

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Марийский Государственный Технический Университет

Кафедра Радиотехники и связи

# Усилитель постоянного тока, активные фильтры

Пояснительная записка

к курсовой работе

по дисциплине «Основы схемотехники АЭУ»

Выполнил: студент группы ЗРРТ [REDACTED]

[REDACTED]

Проверил: доцент кафедры РТ и С

Бастракова М. И.

Йошкар-Ола

2010

## Задание на курсовую работу

Разработать усилитель постоянного тока.

Исходные данные:

- напряжение питания, В ..... 12;
- приращение входного напряжения, мВ ..... 12;
- приращение выходного напряжения, В ..... 6;
- выходное напряжение в режиме покоя, В ..... 0;
- температура окружающей среды, °С ..... 25.

При проектировании усилительных устройств необходимо:

- выбрать и обосновать электрическую принципиальную схему усилительного устройства;
- выполнить предварительный (эскизный) расчет усилителя;
- определить оптимальные режимы работы активных элементов и выполнить расчет всех каскадов усилителя по постоянному и переменному току;
- разработать или подобрать схему аналогичного усилителя в интегральном исполнении.

Повести расчет активного фильтра.

Исходные данные для ФНЧ и ФВЧ:

- тип амплитудно-частотной характеристики – Чебышевская;
- коэффициент затухания фильтра  $\chi = 1,059$  дБ;
- порядок фильтра – 2;
- неравномерность амплитудно-частотной характеристики 2,0 дБ;



- частота среза для ФНЧ (ФВЧ) – 0,2 МГц;
- коэффициент усиления  $K = 15$ ;

Исходные данные для ППФ:

- нижняя частота среза  $f_H = 0,01$  МГц;
- верхняя частота среза  $f_B = 0,02$  МГц;
- коэффициент усиления  $K = 10$ .

При проектировании активных RC-фильтров необходимо:

- синтезировать электрические принципиальные схемы активных фильтров нижних и верхних частот, а также полосно-пропускающих фильтров;
- рассчитать параметры пассивных компонентов активных фильтров.

В графической части выполнить чертежи схемы электрической принципиальной усилительного устройства на базе дискретных элементов и схемы электрической принципиальной усилительного устройства на базе интегральных микросхем, схемы электрические принципиальные активных фильтров, с перечнями элементов.

# Содержание

Введение .....	5
1 Схема усилителя постоянного тока и расчет номиналов элементов схемы .....	6
2 Усилитель постоянного тока в интегральном исполнении .....	13
3 Активные фильтры .....	17
3.1 Фильтры нижних частот .....	18
3.2 Фильтр верхних частот .....	24
3.3 Полосовой фильтр .....	27
Заключение .....	31
Список литературы .....	32
Приложения .....	33



# Содержание

Введение .....	5
1 Схема усилителя постоянного тока и расчет номиналов элементов схемы .....	6
2 Усилитель постоянного тока в интегральном исполнении .....	13
3 Активные фильтры .....	17
3.1 Фильтры нижних частот .....	18
3.2 Фильтр верхних частот .....	24
3.3 Полосовой фильтр .....	27
Заключение .....	31
Список литературы .....	32
Приложения .....	33

Подпись и дата	
Имя	
Визит, лист №	
Подпись и дата	
Имя	
Имя	
Имя	

КНФУ.651134.001 ПЗ

Усилитель постоянного  
тока, активные фильтры  
Пояснительная записка

Лит.	Лист	Листов
4	4	43

МарГТУ ЗРРТ-31у



## Введение

Усилительные устройства находят применение в самых различных областях науки, техники и производства, являясь либо самостоятельными устройствами, либо частью сложных приборов и систем. Техника усиления электрических сигналов непрерывно развивается. Это связано в первую очередь с развитием и совершенствованием радиоэлектроники и технологии, разработкой новых усилительных приборов. Появление новых полупроводниковых приборов и технологических процессов позволило объединить множество транзисторов, диодов, резисторов в одно устройство – интегральную микросхему.

В курсовой работе спроектирован и рассчитан усилитель постоянного тока, приведены схемы и рассчитаны элементы для различных типов активных фильтров.

В первой главе приведена электрическая принципиальная схема усилительного устройства и рассчитаны номиналы всех элементов, входящих в схему.

Во второй главе синтезирована схема усилителя постоянного тока в интегральном исполнении.

В третьей главе приведены схемы и сделан расчет всех элементов активных фильтров: низкой частоты (ФНЧ), высокой частоты (ФВЧ), полосно-пропускающего фильтра (ППФ).

В приложении сделаны чертежи принципиальных электрических схем для усилителя постоянного тока на транзисторе, усилителя постоянного тока на интегральной микросхеме, активных ФНЧ, ФВЧ и ППФ с перечнями элементов.



# 1 Схема усилителя постоянного тока и расчет номиналов элементов схемы

Усилители постоянного тока (УПТ) служат для усиления медленно меняющихся сигналов или сигналов, значение которых после изменения остается постоянным сколь угодно долго. Нижняя рабочая частота УПТ  $f_{Н} = 0$ , а высшая  $-f_{В}$  определяется назначением усилителя и условиями его работы.

В УПТ для связи между каскадами усилителя приходится включать элементы, способные проводить постоянный ток. Такая связь вносит в УПТ ряд специфических особенностей: затрудняет установку нужного режима транзисторов и требует компенсации постоянного напряжения на нагрузке в режиме покоя.

Особенно сложной задачей в УПТ является обеспечение высокой стабильности работы усилителя при изменениях напряжений источников питания, режимов работы транзисторов, их параметров и сопротивлений резисторов. Существенное влияние на дрейф нуля оказывает температурная нестабильность обратного тока коллектора. Любые, даже очень медленные изменения перечисленных величин вызывают изменения токов и напряжений, которые передаются на выход усилителя и приводят к изменениям выходного сигнала (дрейфу выходного сигнала или дрейфу нуля). В многокаскадных УПТ наибольшую опасность представляет нестабильность первого каскада, так как его нестабильность усиливается последующими каскадами. Для уменьшения дрейфа нуля в УПТ применяются различные балансные схемы.

Схема двухкаскадного УПТ с непосредственной связью между каскадами изображена на рис. 1.1. В этой схеме выход предыдущего каскада гальванически соединен с входом последующего. Напряжение смещения на базе второго транзистора равно  $U_{БЭ2} = U_{К1} - U_{Э2}$ . Компенсация постоянного напряжения на нагрузке в режиме покоя достигается включением делителя напряжения  $R_1, R_2$ . Сопротивления этих резисторов выбирают из условий баланса мостовой схемы, в которую включена нагрузка  $R_{Н}$ :



$$R_{K2}R_2 = R_1(R_{Э2} + R_0), \quad (1.1)$$

где  $R_0 = \frac{|U_{KЭ2}|}{I_{K2}}$  – сопротивление транзистора  $T_2$  в режиме покоя, и условия для делителя напряжения

$$R_1R_2/(R_1 + R_2) \leq (0,1 \div 0,2)R_{II}. \quad (1.2)$$

Источником входного сигнала  $E_C$  с внутренним сопротивлением  $R_C$  может служить фотосопротивление, терморпара или другой датчик.

По уравнению для токов и напряжений первого каскада усилителя в режиме покоя  $I_1 = I_{K1} + I_{Б2}$ ;  $|U_{KЭ1}| = E_K - I_1R_{K1} - I_{Э1}R_{Э1}$  получим сопротивление резистора

$$R_{K1} = \frac{E_K - I_{Э1}R_{Э1} - |U_{KЭ1}|}{I_1} = \frac{E_K - |U_{Э1}| - |U_{K1}|}{I_1}. \quad (1.3)$$

Напряжение  $|U_{Э1}| = I_{Э1}R_{Э1}$  выбирают в пределах  $(0,05 \div 0,2)E_K$ , при этом для эффективной стабилизации режима транзистора необходимо, чтобы  $R_{Э} \gg R_{ВХ.Б}$ .

Аналогично для второго каскада получим:

$$R_{K2} = \frac{E_K - I_{Э2}R_{Э2} - |U_{KЭ2}|}{I_{K2}}. \quad (1.4)$$

Входное сопротивление первого каскада

$$R_{ВХ1} = \frac{R_B \cdot R_{ВХТ}}{R_B + R_{ВХТ}}$$

где входное сопротивление транзистора  $T_1$  с учетом ООС

$$R_{ВХТ} = R_{ВХ.Э1} + (1 + h_{21Э1})R_{Э1} \approx h_{21Э1}R_{Э1}.$$

Входное сопротивление второго каскада

$$R_{ВХ2} = R_{ВХ.Э2} + (1 + h_{21Э2})R_{Э2} \approx h_{21Э2}R_{Э2}.$$

Сопротивление нагрузки для первого каскада

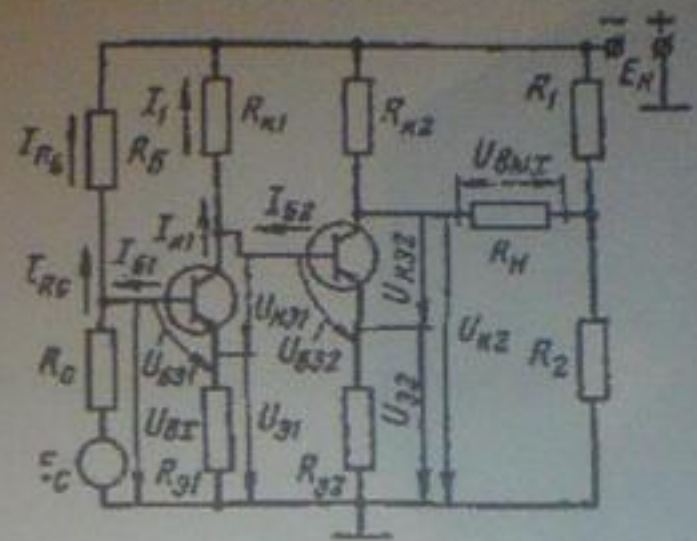


Рисунок 1.1 - Схема двухкаскадного УПТ с непосредственной связью между каскадами



$$R_{H1} = \frac{R_{K1} R_{BX2}}{R_{K1} + R_{BX2}}$$

$$\text{Для второго } R_{K2} = \frac{R_{K2} R_{ЭКВ}}{R_{K2} + R_{ЭКВ}}, \text{ где } R_{ЭКВ} = R_{H1} + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Коэффициент усиления напряжения соответствующих каскадов

$$K \approx h_{21Э} \frac{R_{H1}}{R_{BX1}} \quad (1.5)$$

При  $h_{21Э} \gg 1$ , что практически всегда соблюдается,

$$K_1 \approx \frac{R_{H1}}{R_{Э1}}; K_2 \approx \frac{R_{H2}}{R_{Э2}} \frac{R_{H1}}{R_{H1} + R_1 R_2 / (R_1 + R_2)}$$

Рассчитаем двухкаскадный УПТ с непосредственной межкаскадной связью, если источником входного сигнала служит датчик, включенный в мостовую схему; напряжение источника питания  $E_K = 12$  В; максимальные изменения входного сигнала  $\Delta U_{BX} = \pm 12$  мВ; внутреннее сопротивление источника входного сигнала  $R_C = 1$  кОм; сопротивление нагрузки  $R_H = 5,1$  кОм; требуемое максимальное изменение выходного напряжения  $\Delta U_{ВЫХ} = 6$  В; температура окружающей среды  $t_{\text{окр}} = 25$  °С.

Расчет усилителя проведем в следующем порядке:

1). По заданному напряжению  $E_K$  выбираем транзисторы с максимально допустимым напряжением  $|U_{КЭ\text{макс}}| \geq E_K$  и возможно малым обратным коллекторным током  $I_{КБ0}$ . Берем для обоих каскадов транзистор КТЗ16Б со следующими параметрами  $|U_{КЭ\text{макс}}| = 30$  В;  $I_{К\text{макс}} = 50$  мА;  $I_{КБ0} = 2 \div 5$  мкА;  $t_{К\text{макс}} = 85$  °С;  $P_{К\text{макс}20^\circ} = 150$  мВт;  $h_{11Э} = 500$  Ом;  $h_{21Э} = 40 \div 110$  (для расчета принимаем  $h_{21Э} = 75$ ).

2). Определяем режим покоя для транзистора второго каскада. Выбираем  $|U_{КЭ2}| = 6$  В. Так как до расчета сопротивлений резисторов  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_{H2}$  оценить значение  $R'_{H2}$  и выбрать ток  $I_{K2}$  затруднительно, то находим его из условия  $I_{K2} \leq 0,5 I_{К\text{макс}}$ . Принимаем  $I_{K2} = 10$  мА. Выбранной точке покоя П (рис. 1.2) соответствует ток  $I_{Б2} = 150$  мкА. По входным характеристикам тран-



транзистора находим напряжение  $U_{КЭ2} = 0,135$  В, соответствующее току  $I_{К2}$  в точке покоя.

