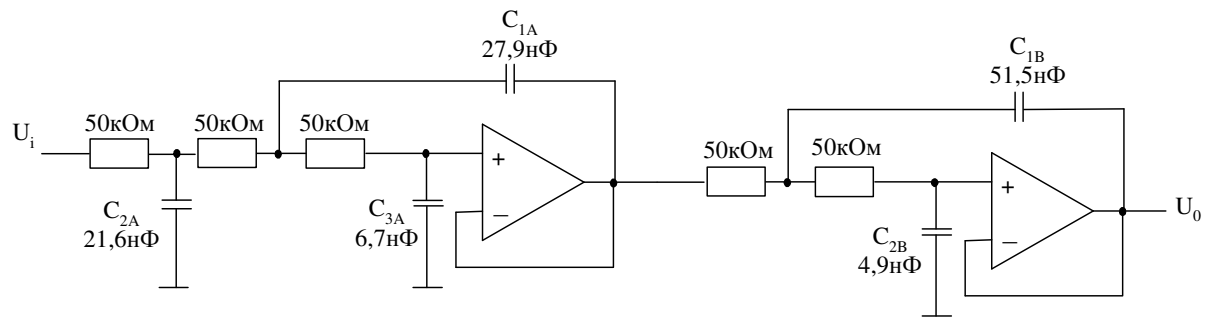


Рис. 3.

Инов. № подл.	Подл. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подл. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

АБВГ.123456.789 ПЗ

Перв. примен.	<p style="text-align: center;">Литература</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Агунов А.В. Схемотехника систем автоматизации: Учебное пособие. – СПб.: СПбГМТУ, 2005, 104с. 2. Агунов М.В., Агунов А.В., Вербова Н.М. Системы и устройства судовой автоматики: Учебник // Санкт-Петербург, СПбГМТУ, 2009, 339с. 3. Фриск В.В. Основы теории цепей. Сборник задач с примерами применения персонального компьютера. М., Солон - Пресс, 2003, 192 с. 4. Якубовский С.В. и др. Цифровые и аналоговые микросхемы. Справочник. М.: Радио и связь, 1990. 5. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА: Справочник/ Э.Т. Романычева и др. - М.: Радио и связь, 1989. 				
Справ. №					
Подп. и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №	<p style="text-align: center;">АБВГ.123456.789 ПЗ</p>				
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.		Лист			
Лист		10			

Перв. примен.
Справ. №

Составляя схему устройства, следует придерживаться общепринятого правила: вход — слева, выход — справа. Возле каждого элемента (желательно сверху или справа) должно быть указано его позиционное обозначение (R1, R2, ..., C1, C2 и т.д.). Нумеровать элементы необходимо сверху вниз слева направо, например, так:

R1	R4	R7	R9
R2	R5		
R3		R6	R8
			R10...

Внутри УГО постоянных резисторов указывают мощность рассеяния, у выводов микросхем и контактов разъемных соединителей (вилки и розетки) — их номера.

Знаки регулирования (наклонная линия со стрелкой у конденсаторов переменной емкости, такая же линия с засечкой на верхнем конце у подстроечных конденсаторов, подстроечных сердечников катушек индуктивности и наклонная линия с изломом внизу у нелинейных резисторов — терморезисторов, варисторов и т.д.), а также знаки фотоэлектрического эффекта (наклонные стрелки, направленные слева сверху вниз направо в УГО фоторезистора, фотодиода и т.п. приборов) и оптического излучения (наклонные стрелки, направленные слева снизу вверх направо в УГО светодиодов) не должны изменять своей ориентации при повороте основного символа на любой угол. Иными словами, символ, например диода, в УГО светодиода может быть изображен горизонтально, вертикально, катодом влево, вправо, вверх, вниз (как удобно для построения схемы), но стрелки оптического излучения во всех случаях должны быть направлены от него вверх направо.

Своего рода "привязанностью" обладают черточка, перпендикулярная линии-символу катода в УГО стабилитрона, и симметричная засечка на конце символа катода в УГО диода-ограничителя напряжения: при любой ориентации этих УГО они поворачиваются вместе с ними как "приклеенные". Сохраняют "привязку" к основному символу при повороте УГО и наклонные черточки, обозначающие мощность рассеяния резистора менее 0,5 Вт.

