

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ХАРЬКОВСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

**по курсу «КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ»**

для студентов специальности 7.091302
«Метрология и измерительная техника»
дневной и заочной форм обучения

Харьков 2007

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Комп'ютерне моделювання засобів вимірювання» для студентів спеціальності 7.091302 денного та заочного навчання / За ред. О.Л. Харченко, В.М. Балева. – Харків: НТУ «ХПІ», 2007 – 12 с. – Рос. мовою

Укладачі: О.Л. Харченко
В.М. Балєв

Рецензент О.П. Давиденко

Кафедра «Інформаційно-вимірювальні технології і системи»

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ №1, №2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ

Работа №1: проектирование ФНЧ иФВЧ.

Работа №2: проектирование полосовых и режекторных фильтров

1. Цель работ: Разработка активных фильтрующих элементов с использованием программы FilterCAD.

2. Описание лабораторного макета: В ходе лабораторной работы используется инструментарий программы FilterCAD.

3. Краткие справочные данные: Для разработки узкополосного фильтра воспользуемся специальной программой FilterCAD фирмы Linear Technology.

Эта программа позволяет по заданным параметрам требуемого фильтра выбрать тип фильтра, рассчитать его амплитудно-частотную и фазо-частотную характеристики, выбрав тип используемой микросхемы фильтра (из номенклатуры активных фильтров типа LTCxxxx, выпускаемых фирмой Linear Technology), получить схему электрическую принципиальную требуемого фильтра с указанием номинала всех входящих в неё элементов.

Работу с программой FilterCAD рассмотрим на примере моделирования узкополосного фильтра, результат, которого показан на рисунках 1 – 5.

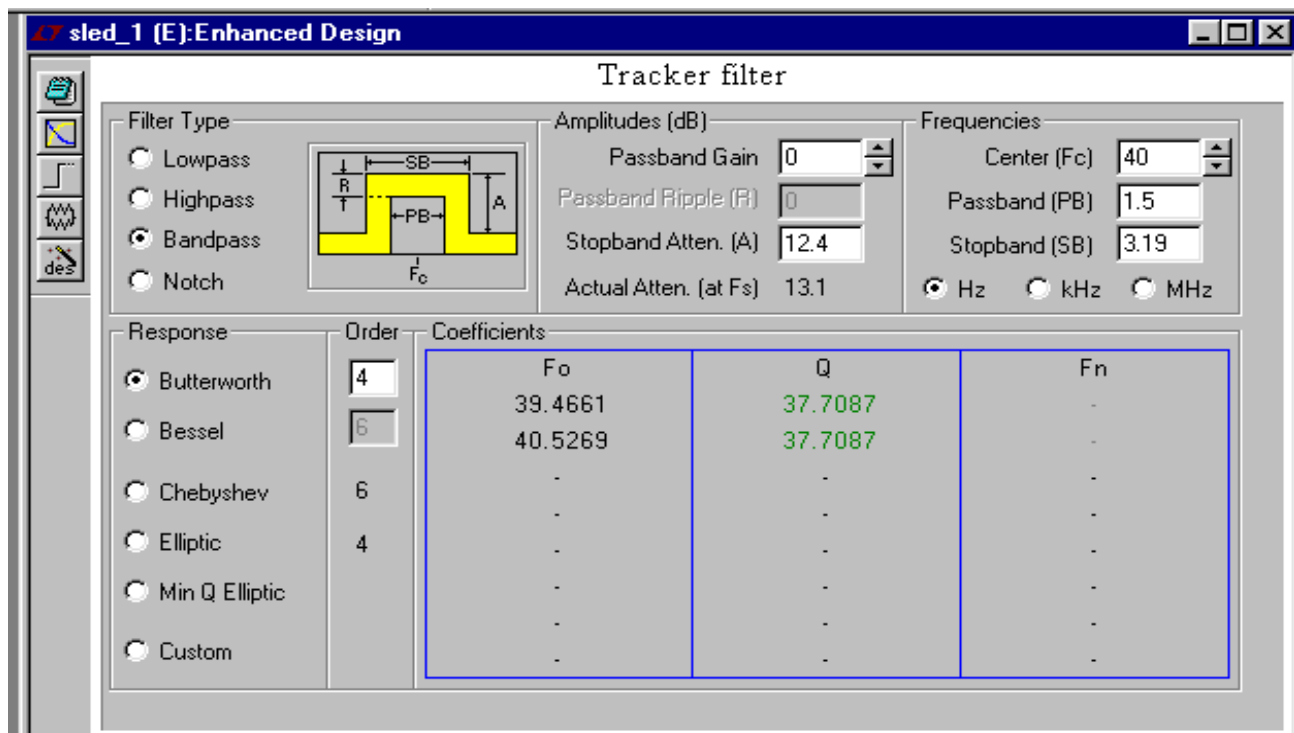


Рисунок 1 – Окно DESIGN программы FilterCAD

На рис.1 приведено окно DESIGN программы FilterCAD, в котором производится выбор типа фильтра, и задаются такие его параметры, как:

- центральная частота фильтра ($F_c = 40 \text{ Гц}$);
- ширина полосы пропускания ($PB = 1,5 \text{ Гц}$);

затухание ($A = 12 \text{ дБ}$). После ввода исходных параметров для расчета фильтра, программа предлагает выбрать тип проектируемого фильтра и его порядок:

- Баттерворта;
- Бесселя;
- Чебышева;
- Эллиптический.
- Мы выбираем фильтр Баттерворта 4-го порядка, который обеспечит нам заданную полосу пропускания при добротности $Q = 37,7$.

Далее мы переходим в окно программы Frequency Response, где получаем график амплитудно-частотной характеристики проектируемого фильтра (рис.2), которая на уровне - 3 дБ составляет 1,5 Гц, как задано в исходных данных.

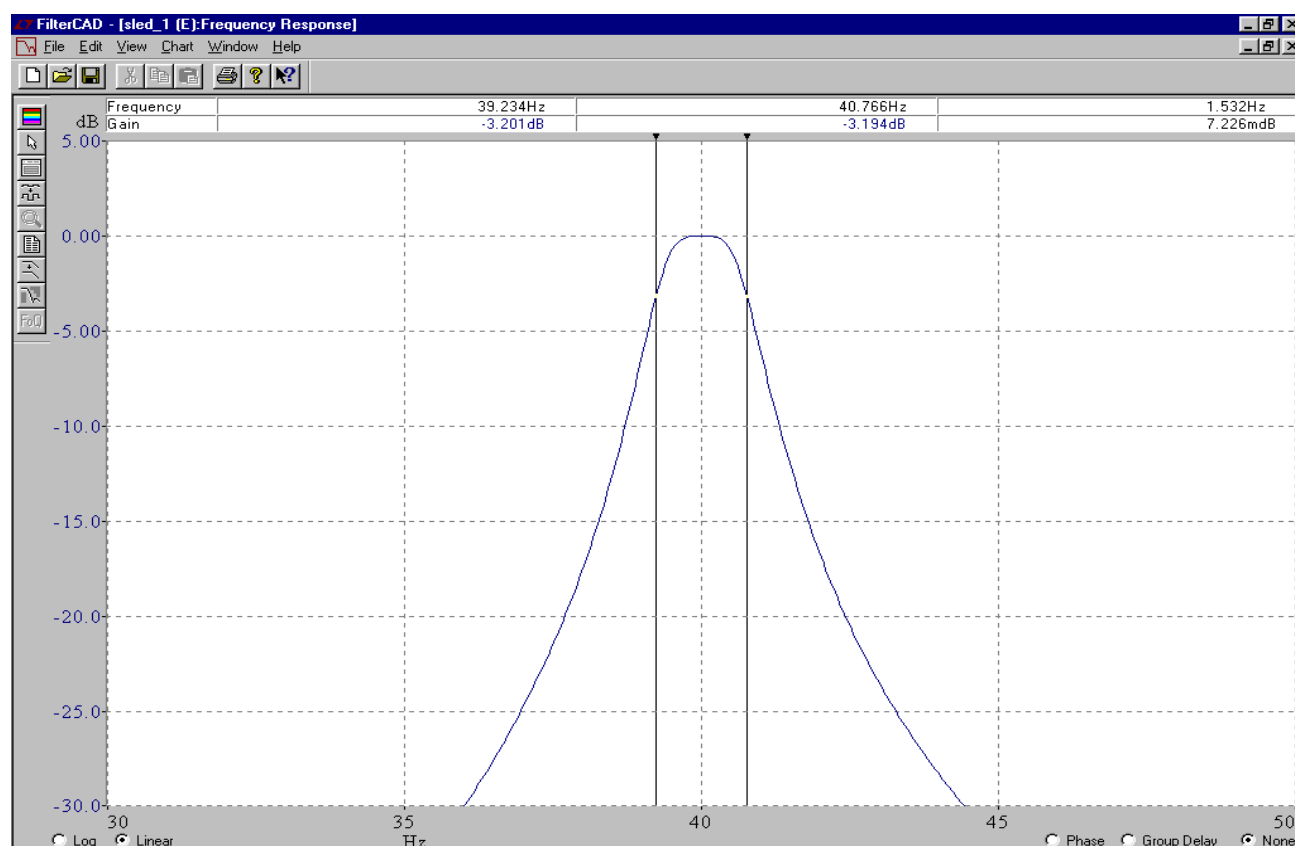