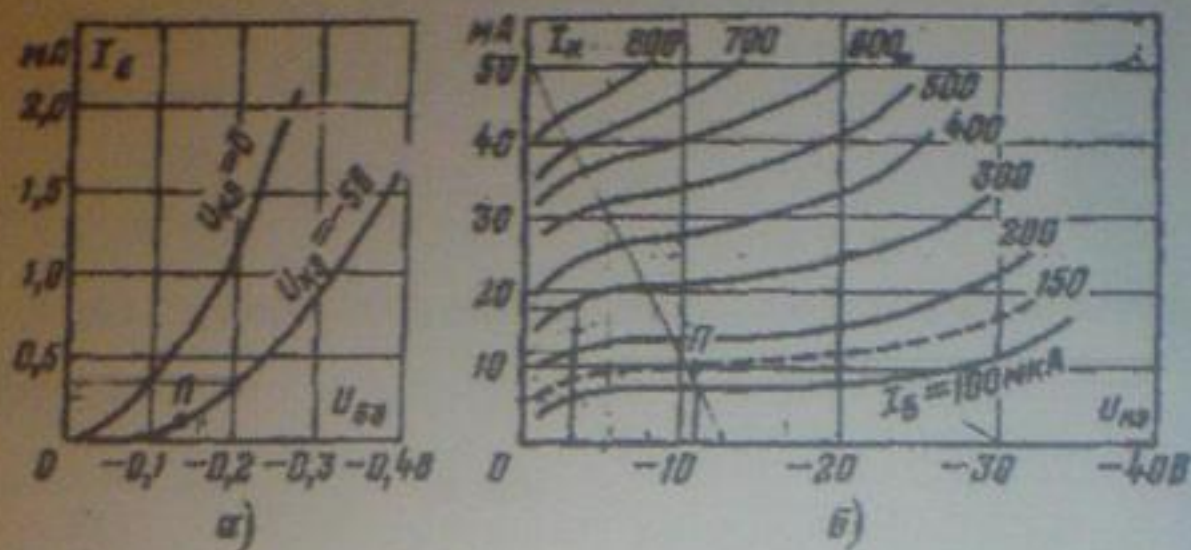


Рисунок 1.2 - Входная (а) и выходная (б) статические характеристики транзистора типа КТ316Б

3). Проверяем режим покоя на соответствие допустимой рассеиваемой мощности коллектора  $P_K = U_{КЭ2} I_{К2} \leq P_{К\text{макс}}$ , где максимально допустимая мощность при наибольшей температуре окружающей среды  $t_{\text{окр}}^{\circ} = 25^{\circ}\text{C}$ :

$$P_{К\text{макс}} = P_{К\text{макс}20^{\circ}} \frac{t_{К\text{макс}}^{\circ} - t_{\text{окр}}^{\circ}}{t_{К\text{макс}}^{\circ} - 20^{\circ}} = 150 \frac{85 - 25}{85 - 20} = 138,5 \text{ мВт.}$$

В нашем случае  $P_K = 10 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 100 \text{ мВт} < P_{К\text{макс}} = 138,5 \text{ мВт}$ .

4). Приняв напряжение  $|U_{Э2}| = I_{Э2} R_{Э2} = (I_{К2} + I_{Б2}) R_{Э2} = 0,1 E_K = 3 \text{ В}$ , определяем сопротивление резисторов:

$$R_{Э2} = \frac{|U_{Э2}|}{I_{Э2}} = \frac{|U_{Э2}|}{I_{К2} + I_{Б2}} = \frac{3}{(10 + 0,15) \cdot 10^{-3}} = 296 \text{ Ом (300 Ом)}.$$

При этом  $|U_{Э2}| = I_{Э2} R_{И2} = 10,15 \cdot 10^{-3} \cdot 300 = 3,45 \text{ В}$  и

$$R_{К2} = \frac{E_K - |U_{Э2}| - |U_{КЭ2}|}{I_{К2}} = \frac{12 - 3,45 - 6}{10 \cdot 10^{-3}} \approx 1,7 \text{ кОм (1,6 кОм)}.$$

В нашем примере  $R_{Э2} = 300 \text{ Ом} \gg R_{ВХ.Б2} = h_{11Э} / h_{21Э} = 500 / 75 \approx 6,5 \text{ Ом}$ .

5). Согласно условиям (1.1) и (1.2) определяем сопротивления делителя. Задаваясь сопротивлением  $R_1 + R_2 = 0,1 \cdot R_{И} = 510 \text{ Ом}$ , находим  $R_1 = 1,05 \text{ кОм}$



(1,1 кОм);  $R_2 = 0,99$  кОм (1,0 кОм).

6). Сопротивление нагрузки для второго каскада

$$R_{н2} = \frac{R_{к2} R_{вых}}{R_{к2} + R_{вых}} = \frac{1,6 \cdot 5,62}{1,6 + 5,62} = 1,25 \text{ кОм.}$$

где  $R_{вых} = R_{н1} + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 5,1 + \frac{1,1 \cdot 1}{1,1 + 1} = 5,62 \text{ кОм.}$

7). Проверяем правильность выбора тока  $I_{к2}$ , для чего рассчитываем требуемую амплитуду тока

$$I_{к2н} = \frac{\Delta U_{вых}}{R_{н2}} = \frac{6}{1,25 \cdot 10^3} = 4,8 \text{ мА.}$$

Таким образом, выбранное нами значение тока  $I_{к2} = 10$  мА удовлетворяет условию.

8). Коэффициент усиления напряжения второго каскада

$$K_2 = \frac{R_{н2}}{R_{к2}} \frac{R_{н1}}{R_{н1} + R_1 R_2 / (R_1 + R_2)} = \frac{12,5}{0,3} \frac{5,1}{5,62} = 37,8.$$

9). Необходимое входное напряжение второго каскада

$$\Delta U_{вх2} = \Delta U_{вых1} = \Delta U_{вых} / K_2 = 6 / 37,8 = 0,159 \text{ В.}$$

10). Напряжение  $U_{к1}$  в режиме покоя

$$U_{к1} = U_{э2} + U_{бэ2} = -3,45 + (-0,135) = -3,6 \text{ В.}$$

11). Выбираем точку покоя транзистора  $T_1$ . Задаваясь значением  $U_{э1} = 0,05 E_K = 0,05 \cdot 12 = 0,6$  В, находим  $U_{кэ1} = U_{к1} - U_{э1} = -3,6 - (-0,6) = -3$  В.

Необходимое изменение коллекторного тока первого транзистора

$\Delta I_{к1} = \Delta U_{вых1} / R_{н1} \approx \Delta U_{вых1} / R_{к1}$ . В режиме покоя нужно обеспечить ток

$$I_{к1} \geq \Delta I_{к1} + (1 + h_{212}) I_{кб040^\circ} = \Delta U_{вых1} / R_{к1} + (1 + h_{212}) I_{кб040^\circ},$$

где  $I_{кб040^\circ} = I_{кб025^\circ} 2^{(40-25)/10} = 5 \cdot 2^{1,5} = 14,14$  мкА – обратный коллекторный ток при максимальной температуре окружающей среды  $t_{окр} = 25^\circ \text{C}$ .



Подставляя в выражение для  $I_{K1}$  сопротивления резистора  $R_{III}$  (1.3), находим:

$$I_{K1} = \frac{\Delta U_{вых1} I_{B2} + (E_K - |U_{Э1}| - |U_{КЭ1}|)(1 + h_{21Э}) I_{КБЭ2Э}}{E_K - |U_{Э1}| - |U_{КЭ1}| - \Delta U_{вых1}}$$

$$= \frac{0,159 \cdot 0,15 + (12 - 1,5 - 2,1)(1 + 75) \cdot 0,02}{12 - 1,5 - 2,1 - 2,12} = 2 \text{ мА.}$$

Принимаем  $I_{K1} = 3 \text{ мА}$ . Выбранной точке покоя  $U_{КЭ1} = -2,1 \text{ В}$  и  $I_{K1} = 3 \text{ мА}$  соответствует ток  $I_E = 50 \text{ мкА}$  и напряжение  $U_{БЭ1} = -0,1 \text{ В}$ , которое определяем по входным характеристикам транзистора (рис. 100).

12). Сопротивления резисторов:

$$R_{K1} = \frac{E_K - |U_{K1}|}{I_{K1} + I_{B2}} = \frac{12 - 3,14}{(3 + 0,15) \cdot 10^{-3}} \approx 8,2 \text{ кОм};$$

$$R_{Э1} = \frac{|U_{Э1}|}{I_{Э1}} = \frac{|U_{Э1}|}{I_{K1} + I_{Б1}} = \frac{1,5}{(3 + 0,05) \cdot 10^{-3}} = 470 \text{ Ом};$$

$$R_K = \frac{E_K - |U_{БЭ1}| - |U_{Э1}|}{I_{RБ}} = \frac{12 - 0,1 - 1,5}{1,6} = 17,8 \text{ кОм (16 кОм)};$$

где

$$I_{RБ} = I_{RК} + I_{Б1} = \frac{|E_C - U_{БЭ1} - U_{Э1}|}{R_C} + I_{Б1} = \frac{0 + 0,1 + 1,5}{10^{-3}} + 0,05 = 1,6 \text{ мА.}$$

В выражении для  $I_{RБ}$  значения  $E_C$ ,  $U_{БЭ1}$ ,  $U_{Э1}$  подставляются со своим знаком. В нашем случае в режиме покоя  $E_C = 0$ .

13). Входное сопротивление усилителя

$$R_{вх} = R_{вх1} \approx \frac{R_{Б} \cdot h_{21Э} \cdot R_{Э1}}{R_{Б} + h_{21Э} \cdot R_{Э1}} = \frac{16 \cdot 75 \cdot 0,47}{16 + 75 \cdot 0,47} \approx 11 \text{ кОм}$$

и коэффициент усиления первого каскада

$$K_1 \approx \frac{R_{III}}{R_{Э1}} = \frac{6,5 \cdot 10^{-3}}{470} \approx 14.$$



Общая длина (включая радиусы шарниров)  $L = L_1 + L_2 = 10 \cdot 17.2 + 12.8 = 178.8$  м

Средняя температура воздуха в зимний период,  $t_{в,ср} = -10$  °C

$$k_{изп} = \frac{\gamma \cdot \alpha \cdot L}{\rho \cdot c \cdot \tau} = \frac{1.25 \cdot 0.8 \cdot 178.8}{2.35 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0.074$$

В качестве примера рассмотрим кабель КС 20 [2, стр. 25] – радиальная и спиральная конструкции с медными жилами, предназначенный для работы в зимний период эксплуатации при температуре окружающей среды в диапазоне от -40 до +5 °C и диаметре жилы от 0.5 до 1 мм. Диаметр жилы: 0.5 мм, 0.7 мм, 0.9 мм, 1 мм, 1.2 мм. Диаметр радиальной конструкции при температуре 0.5 мм от 19.0 до 19.8 мм.

Применяемая марка кабельной продукции соответствует параметрам по [3] – таблица 1.1.

Применяемая конструкция кабеля выбирается в зависимости от условий эксплуатации по формуле (2) с учетом диаметра.



КНФУ.651134.001 ПЗ



Общий коэффициент усиления напряжения  $K = K_1 \cdot K_2 = 14 \cdot 37,8 \approx 529$  с

некоторым запасом обеспечивается требуемое усиление

$$K_{тр} = \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta U_{вх}} = \frac{6}{0,012} \approx 500.$$

В качестве резисторов выбираем С2-31 [3, стр. 85] – резисторы с метал-  
лодиэлектрическим проводящим слоем, предназначенные для работы в высо-  
кочастотных электрических цепях постоянного, переменного и импульсного то-  
ка в качестве элементов навесного монтажа. Номинальные мощности: 0,125  
Вт; 0,25 Вт; 0,5 Вт; 1 Вт; 2 Вт. Диапазон номинальных сопротивлений для  
мощности 0,125 Вт от 10 Ом до 1 МОм.

Промежуточные значения номинальных сопротивлений соответствуют  
ряду E24 с допусками  $\pm 5\%$ .

Принципиальная электрическая схема усилителя постоянного тока при-  
ведена в приложении на формате А4 с перечнем элементов.

Имя, № подл.	Подпись, и дата	Взам. инв. №	Ини. Л. № бл.	Подпись и дата
--------------	-----------------	--------------	---------------	----------------

Имя	Лист	№ документа	Подпись	Дата
-----	------	-------------	---------	------

КНФУ.651134.001 ПЗ

Лист

12



## 2 Усилитель постоянного тока в интегральном исполнении

Для выбора усилителя постоянного тока в интегральном исполнении вычислим некоторые параметры усилителя.

При выборе микросхемы необходимо также учитывать, чтобы в типовой включении обеспечивались параметры:

- напряжение питания, В ..... 12;
- приращение входного напряжения, мВ ..... 12;
- приращение выходного напряжения, В ..... 6;
- выходное напряжение в режиме покоя, В ..... 4.

В качестве интегрального усилителя постоянного тока по результатам обзора выберем [7, стр. 8 - 13] микросхему К153УД1.