Линии-выводы эмиттера и коллектора в УГО биполярного транзистора (за пределами окружности, символизирующей его корпус) можно располагать как перпендикулярно линии-выводу базы, так и параллельно ей — в некоторых случаях это позволяет "уплотнить" схему, сделать ее компактнее. Излом линии электрической связи, идущей к базе такого транзистора, а также к символам затвора, истока и стока полевого транзистора, допускается на расстоянии не менее 5 мм от окружности-корпуса (в масштабе 1:1).

Число полуокружностей, составляющих символы катушки индуктивности, входящей в колебательный контур, и дросселя, установлено равным четырем, а в символах обмоток асинхронного электродвигателя — трем. В катушках связи и обмотках трансформаторов их число не нормируется и может быть любым

Подл. и дата
Инд. № дубл.
Взам. инв. №
Подл. и дата
Инд. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

АБВГ.123456.789 ПЗ

Лист
12

Перв. примен.	
Справ. №	

Линии, соединяющие далеко расположенные один от другого элементы, особенно в тех случаях, когда изобразить осуществляемые ими связи затруднительно, обрывают, а концы оставшихся отрезков снабжают стрелками, возле которых указывают адреса (буквы русского или латинского алфавитов, позиционные обозначения элементов), однозначно восстанавливающие не показанное соединение. Например, при разрыве линии связи между резисторами R5, R6 и конденсатором C42 у стрелки, соединенной с резисторами, пишут "к C42", а у стрелки, идущей от конденсатора — "к R5, R6".

УГО микросхем цифровой и аналоговой техники построены на основе прямоугольников, называемых *полями*. УГО простейших устройств (например, логических элементов) состоят только из основного поля, в более сложных к нему добавляют одно или два дополнительных, располагаемых слева и справа. В основном поле помещают надписи и знаки, обозначающие функциональное назначение элемента или микросхемы, в дополнительных — так называемые метки, поясняющие назначение выводов. Ширина полей определяется числом знаков (с учетом пробелов). Минимальная ширина основного поля — 10, дополнительных — 5 мм. Расстояние между выводами, а также между выводом и горизонтальной стороной УГО или границей зоны, отделяющей одни выводы от других — 5 мм (все размеры в масштабе 1:1).

В местах присоединения линий-выводов изображают специальные знаки (указатели), характеризующие их особые свойства: небольшой кружок (инверсия), наклонную черточку ("/" — прямой, "\" — инверсный динамический вход), крестик (вывод, не несущий логической информации, например, вывод питания).

В правом поле УГО цифровых микросхем иногда помещают знаки, построенные на основе ромбика. Если он снабжен черточкой сверху, это означает, что данный вывод соединен с коллектором р-п-р транзистора, эмиттером п-р-п транзистора, стоком полевого с р-каналом или истоком транзистора с п-каналом. Если же названные электроды принадлежат транзисторам противоположной структуры или приборам с каналом противоположного типа, черточку помещают снизу. Ромбиком с черточкой внутри обозначают вывод с так называемым состоянием высокого выходного сопротивления (Z-состоянием).

Чтобы не загромождать схему цепями питания цифровых микросхем, соответствующие выводы в их УГО обычно не изображают, а чтобы было ясно, к каким выводам подводится питание, в местах, откуда оно поступает (выход источника питания, цепь, к которой подключается внешний источник), помещают стрелки с адресами, например, "к выв. 14 DD1, DD2; выв. 10 DD3, DD4; выв. 16 DD5, DD6".

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АБВГ.123456.789 ПЗ	Лист
						14

Перв. примен.	
Справ. №	

Основа УГО используемых в структурных и функциональных схемах — квадрат, в котором указывается функциональное назначение устройства.

Большинство показанных на рисунках приложения УГО просты и понятны, и только некоторые требуют пояснений. В частности, символ генератора. Помимо буквы G, в его обозначении можно указать область частот (одна синусоида — низкие частоты, две — звуковые, три — высокие), конкретное значение частоты (например, 500 кГц), форму колебаний в виде упрощенной осциллограммы, наличие стабилизации частоты и т.д.