Рисунок 2 – Окно Frequency Response программы FilterCAD

В окне Enhanced Implement мы выбираем тип микросхемы (см. табл.А1), на которой будет построен фильтр (рис.3). В нашем случае это интегральная микросхема LTC 1060 с тактовой частотой 100:1 и напряжением питания ± 5 В. Фильтр имеет два каскада типа ВР (полосовой фильтр) с режимом 1b для первого каскада и режимом 2 для второго каскада (см. табл. Б2).

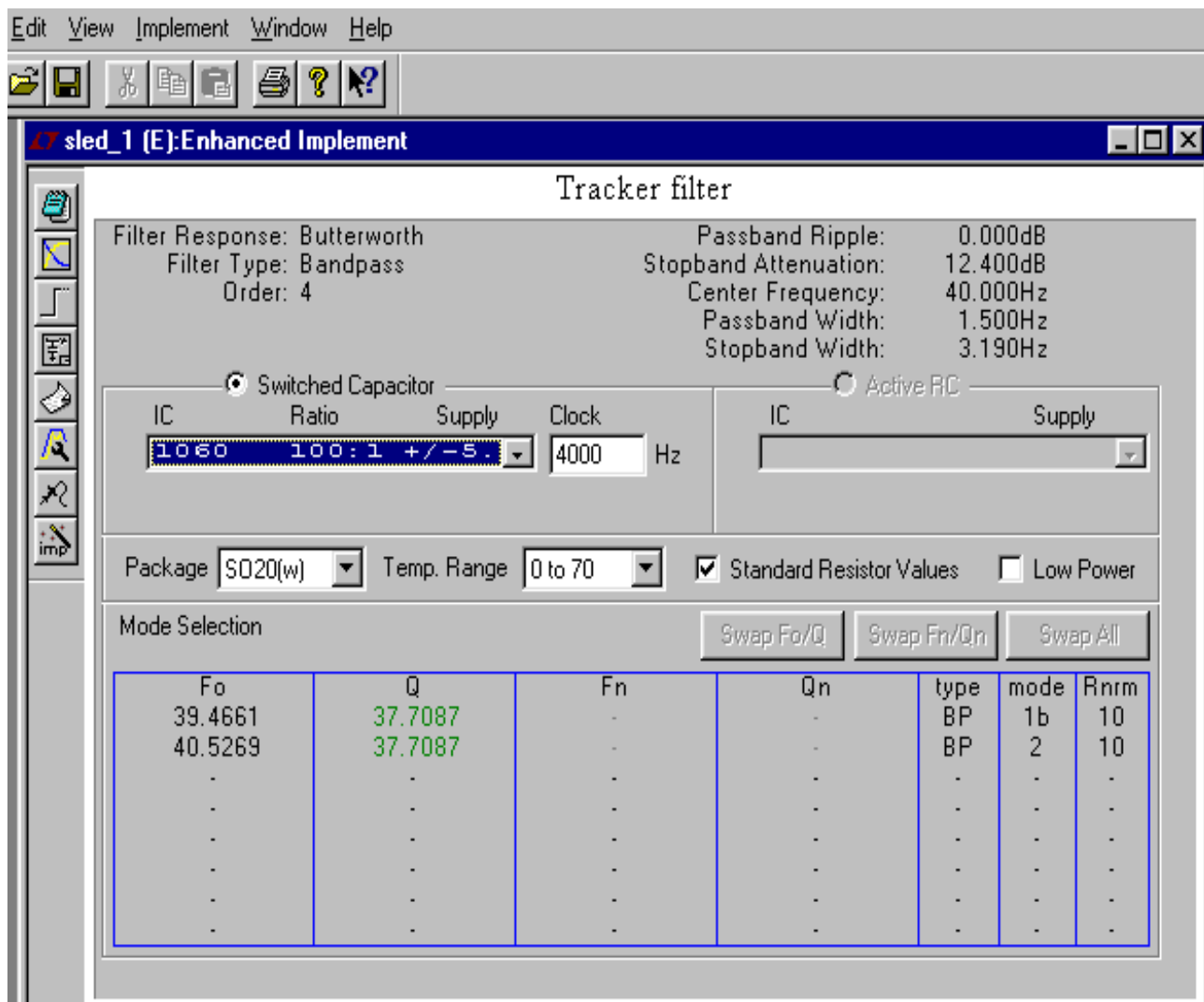


Рисунок 3 – Окно Enhanced Implement программы FilterCAD

Далее мы переходим в окно Schematic программы FilterCAD (рис.4), в котором приведена схемная реализация проектируемого фильтра с указанием всех элементов его электрической принципиальной схемы и номиналов, всех входящих в неё элементов.