Микросхема К153УД1 представляет собой операционный усилитель среднего класса точности. Характеризуется высоким коэффициентом усиления напряжений, малым напряжением смещения нуля, большим входным и малым выходным сопротивлениями. Выполнена по планарно-контактной технологии на биполярных транзисторах с изоляцией элементов обратной смещенными  $p-n$  переходами. Общее число инте-



Рисунок 2.1 - Корпус К153УД1

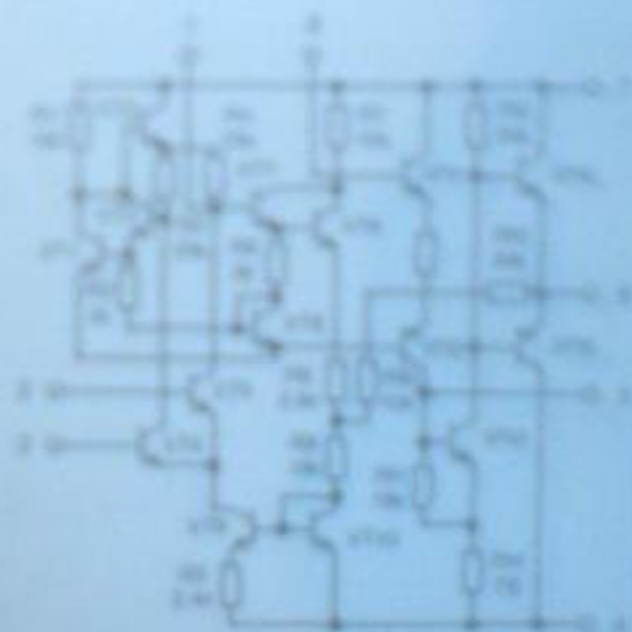


Рисунок 2.2 - Принципиальная электрическая схема К153УД1



гральных элементов 29. Корпус типа 301.8-2 (рис. 2.1). Масса не более 1,5 г.

Назначение выводов: 1, 5, 8 - для подключения цепей частотной коррекции; 2 - инвертирующий вход; 3 - не инвертирующий вход; 4 - напряжение питания ( $-U_{П}$ ); 6 - выход; 7 - напряжение питания ( $+U_{П}$ ).

### Основные параметры

Номинальное напряжение питания (двухполярное) .....  $\pm 15$  В.

Ток потребления при  $U_{П} = \pm 16,8$  В,  $R_{Н} \geq 10$  кОм, не более:

$T = +25$  и  $+85$  °С ..... 6 мА;

$T = -45$  °С ..... 8 мА.

Максимальное выходное напряжение при  $U_{П} = \pm 15$  В,

$U_{ВХ} \geq 0,1$  В, не менее:

$T = +25$  °С .....  $\pm 10$  В;

$T = +85$  и  $-45$  °С .....  $\pm 9$  В.

Напряжение смещения нуля при  $U_{П} = \pm 16,5$  В,  $R_{Н} \geq 10$  кОм,

$R_{Г} \leq 10$  кОм, не более:

$T = +25$  °С ..... 7,5 мВ;

$T = +85$  и  $-45$  °С ..... 10 мВ.

Входной ток при  $U_{П} = \pm 16,5$  В,  $R_{Н} \geq 10$  кОм, не более:

$T = +25$  °С ..... 1,5 мкА;

$T = +85$  °С ..... 1,8 мкА;

$T = -45$  °С ..... 2,0 мкА.

Разность входных токов при  $U_{П} = \pm 16,5$  В,  $R_{Н} \geq 10$  кОм, не более:

$T = +25$  °С ..... 0,5 мкА;

$T = +85$  °С ..... 0,75 мкА;

$T = -45$  °С ..... 1,0 мкА.

Коэффициент усиления напряжения при  $U_{П} = \pm 15$  В,

$U_{ВЫХ} = \pm 8$  В,  $R_{Н} = 2$  кОм, не менее:

$T = +25$  °С .....  $1,5 \cdot 10^4$ ;

$T = +85$  и  $-45$  °С .....  $9 \cdot 10^3$ .



Коэффициент ослабления синфазных входных напряжений при  $U_{\Pi} = \pm 15$  В,  
 $U_{\text{вх сф}} = \pm 8$  В,  $R_{\Gamma} \leq 10$  кОм,  $R_{\text{Н}} \geq 10$  кОм,  $T = + 25$  °С, не менее ..... 65 дБ.

Входное сопротивление, не менее ..... 200 кОм;

*типовое значение* ..... 260 кОм.

Выходное сопротивление, не более ..... 150 Ом.

Скорость нарастания выходного напряжения при

$U_{\Pi} = \pm 15$  В,  $R_{\text{Н}} = 10$  кОм,  $T = + 25$  °С, не менее ..... 0,2 В/мкс.

Время установления выходного напряжения при

$U_{\Pi} = \pm 15$  В,  $R_{\text{Н}} = 10$  кОм,  $T = + 25$  °С, не менее ..... 0,3 В/мкс.

### Предельные эксплуатационные данные

Напряжение питания .....  $\pm (8,1 \dots 16,5)$  В.

Максимальное входное напряжение при  $U_{\Pi} = \pm 16,5$  В:

    синфазное .....  $\pm 8$  В;

    дифференциальное .....  $\pm 5$  В.

Минимальное сопротивление нагрузки ..... 1 кОм.

Потребляемая мощность ..... 150 мВт.

Температура окружающей среды .....  $- 45 \dots + 85$  °С.

Типовая схема включения приведена на рис. 2.3. Амплитудно-частотная характеристика К153УД1 с замкнутой цепью обратной связи при  $U_{\Pi} = \pm 15$  В и  $T = + 25$  °С для типовой схемы включения при различных номиналах элементов цепей коррекции приведена на рис. 2.4. Здесь кривая 1 соответствует значениям  $R1 = 0$  Ом,  $C4 = 10$  пФ,  $C3 = 3$  пФ; кривая 2 соответствует значениям  $R1 = 1,5$  кОм,  $C4 = 110$  пФ,  $C3 = 3$  пФ; кривая 3 соответствует значениям  $R1 = 1,5$  кОм,  $C4 = 510$  пФ,  $C3 = 20$  пФ; кривая 4 соответствует значениям  $R1 = 1,5$  кОм,  $C4 = 5100$  пФ,  $C3 = 200$  пФ.



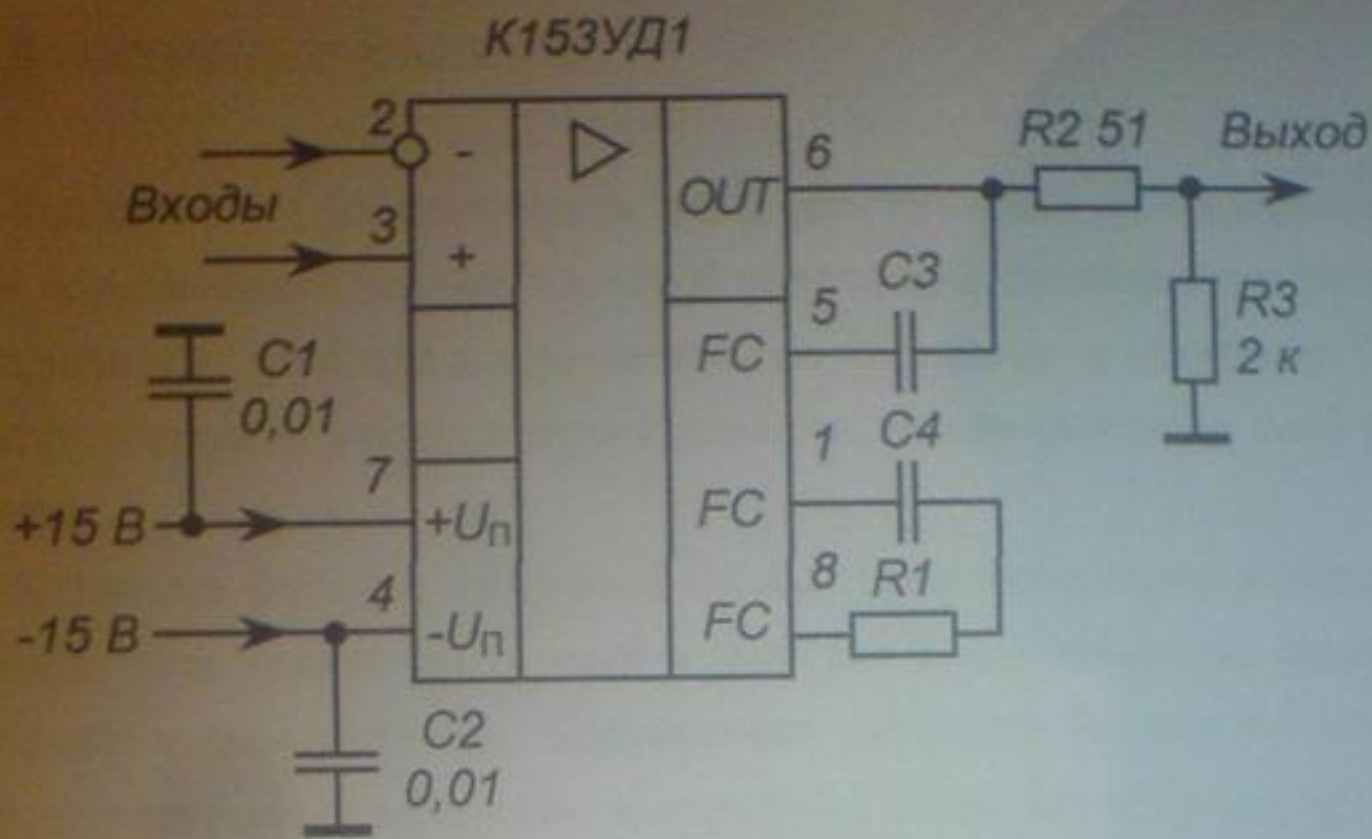


Рисунок 2.3 – Типовая схема включения К153УД1

Необходимо обеспечить коэффициент усиления по напряжению не менее 500. Данному условию будет соответствовать кривая 1 на рис. 2.4, для которой  $R1 = 0$  Ом,  $C4 = 10$  пФ,  $C3 = 3$  пФ.

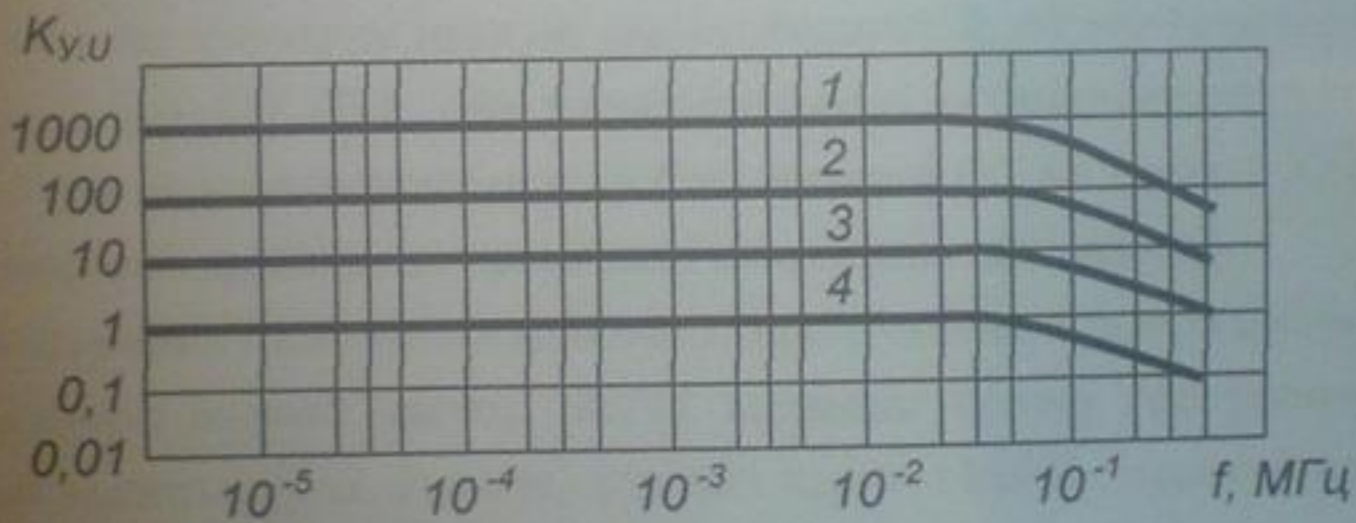


Рисунок 2.4 – АЧХ К153УД1 с замкнутой ОС

Принципиальная электрическая схема усилителя постоянного тока на микросхеме К153УД1 приведена в приложении на формате А4 с перечнем элементов.



### 3 Активные фильтры

Фильтр – это электрическая цепь, рассчитанная на пропускание сигналов в определенной полосе частот и подавления сигналов вне этой полосы. Электрические фильтры подразделяют на пассивные и активные. Пассивные фильтры содержат катушки индуктивности, конденсаторы и, если нужно, резисторы.

Активные фильтры включают в себя кроме резисторов и конденсаторов операционные усилители и реже – катушки индуктивности, поскольку они громоздки и дорогостоящи. Достоинство активных фильтров – их компактность, лучшие характеристики, в частности способность усиливать сигналы, дешевизна.

В области верхних частот рабочего диапазона активные фильтры уступают пассивным: практический предел рабочей полосы доходит до 1 МГц, но по мере совершенствования ОУ этот предел будет расширяться. В области нижних частот активные фильтры, не требующие катушек индуктивности, значительно превосходят фильтры пассивные.

Активным фильтрам присущ ряд особенностей, обусловленных использованием в них ОУ. Так, они характеризуются ограниченным диапазоном входных и выходных напряжений (у большинства ОУ не выше  $\pm 10$  В), а выходной ток, как правило, не превышает нескольких миллиампер.