Два или три символа синусоиды используют также для указания назначения фильтров, но здесь они обозначают полосы частот. Например, в УГО фильтров верхних (ФВЧ) и нижних частот (ФНЧ) две синусоиды символизируют колебания частот, лежащих выше и ниже частоты раздела (в первом случае зачеркнута нижняя синусоида, следовательно, устройство пропускает сигналы с частотой выше частоты среза, во втором — верхняя, что говорит о пропуске сигналов ниже этой частоты). В УГО полосового и режекторного фильтров — три синусоиды. Как и в предыдущем случае, пропускаются полосы частот, обозначенные не зачеркнутыми синусоидами: если зачеркнуты верхняя и нижняя — фильтр полосовой, а если средняя — режекторный.

Усилители обозначают либо квадратом с треугольником — символом усиления — внутри, либо равносторонним треугольником (вершина с выводом выхода — направление передачи сигнала). Предпочтительно второе УГО: оно более наглядно и к тому же позволяет указать в нем, например, число каскадов устройства (его вписывают в треугольник).

УГО линий задержки вместо символов сосредоточенных и распределенных параметров могут содержать численное значение времени задержки, а также знаки, обозначающие способ преобразования: пьезоэлектрический (в виде символа кварцевого резонатора), магнитострикционный (две горизонтально расположенных полуокружности).

Подп. и дата	
Инд. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инд. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АБВГ.123456.789 ПЗ	Лист
						15

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

<p>Резистор постоянный</p> <p>R1 0,1 R2 220 R3 2,2 к R4 3,3 М</p>	<p>Резистор постоянный</p> <p>0,125 Вт 0,25 Вт 0,5 Вт 1 Вт 2 Вт 5 Вт</p>	<p>Резистор переменный</p> <p>R5 470 R6 220 к R7 3,3 М R8 470 к</p>	<p>Резистор переменный сдвоенный</p> <p>R9 1 10 к R10 1 1 М</p>	<p>Резистор переменный с замыкающим контактом</p> <p>SA1 R11 R12 R13</p>	<p>Резистор подстроечный</p> <p>R14 470 R15 100 к R16 2,2 М R17 3,3 к R18 47 к</p>
<p>Резисторы нелинейные: терморезистор и варистор</p> <p>RK1 45° RK2 RK3 RU1</p>	<p>Конденсатор постоянной емкости</p> <p>C1 120 C2 1 мк × 600 В C3 0,047 мк</p>	<p>Конденсаторы оксидные полярный и неполярный</p> <p>C4 100 мк × 6,3 В C5 4,7 мк × 30 В C6 10 мк × 20 В</p>	<p>Конденсатор подстроечный</p> <p>C7 5...20 C8 8...30</p>	<p>Конденсатор переменной емкости (КПЕ)</p> <p>C9 5...240 C10 9...270 C11 4...50 Ротор</p>	<p>Сдвоенный блок КПЕ</p> <p>C12.1 C12.2 C12.1, C12.2 12...495</p>
<p>Конденсаторы проходной и опорной</p> <p>C13 6800 C14 6800 C15 4700</p>	<p>Катушка индуктивности, дроссель (L3 – с отводами)</p> <p>L1 L2 L3</p>	<p>Катушка, дроссель с магнитопроводом (L7 – с медным)</p> <p>L4 L5 L6 L7 Cu</p>	<p>Трансформатор с тремя обмотками и электроста- тическим экраном</p> <p>T1</p>	<p>Диод, диодный мост</p> <p>VD1 VD2 VD3 VD4</p>	<p>Стабилитрон (VD8 – двуханодный)</p> <p>VD5 VD6 VD7 VD8</p>
<p>Диод Шоттки (VD9), ограничительный (VD10), варикап (VD11)</p> <p>VD9 VD10 VD11 VD12 VD13</p>	<p>Варикапная матрица</p> <p>VD14 VD15</p>	<p>Динистор (VS1), триностор (VS2, VS3), симистор (VS4)</p> <p>VS1 VS2 VS3 VS4</p>	<p>Транзистор p-n-p</p> <p>VT1</p>	<p>Транзистор n-p-n</p> <p>VT2 VT3 VT4 VT5</p>	<p>Транзистор однопереходный</p> <p>VT6</p>
<p>Транзистор полевой с p-каналом</p> <p>VT7 VT8</p>	<p>Транзистор полевой с изолированным затвором и p-каналом</p> <p>VT9 VT10</p>	<p>Транзистор полевой с двумя изолированными затворами и n-каналом</p> <p>VT11</p>	<p>Фоторезистор</p> <p>R19 R20</p>	<p>Фото- и светодиод</p> <p>VD13 VD14 HL1 HL2</p>	<p>Фототранзистор</p> <p>VT12 VT13</p>
<p>Оптрон резисторный</p> <p>U1</p>	<p>Оптрон диодный</p> <p>U2</p>	<p>Оптрон тиристорный</p> <p>U3</p>	<p>Оптрон транзисторный</p> <p>U4 U5</p>	<p>Триод</p> <p>VL1</p>	<p>Двойной триод</p> <p>VL2 VL3.1 VL3.2</p>
<p>Пентод</p> <p>R7</p>	<p>Контакт замыкающий (выключатель)</p> <p>SA1 SA2 SA3 SA4</p>	<p>Контакт размыкающий</p> <p>SA5 SA6 SA7 SA8</p>	<p>Контакт переключающий</p> <p>SA9 SA10 SA11 SA12</p>	<p>Геркон</p> <p>SF1 SF2 SF3</p>	<p>Переключатель 2ПЗН</p> <p>SA13</p>
<p>Переключатель 6П1Н</p> <p>SA14</p>	<p>Переключатель 3П2Н (среднее положение – нейтральное)</p> <p>SA15</p>	<p>Выключатель и переключатель кнопочные (с самовозвратом)</p> <p>SB1 SB2 SB3 SB4</p>	<p>Выключатель и переключатель кнопочные с возвратом в исх. положение повторным нажатием</p> <p>SB5 SB6 SB7</p>	<p>Штырь и гнездо разъемного соединителя (XW1 – коаксиального)</p> <p>XW1 XW2 XW3 XW4</p>	<p>Вилка и розетка разъемного соединителя</p> <p>XP1 XS1 XS2 XS3</p>