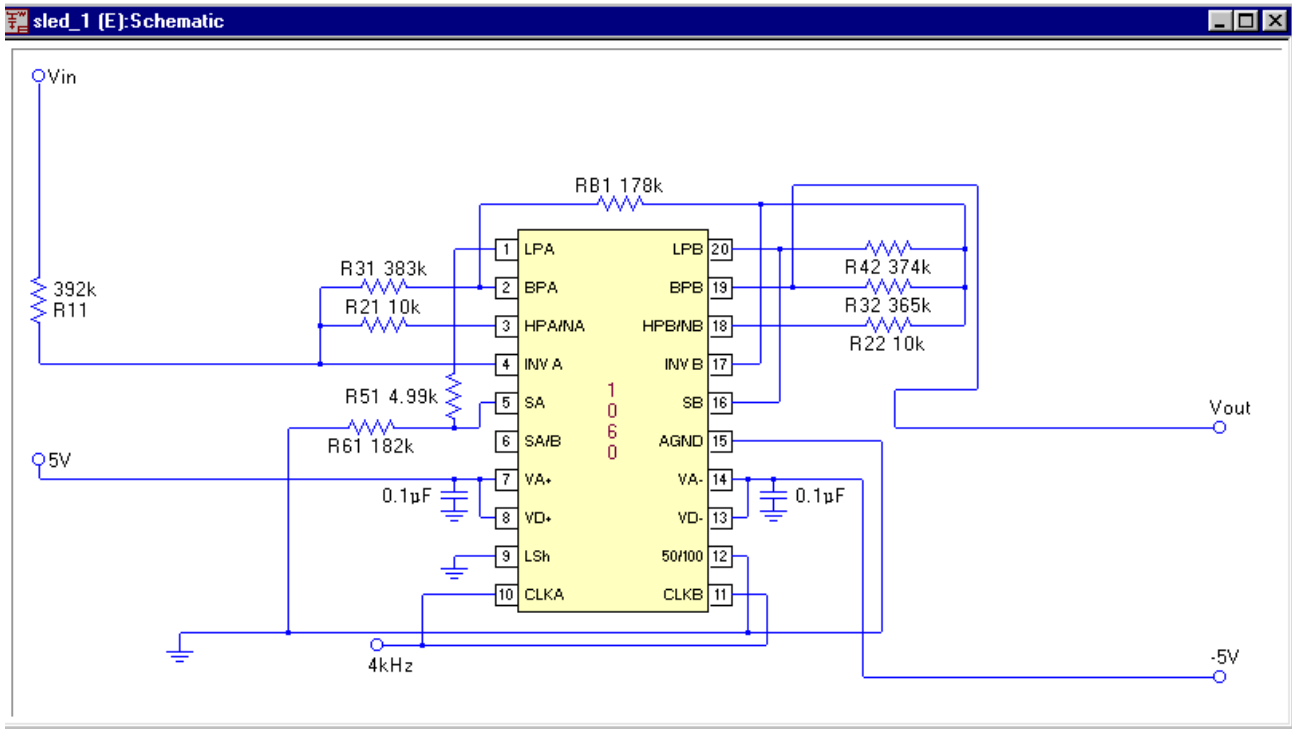


Рисунок 4 – Окно Schematic программы FilterCAD

В окне REPORT (рис.5) приводится отчет о результатах расчета фильтра. Номиналы резисторов, входящих в схему фильтра, Сведения о «нулях» и «полюсах» передаточной характеристики фильтра, его добротности.

sled_1 (E):Report

Device:LTC1060CS Clock:4000Hz Fc = Clock/100
 Supply:+/-5.0V Low Power:No

Design Pole/Zero Locations

Fo	Q	Fn	Qn	type
39.4661	37.7087	-	-	BP
40.5269	37.7087	-	-	BP

Implementation Pole/Zero Locations

Fo	Q	Fn	Qn	type	mode	Rnrm
39.4627	37.7855	-	-	BP	1b	10
40.5312	36.9847	-	-	BP	2	10