По взаимному расположению полос пропускания и задерживания различают фильтры нижних частот (ФНЧ), имеющие полосу пропускания ниже заданной частоты среза, фильтры верхних частот (ФВЧ) с полосой пропускания выше заданной частоты среза, полосовые фильтры (ПФ) с полосой пропускания, расположенной между двумя частотами среза, и режекторные фильтры (РФ) с полосой задерживания, ограниченной двумя частотами среза и примыкающими к ней полосами пропускания.

Основная характеристика фильтра – его порядок, определяемый числом содержащихся в фильтре реактивных элементов. Например, если коэффициент передачи напряжения фильтра выражается формулой



$$K_{\Phi}(\omega) = \frac{U_2}{U_1} = \frac{K_{\Phi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}, \quad (3.1)$$

то мы имеем дело с ФНЧ первого порядка  $n = 1$ , а при

$$K_{\Phi}(\omega) = \frac{K_{\Phi}\omega_0^2}{\sqrt{\omega_0^4 + \omega_0^2\omega^2(\delta^2 - 2) + \omega^4}}, \quad (3.2)$$

порядок оказывается вторым ( $n = 2$ ). От порядка фильтра зависит крутизна АЧХ за пределами полосы пропускания, выражаемая числом децибел на октаву (декаду): при  $n = 1$  это 6 дБ/окт (20 дБ/дек), если  $n = 2$ , то 12 дБ/окт (40 дБ/дек) и т. д..

Активные фильтры широко используются для усиления или ослабления определенных частот в звуковой аппаратуре, в генераторах, электронно-музыкальных инструментах, линиях связи, а также в научно-исследовательской работе для изучения частотного состава разнообразных сигналов, таких как биотоки человеческого организма, механические вибрации и т. д.

### 3.1 Фильтры нижних частот

Схема ФНЧ первого порядка не отличается от схемы интегрирующего усилителя. У этого фильтра  $\omega_0 = \frac{1}{2\pi\tau} \approx \frac{1}{2\pi C \cdot R}$ .

Схема ФНЧ второго порядка показана на рис. 3.1. Для повышения крутизны АЧХ вблизи частоты среза, отсчитываемого на уровне  $1/\sqrt{2}$  (-3 дБ); используется

слабая положительная ОС, стабилизированная с помощью отрицательной ОС, цепь которой представлена делителем напряжения  $R_3R_4$  с коэффициентом передачи напряжения

$$B = \frac{R_3}{R_3 + R_4}. \quad (3.3)$$

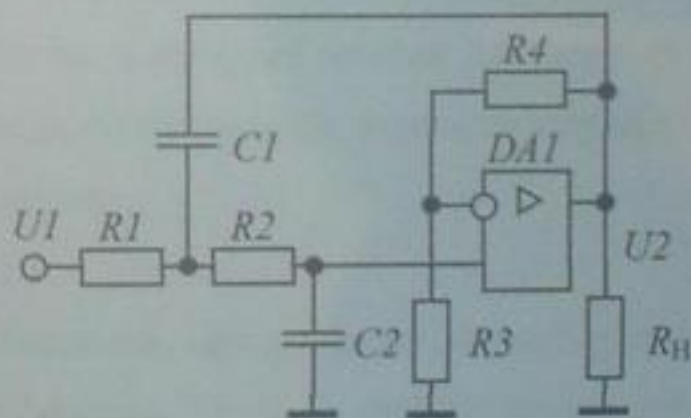


Рисунок 3.1 - Схема ФНЧ второго порядка



С целью получения максимально плоской АЧХ (т. е. без максимума и с наибольшей крутизной АЧХ вблизи частоты среза) параметр

$$K_F \approx \frac{1}{B} = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad (3.4)$$

выбирают равным 1,2. Сама АЧХ описывается выражением (3.2), в котором  $K_\Phi = K_F$ ,

$$\omega_0 = \omega_c = 2\pi f_c = \frac{1}{\sqrt{C_1 R_1 C_2 R_2}} \quad (3.5)$$

и

$$\delta = \frac{1}{Q} = \left[ C_1 R_1 (1 - K_F) + C_2 R_1 + \frac{C_2 R_2}{\sqrt{C_1 R_1 C_2 R_2}} \right] \quad (3.6)$$

Максимально плоской АЧХ получается при  $\delta = \sqrt{2}$  ( $Q = 0,707$ ).

При необходимости увеличения крутизны асимптоты за пределами полосы пропускания используются фильтры более высокого порядка.

Выберем операционный усилитель, который можно использовать в заданном частотном диапазоне [5, стр. 20].

#### Микросхема К154УД2.

Микросхема представляет собой операционный усилитель средней точности с выходным напряжением  $\pm 10$  В. Предназначены для работы на частотах до 15 МГц. Для обеспечения достаточно высокого входного сопротивления первый дифференциальный каскад работает в режиме малых коллекторных токов, в результате чего паразитные и корректирующие емкости ограничивают выходное напряжение на высокой частоте.

Корпус типа 301.8-2. Масса не более 1,5 г..

Назначение выводов: 1, 8 – резистор баланса, средняя точка которого подсоединена к положительному питанию (вывод 7); 2 – инвертирующий вход; 3 – не инвертирующий вход; 4 – питание ( $-U_{П}$ ); 5 – общий вывод; 6 – выход; 7 – питание ( $+U_{П}$ ).

Электрические параметры:

номинальное напряжение питания, В .....  $\pm 15 \pm 10\%$ ;  
 ток потребления, мА .....  $\leq 6$ ;  
 коэффициент усиления напряжения при  $U_{Пит} = \pm 15$  В,  
 $U_{вх} = 0,1$  В,  $R_{Н} = 5,05$  кОм .....  $\geq 2 \cdot 10^4$ ;



1. *[Faint text]* ..... 100  
 2. *[Faint text]* ..... 100  
 3. *[Faint text]* ..... 100  
 4. *[Faint text]* ..... 100  
 5. *[Faint text]* ..... 100

- 1. *[Faint text]*
- 2. *[Faint text]*
- 3. *[Faint text]*
- 4. *[Faint text]*
- 5. *[Faint text]*

The following table shows the results of the experiment. The first column shows the initial concentration of the solution, the second column shows the final concentration, and the third column shows the percentage change in concentration.

The following table shows the results of the experiment. The first column shows the initial concentration of the solution, the second column shows the final concentration, and the third column shows the percentage change in concentration.

Initial concentration	Final concentration	Percentage change
100	100	0%
100	100	0%
100	100	0%



время установления выходного напряжения, мкс .....  $\leq 0,3$ ;  
 входное сопротивление, кОм ..... 260;  
 выходное сопротивление, Ом ..... 150;  
 частота единичного усиления, МГц ..... 15;  
 температура окружающей среды, °С ..... - 45 ... + 85.

По техническому заданию:

- тип амплитудно-частотной характеристики – Чебышевская;
- коэффициент затухания фильтра  $\chi = 1,059$  дБ;
- порядок фильтра – 2;
- неравномерность амплитудно-частотной характеристики 1 дБ;
- частота среза для ФНЧ – 0,2 МГц;
- коэффициент усиления  $K = 15$ .

Располагая двумя уравнениями относительно элементов фильтра при шести неизвестных, следует придать численные значения четырем из них. Прежде всего, должна быть известна частота среза  $f_c$ , дополнительно удобно задаться отношением сопротивлений  $R_2/R_1$  и коэффициентом усиления  $K_F$ , немного превышающим единицу (или отношением емкостей  $C_2/C_1$ ).

Для ФНЧ определим расчетную емкость

$$C_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot R}, \quad (3.7)$$

где  $f_c$  – частота среза ФНЧ.

Значение  $C_1, C_2$  для ФНЧ определяются умножением  $C_0$  на коэффициенты из табл. 3.1 по правилу

$$C_1 = m_1 \cdot C_0, \quad C_2 = m_2 \cdot C_0. \quad (3.8)$$

Таблица 3.1. Коэффициенты для фильтров 2 порядка

Тип АЧХ фильтра	$m_1$	$m_2$
Характеристика Бесселя	1	0,33
Характеристика Баттерворта	2,12	0,47
Характеристика Чебышева	2,73	0,33

Расчеты сделаем в программе MathCad.



$$K = 15 \quad f_c = 0.2 \cdot 10^6 \text{ Гц} \quad R = 560 \text{ Ом} \quad \delta_{\text{дБ}} = 1 \text{ дБ} \quad \delta_{\text{раз}} = 10^{20} \quad \delta_{\text{раз}} = 1.122$$

$$C0 = \frac{1}{2\pi \cdot f_c \cdot R} \quad C0 = 1.421 \cdot 10^{-9} \quad m1 = 2.73 \quad m2 = 0.33$$

$$C1 = m1 \cdot C0 \quad C2 = m2 \cdot C0$$

$$C1 = 3.879 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} \quad C2 = 4.689 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$$

$$C1 = 3.9 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} \quad C2 = 0.47 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} \quad R1 = 1 \quad R2 = 1$$

Given

$$\delta_{\text{раз}} = C1 \cdot R1 \cdot (1 - K) + C2 \cdot R1 + \frac{C2 \cdot R2}{\sqrt{C1 \cdot R1 \cdot C2 \cdot R2}}$$

$$2\pi \cdot f_c = \frac{1}{\sqrt{C1 \cdot R1 \cdot C2 \cdot R2}}$$

$$\text{Find}(R1, R2) = \begin{bmatrix} 181.854 \\ 1.9 \cdot 10^3 \end{bmatrix}$$

Проверка

$$R1 = 180 + 2 \text{ Ом} \quad R2 = 1.8 \cdot 10^3 + 100 \text{ Ом}$$

$$\frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{C1 \cdot R1 \cdot C2 \cdot R2}} = 1.999 \cdot 10^5 \quad C1 \cdot R1 \cdot (1 - K) + C2 \cdot R1 + \frac{C2 \cdot R2}{\sqrt{C1 \cdot R1 \cdot C2 \cdot R2}} = 1.122$$

$$R3 = 10 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad R4 = (K - 1) \cdot R3 \quad R4 = 1.4 \cdot 10^5 \text{ Ом}$$

$$f = 0.1 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^7$$

$$\text{КФНЧ}_{\text{дБ}}(f) = 20 \log \left[ \frac{K \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot f_c^2}{16 \cdot \pi^4 \cdot f_c^4 + 4 \cdot \pi^2 \cdot f_c^2 + 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot (\delta_{\text{раз}}^2 - 2) + 16 \cdot \pi^4 \cdot f^4} \right] \text{ дБ}$$

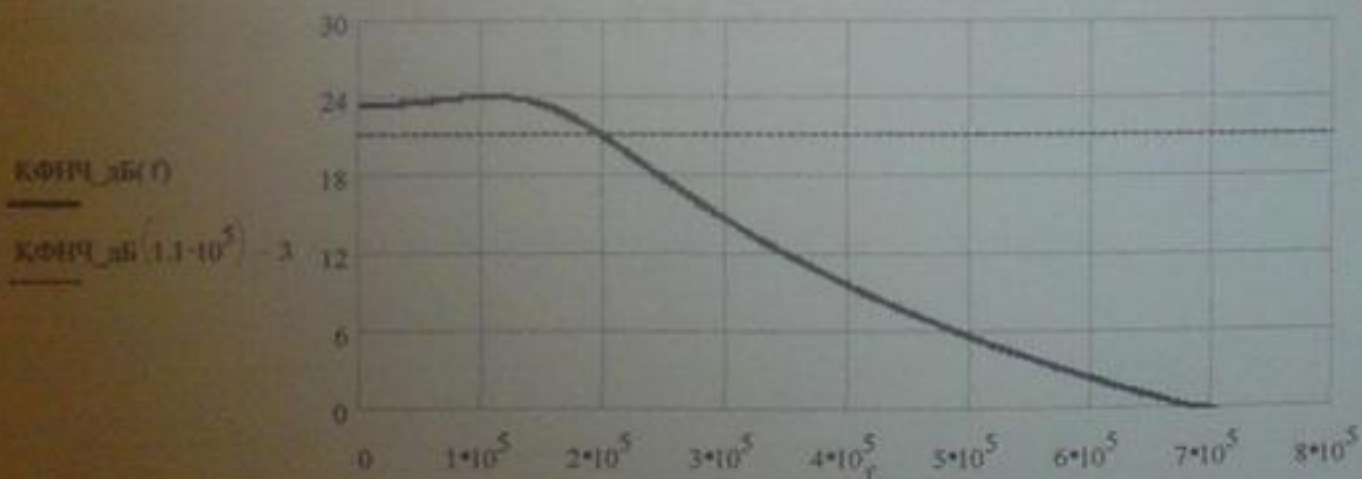


Рисунок 3.2 – АЧХ ФНЧ для коэффициента передачи в дБ





Рисунок 3.3 – АЧХ ФНЧ для коэффициента передачи в размах

Таким образом, рассчитанные значения элементов:  $R_{1.1} = 180 \text{ Ом}$ ,  $R_{1.2} = 22 \text{ Ом}$ ,  $R_{2.1} = 1,8 \text{ кОм}$ ,  $R_{2.2} = 100 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 10 \text{ кОм}$ ,  $R_4 = 140 \text{ кОм}$ ,  $C_1 = 3,9 \text{ нФ}$ ,  $C_2 = 470 \text{ нФ}$ .