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

АБВГ.123456.789 ПЗ

Лист

16

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Штепсель и гнездо телефонные 	Контакты разборного и неразборного соединений 	Переключатель контактный 	Реле электромагнитное 	Реле поляризованное 	Микрофон
Телефон (BF5 – головной) 	Головка громкоговорителя 	Головка магнитная 	Головки стереофонических электромагнитного и пьезоэлектрического звукоснимателей 	Гидрофон (ультразвуковой передатчик-приемник) 	Резонатор кварцевый, пьезокерамический
Приборы электроизмерительные 	Коллекторный электродвигатель постоянного тока 	Электродвигатель асинхронный 	Элемент гальванический, аккумуляторный, батарея элементов 	Лампы накаливания осветительная (EL1) и сигнальная (HL1, HL2) 	Лампы тлеющего разряда и газоразрядная осветительная
Датчик Холла 	Антенны электрическая и магнитные 	Соединение с общим проводом (корпусом), заземление 	Ответвления линий электрической связи 	Экранированные линии связи 	Экран группы элементов
Кабель коаксиальный 	Линии электрической связи, выполненные скрученными проводами 	Линия электрической связи, выполненная гибким проводом 	Линия групповой связи 	Усилитель операционный 	Компаратор КР554СА3
Таймер КР1006ВВ1 DA4 	Элементы логические 	Элементы логические 	D-триггер DD8.1 	Индикатор цифровой HG1 	Набор резисторов DR1
Датчики неэлектрических величин 	Микросхемный стабилизатор напряжения 	Коммутатор электронный 	Усилитель 	Аттенуаторы с постоянным и регулируемым затуханием 	Генератор
Преобразователь 	ФНЧ (Z1), ФВЧ (Z2), полосовый (Z3) и режекторный (Z4) фильтры 	Линии задержки: общее обозначение (DT1), с сосредоточенными (DT2) и распределенными (DT3) параметрами 	Направление передачи сигнала 	Поток цифровых данных 	Линии механической связи элементов

АБВГ.123456.789 ПЗ

Лист

17

Изм. Лист № докум. Подп. Дата

Копировал

Формат А4

Перв. примен.	
Справ. №	

Приложение 2

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Судовой автоматики и измерений»

Тема: **Проектирование активного фильтра**

Курсовой проект

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Дата выдачи задания:

Срок сдачи оформленного проекта на проверку:

Проект выполнил
студент гр. 1404Т

Иванов И.И.

Проверил
преподаватель каф. САиИ

Петров П.П.

Санкт-Петербург – 2017