Resistors (1% Values, kOhms)

R11=392

R2	R3	R4	R5	R6	RB
10	383	-	4.99	182	178
10	365	374	-	-	-

Рисунок 5 – Окно REPORT программы FilterCAD

4. Ход работы

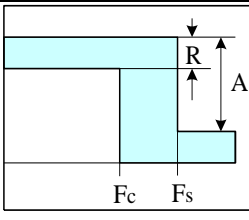
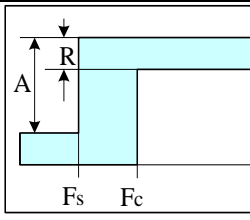
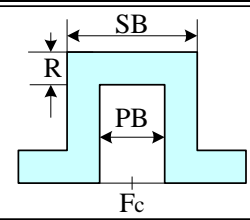
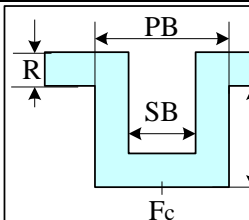
1. Получить и ознакомиться с индивидуальным заданием.
2. Сформулировать исходные данные для программы FilterCAD.
3. Получить заданные АЧХ и ФЧХ фильтра.
4. Разработать схему электрическую принципиальную фильтра.
5. Составить индивидуальный отчет о проделанной работе, который должен включать в себя:
 - вариант и содержание исходного задания;
 - результаты проектирования фильтра (схема, частотные характеристики, Номиналы элементов схемы).
6. Защита проходит индивидуально для каждого студента.

5. Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируются фильтры?
2. Какого типа фильтр дает на выходе напряжение, имеющее неизменное значение от постоянного тока до частоты среза?
3. Если в полосовом фильтре $\omega_b = 22500$ рад/с и $\omega_n = 22100$ рад/с, то чему равна полоса пропускания, выраженная а) в рад/с и б) в Герцах?
4. Как, используя ФНЧ и ФВЧ, получить полосовой фильтр?
5. Как определить полосу пропускания фильтра?
6. Что такое центральная частота фильтра, для фильтров каких типов применяется это понятие?
7. Как из полосового фильтра получить режекторный?
8. Как получить фильтр с линейной фазовой характеристикой.?
9. Где используются фильтры с линейной фазовой характеристикой.?

6. Варианты заданий

В программе FilterCAD разработать в соответствии с заданными ТУ фильтр:

Тип фильтра ТУ	ФНЧ	ФВЧ	ПФ	РФ
				
Полоса пропускания			РВ	SB
Частота среза	F_c	F_c		
Частота перехода	F_s	F_s		
Центральная частота			F_c	F_c
Затухание в полосе подавления	A	A	A	A
Неравномерность в полосе пропускания	R	R	R	R

Приложение А

	Filters Per Package #	Preconfigured	Max Filter Order	Fo Max kHz	Isupply mA	Fo/Fclk	Comments	Packages
<u>LTC1567</u>	1	Universal	2	5,000	15	N/A	Wideband Buffer and Diff Out Amp, Flexible 2nd Order Filter, Fcutoff up to 5MHz	MSOP-8
<u>LTC1568</u>	2	Lowpass Bandpass	4	5,000	35	N/A	Two 2nd Order Stages, Excellent for Matched Pair 2-pole Butterworths	SSOP-16
<u>LTC15622</u>	4	Universal	8	300	21	N/A	Continuous Time, Four 2nd Order Filters, Center Freq Range: 20kHz to 300kHz	SSOP-20
<u>LTC1068</u> <u>25</u>	4	Universal	8	200	3,5	25:1	4 Identical 2nd Order Filters, Low Noise, Center Frequency Error 0,3%	DIP-24, SSOP-28(G)
<u>LTC1264</u>	4	Universal	8	200	14	20:1	High Speed, 4 Identical Filters, Double Aliasing - Sampling for Improved	DIP-24, SO-24
<u>LTC1562</u>	4	Universal	8	150	18	N/A	Continuous Time, Four 2nd Order Filters, Center Freq Range: 10kHz to 150kHz	SSOP-20, DIP-16
<u>LTC1064</u>	4	Universal	8	140	12	100, 50:1	Low Noise, Quad, Center Frequency Range Up to 140kHz	DIP-24, SO-24
<u>LTC1068</u>	4	Universal	8	50	3,5	100:1	4 Identical 2nd Order Filters, Low Noise, Center Frequency Error 0,3%	SSOP-28, DIP-24
<u>LTC1068</u> <u>50</u>	4	Universal	8	50	3	50:1	4 Identical 2nd Order Filters, Low Noise, Center Frequency Error 0,3%	DIP-24, SSOP-28(G)
<u>LTC1059</u>	1	Universal	2	40	1,5	100, 50:1	Low Noise, Center Frequency Range is 0,1Hz to 40kHz, MF5 Replacement	DIP-14, SO-14
<u>LTC1061</u>	3	Universal	6	35	4,5	100, 50:1	Center Frequency Up to 35kHz, Low Offset, 90dB SNR	DIP-20, SO-20
<u>LTC1067</u> <u>50</u>	2	Universal	4	34	2,45	50:1	Rail-to-Rail, Very Low Noise, Single 3V Supply, Lower Power/Lower Clock Freq	SSOP-16, SO-16
<u>LTC1068</u> <u>200</u>	4	Universal	8	25	3,5	200:1	4 Identical 2nd Order Filters, Low Noise, Center Frequency Error 0,3%	DIP-24, SSOP-28(G)
<u>LTC1164</u>	4	Universal	8	20	4	100, 50:1	Low Noise, Low Power, Wide Dynamic Range Filter	DIP-24, SO-24
<u>LTC1060</u>	2	Universal	4	20	2,5	100, 50:1	Center Frequency Up to 30kHz, Improved MF10 Replacement	DIP-20, SO-20
<u>LTC1067</u>	2	Universal	4	17	2,45	100:1	Rail-to-Rail, Very Low Noise, Single 3V Supply	SSOP-16, SO-16