Рассчитаем мощности, рассеивающиеся на резисторах используя законы Ома и Кирхгофа с помощью программы MathCad. При расчетах имеем:

1). максимальное выходное напряжение на выходе операционного усилителя составляет не более 10 В при напряжении питания  $\pm 15 \text{ В}$ ;

2). при коэффициенте передачи ОУ равном 15, максимальное входное

$$\text{напряжение } U_{вх} = \frac{U_{вых}}{K_{У}} = \frac{10}{15} = 0,75 \text{ В.}$$



$$R3 = 10 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad R4\_1 = 100 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad R4\_2 = 47 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad U = 10 \text{ В}$$

$$I = \frac{U}{R3 + R4\_1 + R4\_2} \quad I = 6.369 \cdot 10^{-5} \text{ А}$$

$$PR3 = I^2 \cdot R3 \quad PR3 = 4.057 \cdot 10^{-5} \text{ Вт}$$

$$PR4\_1 = I^2 \cdot R4\_1 \quad PR4\_1 = 4.057 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}$$

$$PR4\_2 = I^2 \cdot R4\_2 \quad PR4\_2 = 1.907 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}$$

$$R1\_1 = 180 \text{ Ом} \quad R1\_2 = 22 \text{ Ом} \quad R_{вхОУ} = 260 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad U = 0.75 \text{ В}$$

$$R2\_1 = 1.8 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad R2\_2 = 100 \text{ Ом}$$

$$I = \frac{U}{R1\_1 + R1\_2 + R2\_1 + R2\_2 + R_{вхОУ}} \quad I = 2.861 \cdot 10^{-6} \text{ А}$$

$$PR1\_1 = I^2 \cdot R1\_1 \quad PR1\_1 = 1.474 \cdot 10^{-9} \text{ Вт}$$

$$PR1\_2 = I^2 \cdot R1\_2 \quad PR1\_2 = 1.801 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}$$

$$PR2\_1 = I^2 \cdot R2\_1 \quad PR2\_1 = 1.474 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}$$

$$PR2\_2 = I^2 \cdot R2\_2 \quad PR2\_2 = 8.189 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}$$

В качестве резисторов  $R1.1 = 180 \text{ Ом}$ ,  $R2.1 = 1,8 \text{ кОм}$ ,  $R2.2 = 100 \text{ Ом}$ ,  $R3 = 10 \text{ кОм}$ ,  $R4.1 = 91 \text{ кОм}$  выбираем С2-31  $\pm 5\%$  мощностью 0,125 Вт, а в качестве резисторов  $R1.2 = 22 \text{ Ом}$ ,  $R4.2 = 47 \text{ кОм}$  многооборотный подстроечный резистор СП5-22 мощностью 0,125 Вт (3, стр. 304).

В качестве емкостей  $C1 = 3,9 \text{ нФ}$  и  $C2 = 470 \text{ пФ}$  выбираем конденсаторы К10-17 ПЗЗ на номинальное напряжение 50 В [4, стр. 28]. В качестве емкостей по цепи питания используем конденсаторы К10-17 Н50 номиналом 0,1 мкФ на номинальное напряжение 50 В и параллельно включенные полярные танталовые оксидно-полупроводниковые конденсаторы К53-1-10 мкФ-20 В [4, стр. 290].

Подстроечные многооборотные резисторы СП5-22  $R1.2 = 27 \text{ Ом}$  и  $R4.2 = 47 \text{ кОм}$  используются для точной настройки на частоту среза и требуемый коэффициент усиления.

Чертеж принципиальной электрической схемы, с перечнем элементов для рассчитанного фильтра приведен в приложении.



### 3.2 Фильтр верхних частот

Схема ФВЧ второго порядка, изображенная на рис. 3.4, отличается от ФНЧ взаимной заменой резисторов и конденсаторов, формирующих АЧХ, с уравнением

$$K_{\Phi}(\omega) = K_F \frac{\omega^2}{\sqrt{\omega_0^4 + \omega_0^2 \omega^2 (\delta^2 - 2) + \omega^4}}, \quad (3.13)$$

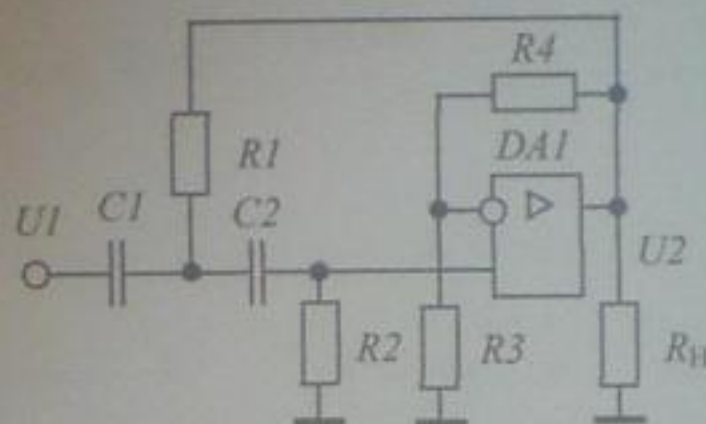


Рисунок 3.4 - Схема ФВЧ второго порядка

Входящие сюда  $K_F$  и  $\omega_0$  находятся из (3.4) и (3.5), а

$$\delta = \frac{1}{Q} = \left( \frac{1}{C_1 R_1 (1 - K_F)} + \frac{1}{C_2 R_1} + \frac{1}{C_2 R_2} \right) \sqrt{C_1 R_1 C_2 R_2}. \quad (3.14)$$

Для ФВЧ определяется расчетное сопротивление

$$R_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot C}, \quad (3.15)$$

где  $f_c$  – частота среза ФНЧ.

Значение  $C_1$ ,  $C_2$  для ФНЧ определяются умножением  $C_0$  на коэффициенты из табл. 3.1 по правилу

$$R_1 = \frac{R_0}{m_1}, \quad R_2 = \frac{R_0}{m_2}, \quad (3.16)$$

где коэффициенты  $m_1$  и  $m_2$  приведены в табл. 3.1.

Расчеты проведем в программе MathCad. Результаты представлены на следующей странице.



$$K = 15 \quad f_c = 0.2 \cdot 10^8 \text{ Гц} \quad C = 1000 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \quad \delta_{\text{дБ}} = 1 \text{ дБ} \quad \delta_{\text{раз}} = 10^{-20} \quad \delta_{\text{раз}} = 1.122$$

$$R_0 = \frac{1}{2\pi \cdot f_c \cdot C} \quad R_0 = 795.775 \quad m_1 = 2.73 \quad m_2 = 0.33$$

$$R_1 = \frac{R_0}{m_1} \quad R_2 = \frac{R_0}{m_2}$$

$$R_1 = 291.493 \text{ Ом} \quad R_2 = 2.411 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$R_1 = 300 \text{ Ом} \quad R_2 = 2.4 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad C_1 = 10^{-12} \quad C_2 = 10^{-12}$$

Given

$$2\pi \cdot f_c \omega = \frac{1}{C_1 R_1 + C_2 R_2}$$

$$\delta_{\text{раз}} = \left[ \frac{1}{C_1 R_1 (1 - K)} + \frac{1}{C_2 R_1} + \frac{1}{C_2 R_2} \right] \sqrt{C_1 R_1 + C_2 R_2}$$

$$\text{Find}(C_1, C_2) = \begin{bmatrix} 4.538 \cdot 10^{-10} \\ 1.938 \cdot 10^{-9} \end{bmatrix}$$

Проверка

$$R_1 = 300 \cdot 3 \text{ Ом} \quad R_2 = 2.4 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad C_1 = 470 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \quad C_2 = 2 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

$$\frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{C_1 R_1 + C_2 R_2}} = 1.925 \cdot 10^5 \quad \left[ \frac{1}{C_1 R_1 (1 - K)} + \frac{1}{C_2 R_1} + \frac{1}{C_2 R_2} \right] \sqrt{C_1 R_1 + C_2 R_2} = 1.122$$

$$R_3 = 10 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad R_4 = (K - 1) \cdot R_3 \quad R_4 = 1.4 \cdot 10^5 \text{ Ом}$$

$$f = 0.10^3 \cdot 2 \cdot 10^7$$

$$\text{КФВЧ}_{\text{дБ}}(\omega) = 20 \cdot \log \left[ \frac{K \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2}{\sqrt{16 \cdot \pi^4 \cdot f_c^4 + 4 \cdot \pi^2 \cdot f_c^2 \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot (\delta_{\text{раз}}^2 - 2) + 16 \cdot \pi^4 \cdot f^4}} \right] \text{ дБ}$$

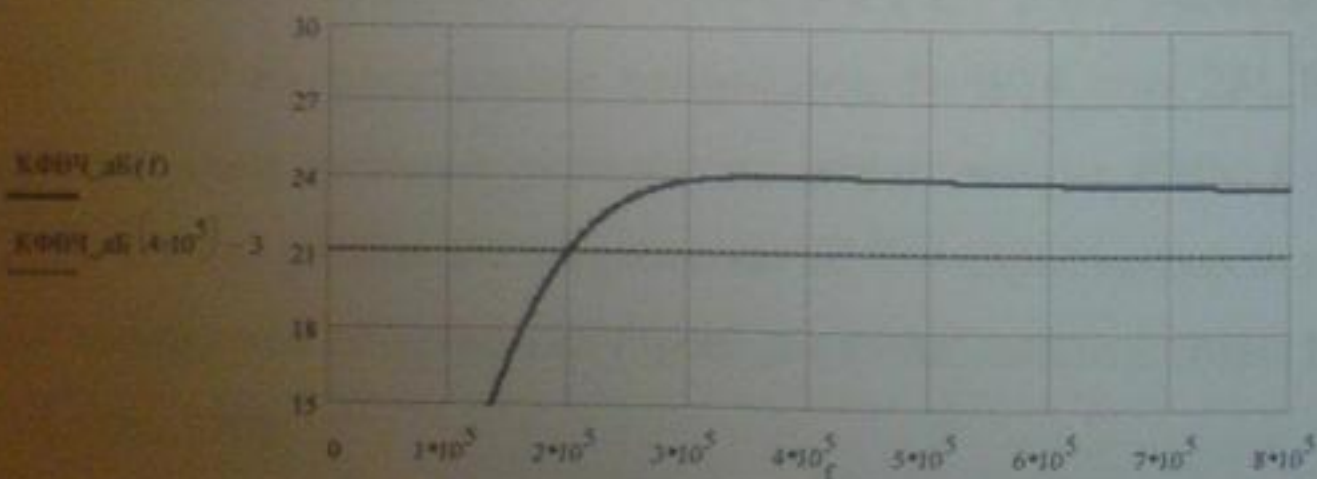


Рисунок 3.5 – АЧХ ФВЧ для коэффициента передачи в дБ



$$\frac{\text{КФВЧ}_{\text{раз}}(\Omega)}{10} = \frac{\text{КФВЧ}_{\text{дБ}}(\Omega)}{20} \text{ раз} = \frac{\text{КФВЧ}_{\text{дБ}}(3.8 \cdot 10^6)}{20} = 15.02$$

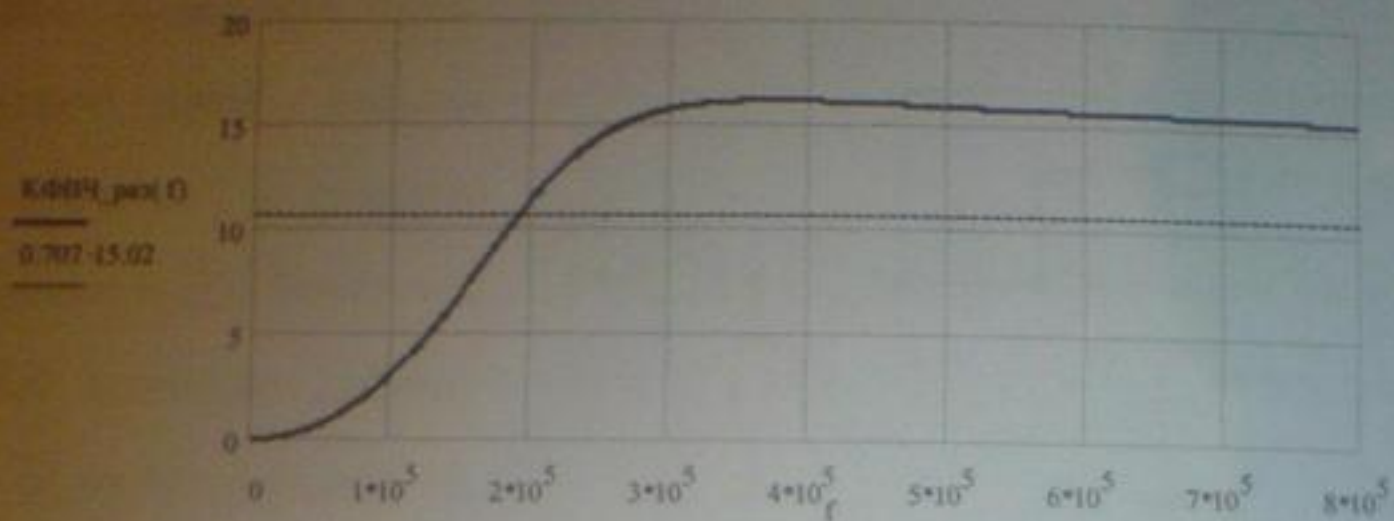


Рисунок 3.6 – АЧХ ФВЧ для коэффициента передачи в размах

По аналогии с предыдущим расчетом для активного ФНЧ логично предположить, что для выбранных номиналов резисторов мощности рассеивания будут незначительными. Поэтому в качестве резисторов  $R1.1 = 300 \text{ Ом}$ ;  $R2 = 2,4 \text{ кОм}$ ;  $R3 = 10 \text{ кОм}$ ;  $R4.1 = 100 \text{ кОм}$  выбираем С2-31 на допустимую мощность рассеивания  $0,125 \text{ Вт}$ . Для более точной настройки на частоту среза используем последовательно с  $R1.1$  включенный подстроечный многооборотный резистор  $R1.2$  - СП5-22-22 Ом на номинальную мощность рассеивания  $0,125 \text{ Вт}$  и последовательно с  $R4.1$  - СП5-22-47 кОм на номинальную мощность рассеивания  $0,125 \text{ Вт}$ .

В качестве емкостей  $C1 = 470 \text{ пФ}$  и  $C2 = 2 \text{ нФ}$  выбираем конденсаторы К10-17 ПЗЗ на номинальное напряжение  $50 \text{ В}$  [4, стр. 28]. В качестве емкостей по цепи питания используем конденсаторы К10-17 Н50 номиналом  $0,1 \text{ мкФ}$  на номинальное напряжение  $50 \text{ В}$  и параллельно включенные полярные танталовые оксидно-полупроводниковые конденсаторы К53-1-10 мкФ-20 В [4, стр. 290].

Чертеж принципиальной электрической схемы, с перечнем элементов для рассчитанного фильтра приведен в приложении.



### 3.3 Полосовой фильтр

Для выделения сравнительно узкой полосы частот, близкой к единице отношения  $f_{C2}/f_{C1}$ , требуется высокое значение добротности  $Q$ , нередко свыше 10. В таких случаях удобен фильтр (рис. 3.7), характеризуемый следующими параметрами:

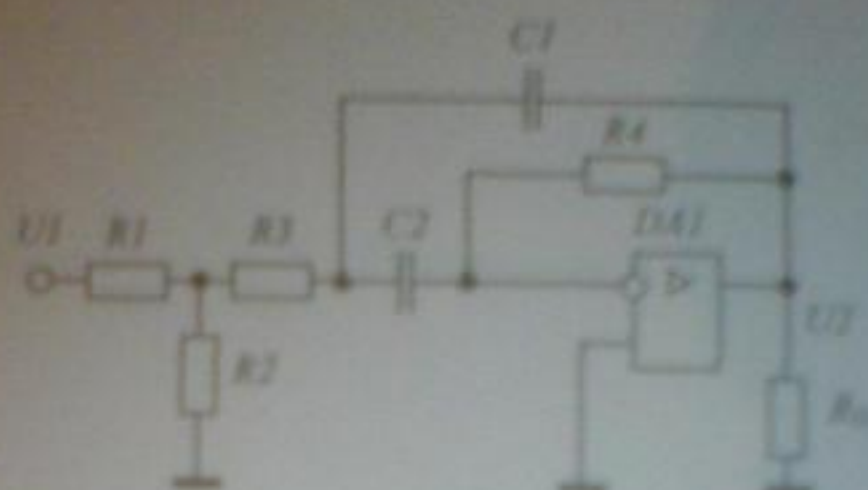


Рисунок 3.7 - Схема резистивного полосового фильтра

$$K_0 = \frac{U_2}{U_1} = \frac{k_2 R_5}{R_{C2}} \quad (3.17)$$

$$k_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.18)$$

$$R_{C2} = R_3(R_2 + R_4) = k_2 R_1 + R_4 \quad (3.19)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_1 R_{C1} C_2 R_5}} \quad (3.20)$$

$$Q = \sqrt{\frac{C_1 R_2}{C_2 R_{C1}}} \quad (3.21)$$

Дополнительно введенные резисторы  $R_1$  и  $R_2$  придает устройству большую гибкость в смысле реализации требований, предъявляемых к коэффициенту усиления и добротности.

Число неизвестных параметров превышает число уравнений на два, поэтому двум из неизвестных следует придать числовые значения.

Выбирая  $R_1 = 1$  кОм,  $R_2 = 10$  кОм,  $C_1/C_2 = 0,5$ , с помощью равенства (3.14) находим



$$R_{12} = \frac{C_1 R_4}{C_2 Q^2}. \quad (3.22)$$

Добротность

$$Q = \frac{f_0}{\Delta F}. \quad (3.23)$$

Через заданное значение  $K_\Phi = \frac{U_2}{U_1} = \frac{k_{\text{д}} R_4}{R_{12}} = 15$  определяем

$$k_{\text{д}} = \frac{K_\Phi R_{12}}{R_4}. \quad (3.24)$$

Используя соотношение (3.11), определяем, что

$$R_2 = \frac{k_{\text{д}} R_1}{1 - k_{\text{д}}}. \quad (3.25)$$

При этом  $R_3 = R_{12} - k_{\text{д}} R_1$ .

Выражение  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1 R_{12} C_2 R_4}}$  и условие  $C_1 = 0,5C_2$  позволяют рассчи-

тать емкости конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ .

Для расчетов используем MathCad.

Исходные данные для ППФ:

- нижняя частота среза  $f_{\text{н}} = 0,01$  МГц;
- верхняя частота среза  $f_{\text{в}} = 0,02$  МГц;
- коэффициент усиления  $K = 10$ .



$$K = 10 \quad \Omega = 0.01 \cdot 10^6 \text{ Гц} \quad \omega = 0.02 \cdot 10^6 \text{ Гц}$$

$$\theta = \frac{\Omega - \omega}{2} \quad \theta = 1.5 \cdot 10^4 \text{ Гц} \quad Q = \frac{\theta}{\Omega - \omega} \quad Q = 1.5 \quad \delta = \frac{1}{Q} \quad \delta = 0.667$$

$$R1 = 100 \text{ Ом} \quad R4 = 10 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$R12 = \frac{0.4 R4}{Q^2} \quad R12 = 1.779 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad k_{\lambda} = K \cdot \frac{R12}{R4} \quad k_{\lambda} = 1.778$$

$$R2 = \frac{k_{\lambda} R1}{1 - k_{\lambda}} \quad R2 = 220 \text{ Ом} \quad R3 = R12 - k_{\lambda} R1 \quad R3 = 1.6 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$C1 = 10^{-12} \text{ Ф} \quad C2 = 10^{-12} \text{ Ф}$$

Given

$$\frac{1}{2\pi \sqrt{C1 R12 C2 R4}} = f_0$$

$$C1 = \frac{C2}{25}$$

$$\text{Find}(C1, C2) = \begin{bmatrix} 7.413 \cdot 10^{-10} \\ 8.543 \cdot 10^{-9} \end{bmatrix}$$

$$f = 0, 100, 4 \cdot 10^4 \quad \text{КПФФ}_{\text{дБ}}(f) = 20 \cdot \log \left[ \frac{K \cdot \delta \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot f \cdot f_0}{\sqrt{16 \cdot \pi^4 \cdot f_0^4 + 4 \cdot \pi^2 \cdot f_0^2 \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot (\delta^2 - 2) + 16 \cdot \pi^4 \cdot f^4}} \right] \text{ дБ}$$

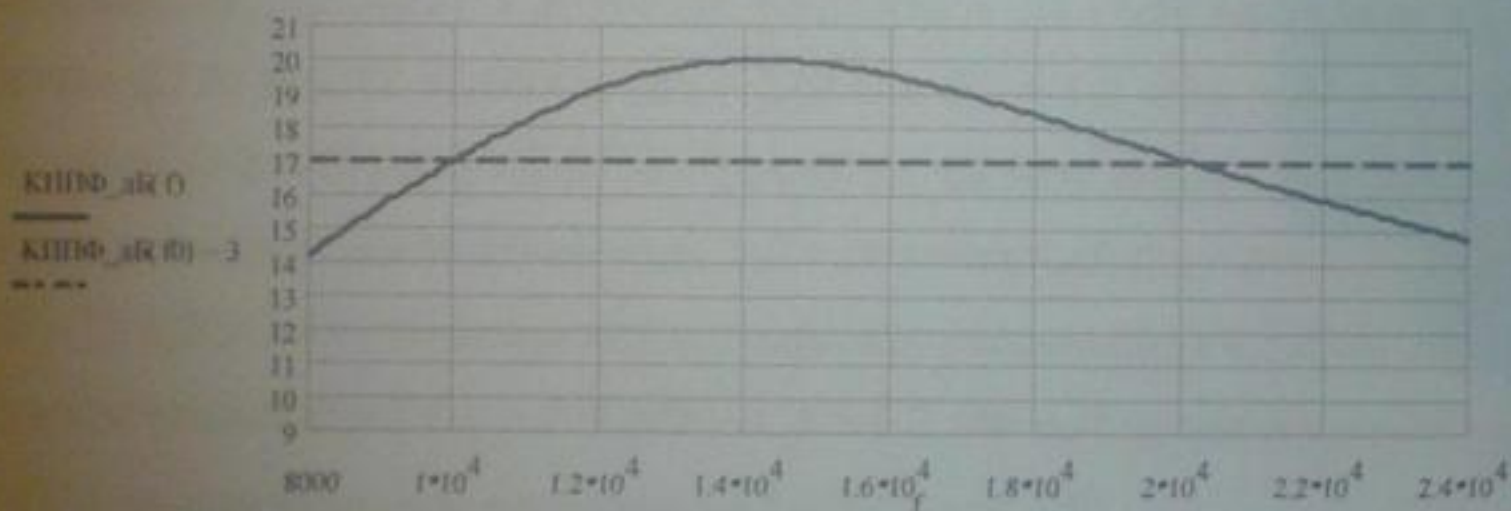


Рисунок 3.8 – АЧХ ППФ для коэффициента передачи в дБ



КППФ\_раз(Г) = 10<sup>20</sup> раз

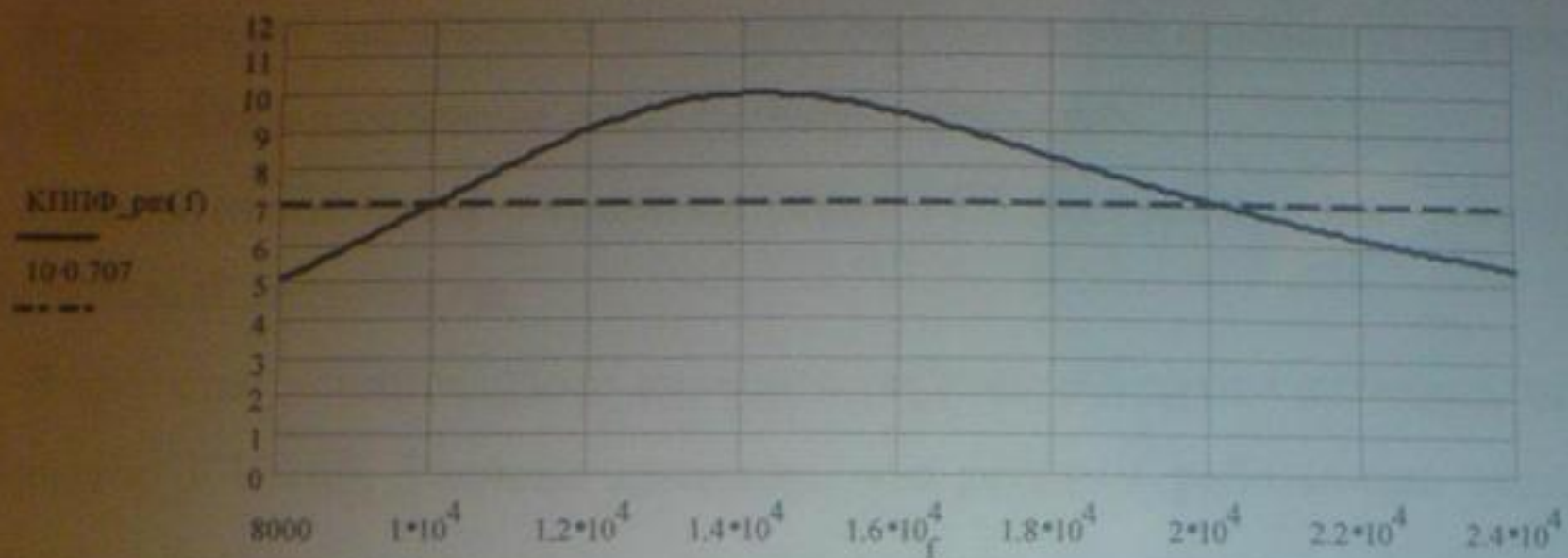


Рисунок 3.9 – АЧХ ППФ для коэффициента передачи в размах

По аналогии с предыдущим расчетом для активного фильтра логично предположить, что для выбранных номиналов мощности рассеивания будут незначительными. Поэтому в качестве резисторов  $R1 - R4$  выбираем С2-3 мощностью 0,125 Вт:  $R1 = 100 \text{ Ом}$ ,  $R2 = 220 \text{ Ом}$ ,  $R3 = 1,6 \text{ кОм}$  и  $R4 = 9,1 \text{ кОм}$  соответственно. Для более точной настройки на частоту среза и коэффициент передачи используем последовательно с  $R4$  включенный подстроечный резистор СП5-22 2,2 кОм на номинальную мощность рассеивания 0,125 Вт.