Приложение В

Описание микросхемы LTC1060

Микросхема LTC1060, выпускаемую фирмой Linear Technology, состоит из двух высокой добротности фильтров и управляемого конденсатора. Каждый фильтр, в сочетании с 2...5 резисторами, может осуществлять различные функции фильтра 2-го порядка:

- фильтра нижних частот;
- полосового фильтра;
- фильтра высоких частот;
- широкополосного фильтра.

Центральная частота полосы пропускания может быть настроена синхронизацией импульсной последовательностью, поступающей с внешнего генератора опорной частоты. Может быть сформирована любая из классических конфигураций фильтра (подобно Butterworth, Чебышеву, Bessel, Cauer).

Микросхема LTC1060 работает с однополярным и двуполярным напряжением в диапазоне от $\pm 2,37$ В до ± 8 В. Когда используется однополярное напряжение питания +5 В, фильтр потребляет 12 мВт и может оперировать центральной частотой до 10 кГц. С двуполярным напряжением питания ± 5 В пределом является 30 кГц и может быть достигнута высокая величина Q.

Обеспечены малые смещения, широкий динамический диапазон, высокая центральная частота и температурная стабильность.

V_{A+} , V_{D+} и V_{A-} , V_{D-} соответственно аналоговые и цифровые положительные и отрицательные выводы питающего напряжения. Для большинства корпусов выводы V_{A+} , V_{D+} должны быть соединены и заземлены через керамический конденсатор в 0,1 мкФ. То же и для V_{A-} , V_{D-} выводов. Функции выводов см. рис. Б.1.

LSh - используется для согласования с ТТЛ или КМОП.

$S1_A$, $S1_B$ – выводы для входного сигнала напряжения.

Определение функций фильтра

Каждый стандартный блок LTC1060, вместе с внешней синхронизацией и несколькими резисторами, близко аппроксимирует функции фильтра 2-го порядка. Структурная схема LTC1060 приведена на рис. Б.2. Перечень частотных функций с разными режимами включения приведены в табл Б.1 и Б.2.