В качестве емкостей  $C1 = 750 \text{ пФ}$  и  $C2 = 8,2 \text{ нФ}$  выбираем конденсаторы К10-17 ПЗЗ на номинальное напряжение 50 В [4, стр. 28].

В качестве емкостей по цепи питания используем конденсаторы К10-17 Н50 номиналом 0,1 мкФ на номинальное напряжение 50 В и параллельно включенные полярные танталовые оксидно-полупроводниковые конденсаторы К53-1-20 В-10 мкФ [4, стр. 290].

Чертеж принципиальной электрической схемы, с перечнем элементов для рассчитанного фильтра приведен в приложении.



## Заключение

В результате выполнения курсовой работы спроектирован усилитель постоянного тока и различные виды активных фильтров.

Спроектирована двухкаскадная схема УПТ на транзисторах и схема на интегральной микросхеме.

В качестве усилительного элемента первого и второго каскадов выбран транзистор КТ316Б. Расчеты показали, что режимы работы при заданных входных параметрах усилителя не превышают предельно допустимых для транзисторов.

Синтезированный усилитель на интегральной микросхеме удовлетворяет всем характеристикам, предъявляемым техническим заданием. Использована микросхема К153УД1 в типовом включении.

Синтезированы и рассчитаны все элементы, входящие в активные фильтры: ФНЧ, ФВЧ, ППФ. В качестве усилительного элемента для реализации фильтров выбран операционный усилитель К154УД2. Построенные характеристики фильтров полностью соответствуют техническому заданию.

В приложении приведены чертежи схем электрических принципиальных усилителей постоянного тока на транзисторе, на интегральной микросхеме, активного ФНЧ, активного ФВЧ и активного ППФ, рассчитанных в работе, на форматах А4 с перечнями элементов.

Таким образом, в результате выполнения курсовой работы получены навыки расчета номиналов элементов усилителя постоянного тока и активных фильтров и опыт в выполнении принципиальных электрических схем с перечнем элементов по требованиям ЕСКД и ГОСТов.



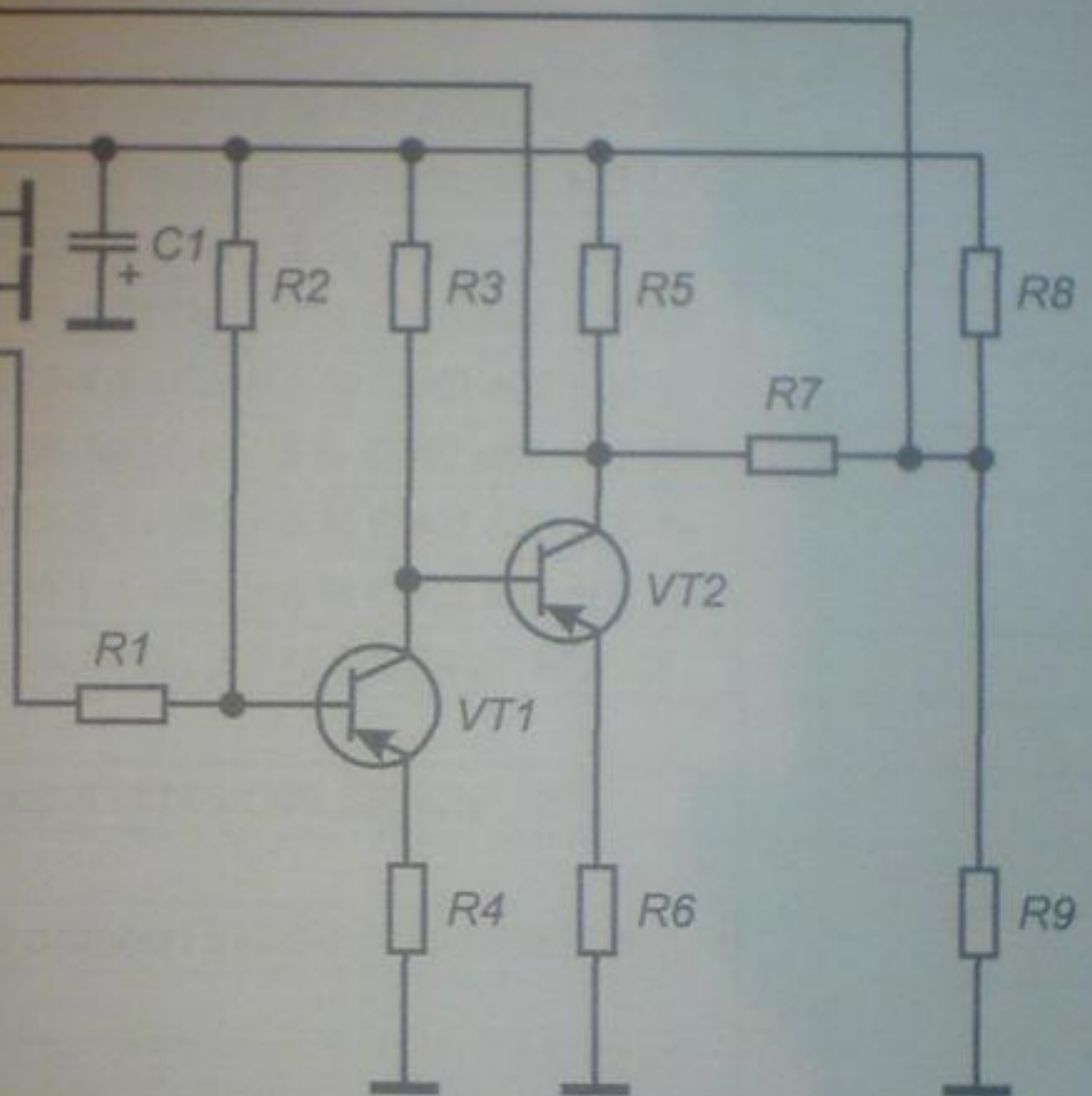
## Список литературы

1. Проектирование усилительных устройств: Учеб. пособие / Ефимов В. В., Павлов В. Н., Соколов Ю. П. и др.; под ред. Н. В. Терпугова. – М.: Высшая школа, 1982.
2. Галкин В. И. и др.. Полупроводниковые приборы: Справочник / В. И. Галкин, А. Л. Булычев, В. А. Прохоренко. – 2-е изд., перераб. и доп.. – Мн.: Беларусь, 1987.
3. Резисторы: Справочник / В. В. Дубровский, Д. М. Иванов, Н. Я. Пратусевич и др.; Под ред. И. И. Четверткова и В. М. Терехова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1991.
4. Конденсаторы: Справочник/ И. И. Четвертков, М. Н. Дьяконов, В. И. Присняков и др.: Под ред. И. И. Четверткова, М. Н. Дьяконова. – М.: Радио и связь, 1993.
5. Справочная книга радиолюбителя-конструктора / А. А. Бокуняев, Н. М. Борисов, Р. Г. Варламов и др.; Под ред. Н. И. Чистякова. – М.: Радио и связь, 1990.
6. Микросхемы для бытовой радиоаппаратуры. Дополнение третье: Справочник / И. В. Новаченко, В. А. Телец, Л. И. Редькина, Ю. А. Краснодубец. – М.: Радио и связь, 1992.
7. Алексеев А. Г., Войшвилло Г. В. Операционные усилители и их применение. - М.: Радио и связь, 1989.
8. Классификация и обозначение электро- радиоэлементов в конструкторской документации: справочное пособие для курсового и дипломного проектирования. Часть 1. /Сост. В. Н. Леухин. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1994.
9. Романычева Э. Т. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры. - М.: Радио и связь, 1989.
10. Сапаров В. Е., Максимов М. И. Системы стандартов в электросвязи и радиоэлектронике. - М.: Радио и связь, 1985.



ХР1

Цепь	Конт.
Выход	1
Выход	2
- 12 В	3
Общий	4
Общий	5
Вход	6



КНФУ.656678.001 ЭЗ

Усилитель  
постоянного тока  
Схема электрическая  
принципиальная

Лист	Масса	Масштаб
Лист	Листов 1	

МарГТУ ЗРРТ-31у

Имя, № подл. Подпись и дата

Имя	Лист	№ документа	Подпись	Дата
Разраб.		Можайко А. Н.		
Прое.		Басарнова М. И.		
Т. контр.				
Н. контр.				
Утв.				



Зона	Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
		<u>Конденсаторы</u>		
	C1	K53-1-20 В -10 мкФ ОЖ0.464.023 ТУ	1	
		<u>Резисторы</u>		
	R1	C2-31-0,125-1 кОм $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R2	C2-31-0,125-16 кОм $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R3	C2-31-0,125-8,2 кОм $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R4	C2-31-0,125-470 Ом $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R5	C2-31-0,125-1,6 кОм $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R6	C2-31-0,125-300 Ом $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R7	C2-31-0,125-5,1 кОм $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R8	C2-31-0,125-1,1 кОм $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R9	C2-31-0,125-1 кОм $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	VT1, VT2	Транзистор КТ316Б С50.336.030 ТУ	2	
	XP1	Гнездовой разъем ПЛС-6-2,5 РБ0.355.020 ТУ	1	

КНФУ.656678.001 ПЭЗ

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
Разработ		Можайнов А. Н.		
Прок.		Басуржнов М. И.		
Н. контр.				
Узна				

Усилитель  
постоянного тока  
Перечень элементов

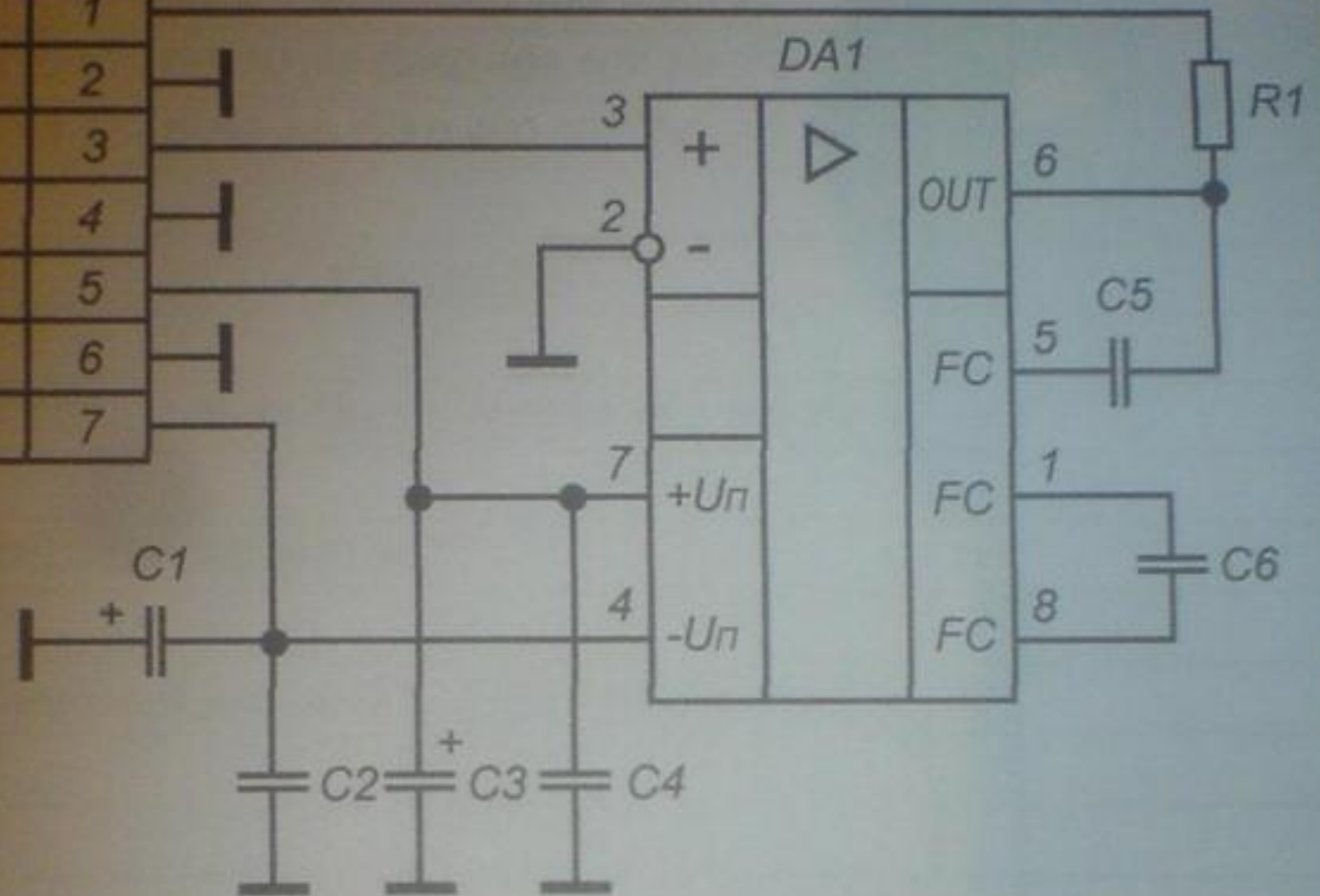
Лист	Лист	Листов
		1

МарГТУ ЗРРТ-31у



XP1

Цепь	Конт.
Выход	1
Общий	2
Вход	3
Общий	4
+ 12 В	5
Общий	6
- 12 В	7



КНФУ.656680.001 ЭЗ

Усилитель постоянного тока на ИМС  
 Схема электрическая  
 принципиальная

Лист	Масса	Масштаб

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
Разработчик		Момин А. Н.		
Проектировщик		Бастриков М.И.		
Т. контр.				
Н. контр.				
Удл.				