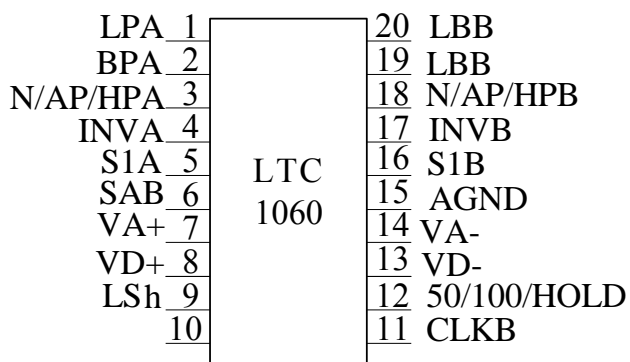


Рисунок Б.1 - Микросхема LTC 1060. Назначение выводов

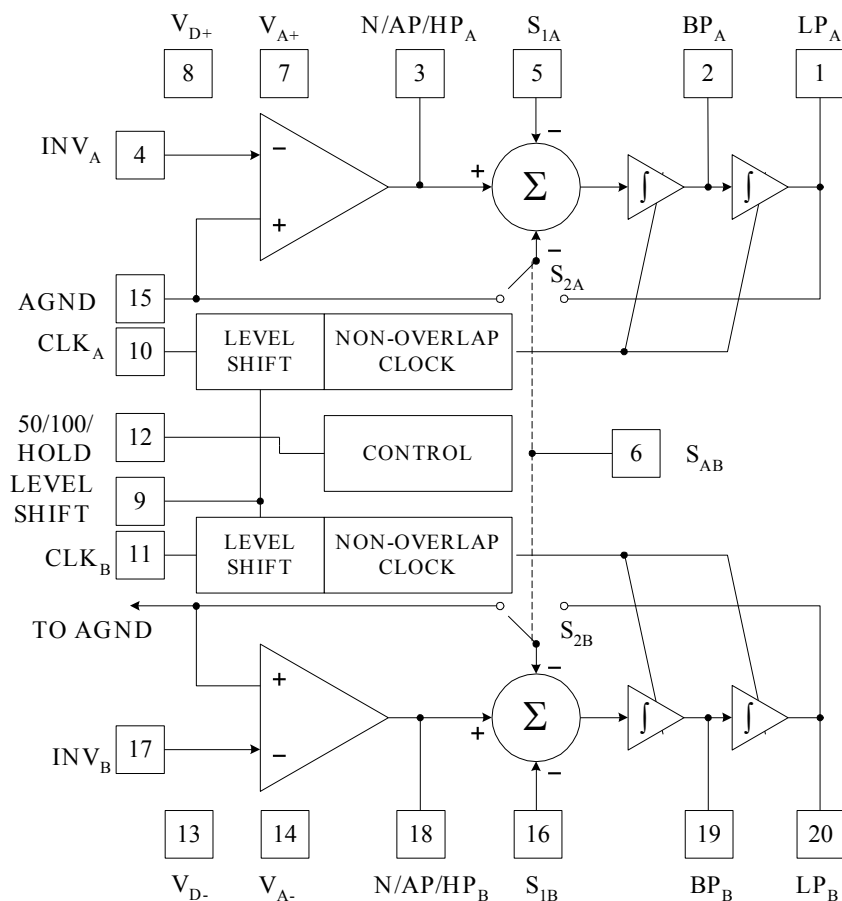


Рисунок Б.2 - Структурная схема фильтра LTC1060

Таблица Б.1- Режим работы с функцией 1-го порядка

Режим	Вывод 2 (19)	Вывод 3 (18)	f_c	f_z
6a	LP	HP	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \frac{R_2}{R_3}$	
6b	LP	LP	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \frac{R_2}{R_3}$	
7	LP	AP	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \frac{R_2}{R_3}$	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \frac{R_2}{R_3}$

Таблица Б.2- Режим работы с функцией 2-го порядка

Режим	Выв.1 (20)	Выв.2 (19)	Выв.3 (18)	f_0	f_H
1	LP	BP	Notch	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \frac{R_2}{R_3}$	f_0
1a	LP	BP	BP	$f_{CLK}/100(50)$	
1b	LP	BP	Notch	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \sqrt{\frac{R_6}{R_5 + R_6}}$	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \sqrt{\frac{R_6}{R_5 + R_6}}$
1c	LP	BP	Notch	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \sqrt{1 + \frac{R_6}{R_5 + R_6}}$	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \sqrt{1 + \frac{R_6}{R_5 + R_6}}$
2	LP	BP	Notch	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \sqrt{1 + \frac{R_2}{R_4}}$	$\frac{f_{CLK}}{100(50)}$
2a	LP	BP	Notch	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \sqrt{1 + \frac{R_2}{R_4} + \frac{R_6}{R_5 + R_6}}$	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \sqrt{1 + \frac{R_6}{R_5 + R_6}}$
2b	LP	BP	Notch	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \sqrt{\frac{R_2}{R_4} + \frac{R_6}{R_5 + R_6}}$	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \sqrt{\frac{R_6}{R_5 + R_6}}$
3	LP	BP	HP	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \sqrt{\frac{R_2}{R_4}}$	
3a	LP	BP	Notch	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \sqrt{\frac{R_2}{R_4}}$	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \sqrt{\frac{R_h}{R_1}}$
4	LP	BP	AP	$f_{CLK}/100(50)$	
4a	LP	BP	AP	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \sqrt{\frac{R_2}{R_4}}$	
5	LP	BP	CZ	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \sqrt{1 + \frac{R_2}{R_4}}$	$\frac{f_{CLK}}{100(50)} \times \sqrt{1 - \frac{R_1}{R_4}}$

1 Полосовой фильтр

Реализуется на выводах (2, 19) микросхемы. Передаточная функция определяется выражением. График см. рис. Б.3,а

$$G(s) = H_{OVP} \frac{s\omega_0 / Q}{s^2 + (s\omega_0 / Q) + \omega_0^2}, \quad (Б.1)$$

где H_{OVP} = усиление при $\omega = \omega_0; 0$

$f_0 = \omega_0 / 2\pi$; f_0 - центральная частота полосы пропускания. На этой частоте смещение фазы между входом и выходом $- 180^0$;

Q - Коэффициент добротности комплексной пары полюсов, определяемый отношением полосы пропускания фильтра на уровне $-3дВ$ к центральной частоте фильтра.
 Q – обязательный параметр для вывода ВР фильтра.

2 Низкочастотный фильтр

Реализуется на выводах (1, 20). Передаточная функция определяется выражением. График см. рис. Б.3,б

$$G(s) = H_{OLP} \frac{\omega_0^2}{s^2 + s(\omega_0 / Q) + \omega_0^2}, \quad (Б.2)$$

где $H_{OLP} = \max$ усиление на LP выводе.

3 Высокочастотный фильтр

Реализуется только для режима 3 на выводах (3, 18). Передаточная функция определяется выражением. График см. рис. Б.3,в.

$$G(s) = H_{ONP} \frac{s^2}{s^2 + s(\omega_0 / Q) + \omega_0^2}, \quad (Б.3)$$

где $H_{ONP} =$ усиление на выводе НР при $f \rightarrow \frac{f_{CLK}}{2}$.

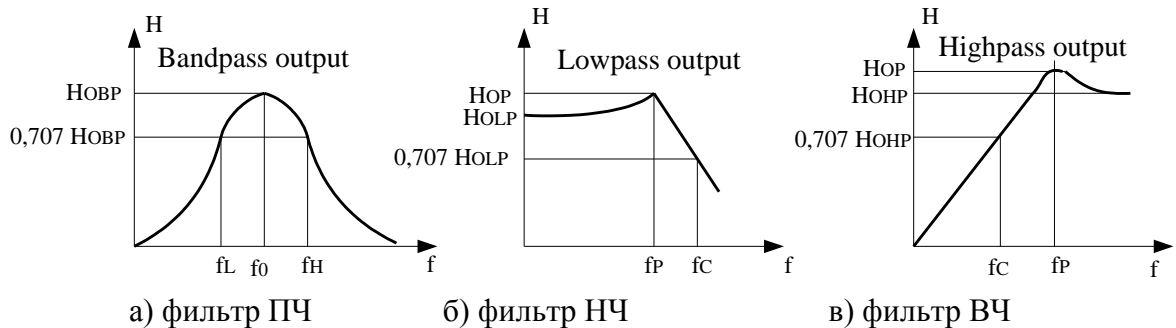


Рисунок Б.3 - Графики функции АЧХ для разных типов фильтров

4 Заграждающий фильтр

Реализуется для нескольких режимов работы на выводах 3 (18). Передаточная функция определяется выражением

$$G(s) = (H_{ON2}) \frac{(s^2 + \omega_n^2)}{s^2 + s(\omega_0 / Q) + \omega_0^2}, \quad (Б.4)$$

где $H_{ON2} =$ усиление при $f \rightarrow f_{CLK}/2$; $H_{ON1} =$ усиление при $f \rightarrow 0$;
 $f_n = \omega_n / 2\pi$; f_n - частота заграждения.

5 Всепропускающий фильтр

Реализуется для режимов 4, 4а работы на выводах 3 (18). Передаточная функция определяется выражением.

$$G(s) = H_{OAP} \frac{[s^2 - s(\omega_0 / Q) + \omega_0^2]}{s^2 + s(\omega_0 / Q) + \omega_0^2}, \quad (Б.5)$$

где $H_{OAP} =$ коэффициент усиления при $0 < f < \frac{f_{CLK}}{2}$.

Для всепропускающего фильтра частота и добротность пары нулей числителя равны добротности пары полюсов знаменателя. При этих условиях АЧХ прямая линия. Для большого Q числителя АЧХ будет иметь ограничение при f_z .