Лист	Листов 1
------	----------

МарГТУ ЗРРТ-31у



Зона	Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
		<u>Конденсаторы</u>		
	C1	K53-1-20 В-10 мкФ ОЖ0.464.023 ТУ	1	
	C2	K10-17-Н50-0,1 мкФ ОЖ0.460.107 ТУ	1	
	C3	K53-1-20 В-10 мкФ ОЖ0.464.023 ТУ	1	
	C4	K10-17-Н50-0,1 мкФ ОЖ0.460.107 ТУ	1	
	C5	K10-17-П33-10 пФ ОЖ0.460.107 ТУ	1	
	C6	K10-17-П33-3 пФ ОЖ0.460.107 ТУ	1	
		<u>Резисторы</u>		
	R1	C2-31-0,125-51 Ом $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	DA1	K153УД1 БК0.347.030 ТУ	1	
	XP1	Гнездовой разъем ППС-7-2,5 РБ0.368.010 ТУ	1	

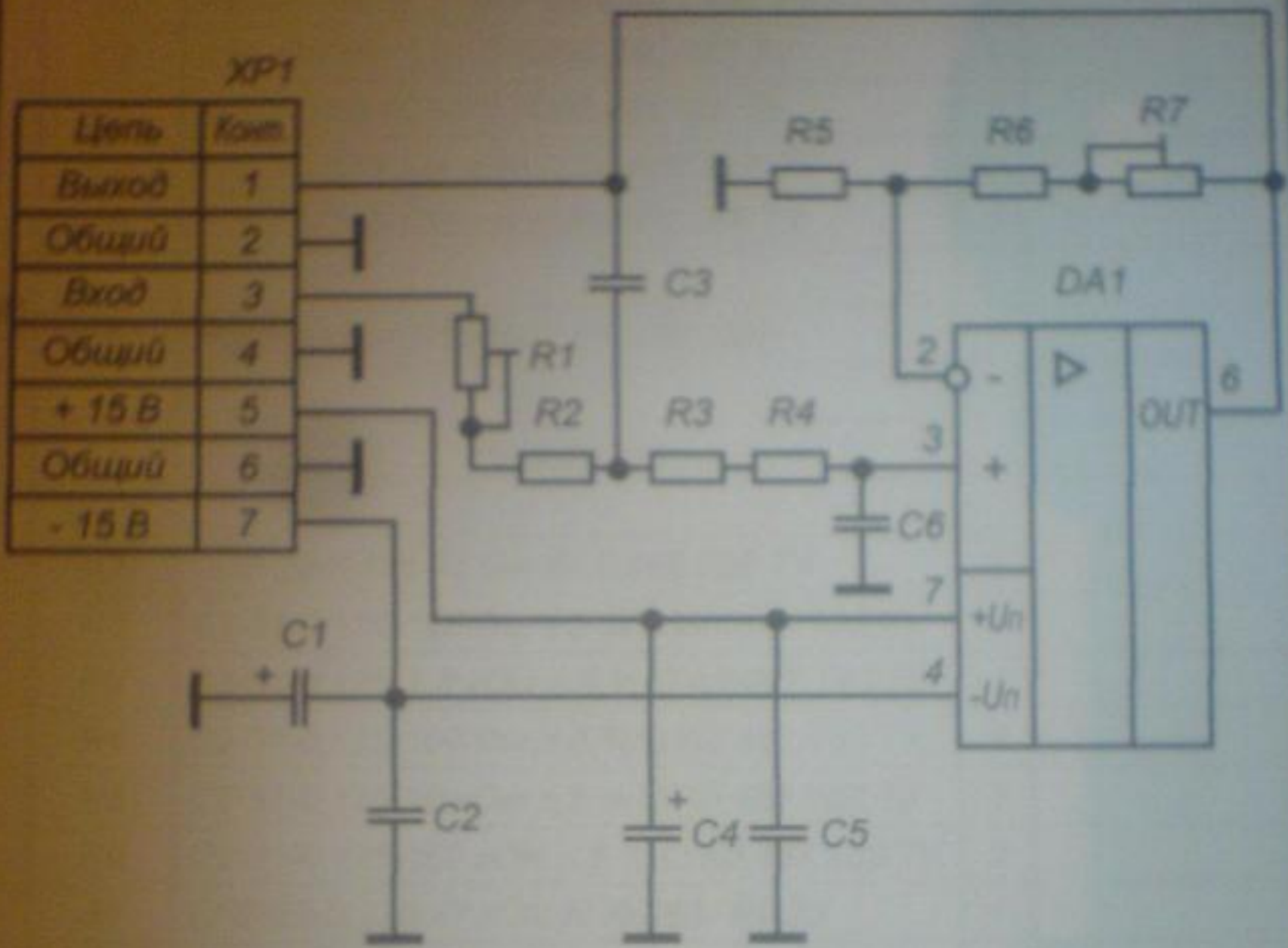
КНФУ.656680.001 ПЭЗ

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
Разработ.		Моминев А. Н.		
Проект.		Баспривалов М. И.		
Н. контрол.				
Узна.				

Усилитель постоянного  
тока на ИМС  
Перечень элементов

Лит.	Лист	Листов
		1
МарГТУ ЗРРТ-31у		





КНФУ.654622.001 ЭЗ

Фильтр нижних частот на ОУ  
 Схема электрическая принципиальная

Имя	Лист	№ документа	Подпись	Дата
Разраб		Мажинко А.Н.		
Прош		Батрашова В.И.		
Т. контр				
Н. контр				
Умд				

Лист	Масса	Максимум
Лист	Листов 1	

МарГТУ ЗРРТ-31у



Зач.	ГЛОЗ. ОБОЗН.	Наименование	Кол.	Примечание
		<u>Конденсаторы</u>		
	C1	K53-1-20 В-10 мкФ ОЖ0.464.023 ТУ	1	
	C2	K10-17-Н50-0,1 мкФ ОЖ0.460.107 ТУ	1	
	C3	K10-17-П33-3,9 нФ ОЖ0.460.107 ТУ	1	
	C4	K53-1-20 В-10 мкФ ОЖ0.464.023 ТУ	1	
	C5	K10-17-Н50-0,1 мкФ ОЖ0.460.107 ТУ	1	
	C6	K10-17-П33-470 пФ ОЖ0.460.107 ТУ	1	
	DA1	Микросхема К154УД2 БК0.347.036	1	
		<u>Резисторы</u>		
	R1	СП5-22-0,125-22 Ом АС0.468.006 ТУ	1	
	R2	С2-31-0,125-180 Ом ± 5 % ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R3	С2-31-0,125-1,8 кОм ± 5 % ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R4	С2-31-0,125-100 Ом ± 5 % ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R5	С2-31-0,125-10 кОм ± 5 % ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R6	С2-31-0,125-100 кОм ± 5 % ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R7	СП5-22-0,125-47 кОм АС0.468.006 ТУ	1	
	XP1	Гнездовой разъем ПЛС-7-2,5 РБ0.355.020 ТУ	1	

КНФУ.654622.001 ПЭЗ

Иск.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
Разраб.		Мошинов А. Н.		
Проект.		Белтракова М.И.		
Н. контр.				
Уте.				

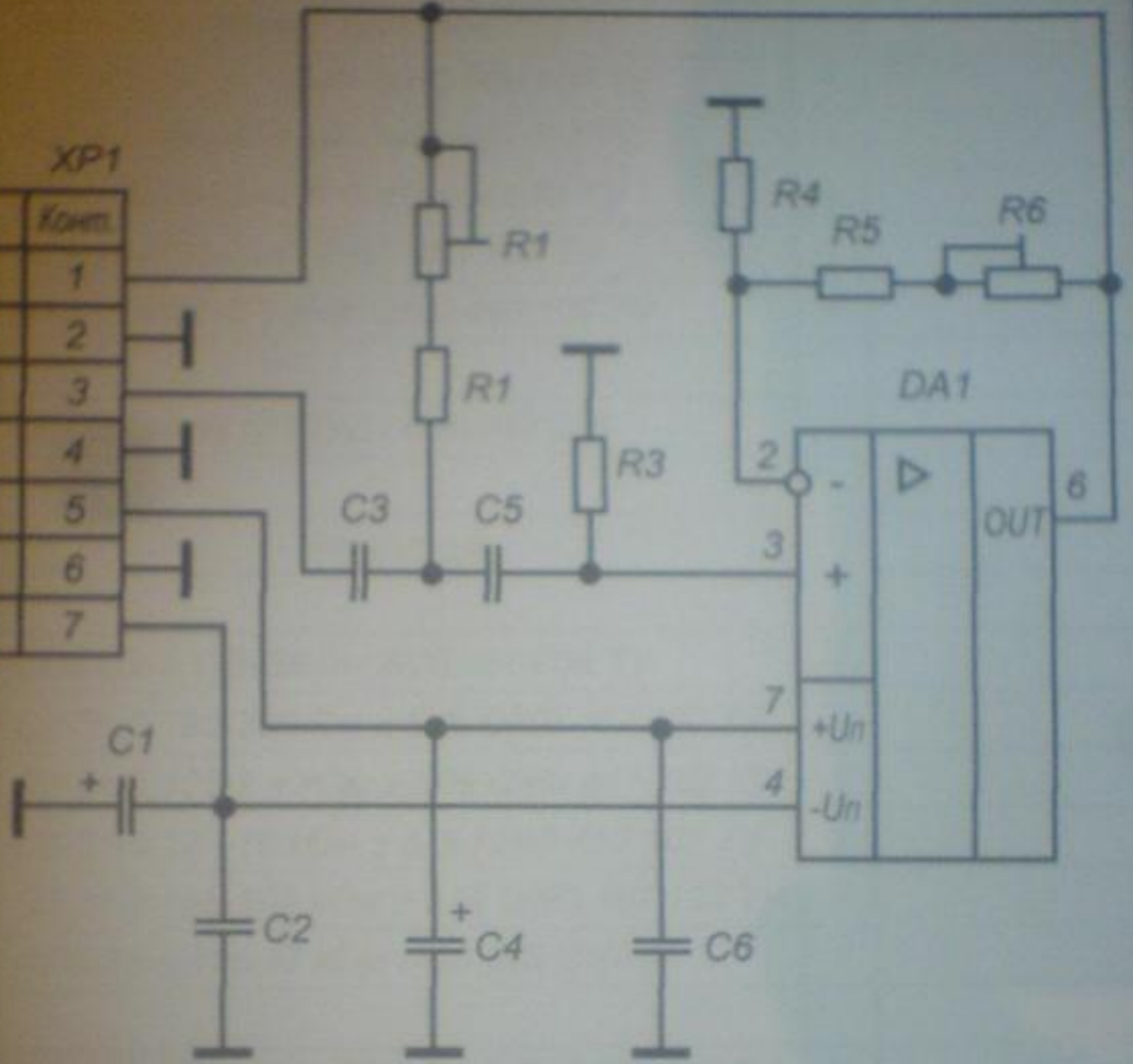
Фильтр нижних  
частот на ОУ  
Перечень элементов

Лит.	Лист	Листов
		1

МарГТУ ЗРРТ-31у



XP1	
Цепь	Конт.
Выход	1
Общий	2
Вход	3
Общий	4
+ 15 В	5
Общий	6
- 15 В	7



КНФУ.654644.001 ЭЗ

Фильтр верхних частот на ОУ  
 Схема электрическая принципиальная

Лист	Масса	Масштаб
Лист	Листов 1	

Изм.	Лист	на документе	Подпись	Дата
Разраб.		Можайский А. И.		
Проект		Богданович В. И.		
Т. контрол.				



Зона	Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
		<u>Конденсаторы</u>		
	C1	K53-1-20 B-10 мкФ ОЖ0.464.023 ТУ	1	
	C2	K10-17-H50-0,1 мкФ ОЖ0.460.107 ТУ	1	
	C3	K10-17-П33-470 пФ ОЖ0.460.107 ТУ	1	
	C4	K53-1-20 B-10 мкФ ОЖ0.464.023 ТУ	1	
	C5	K10-17-П33-2 нФ ОЖ0.460.107 ТУ	1	
	C6	K10-17-H50-0,1 мкФ ОЖ0.460.107 ТУ	1	
	DA1	Микросхема К154УД2 БК0.347.036	1	
		<u>Резисторы</u>		
	R1	СП5-22-0,125-22 Ом АС0.468.006 ТУ	1	
	R2	С2-31-0,125-300 Ом $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R3	С2-31-0,125-2,4 кОм $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R4	С2-31-0,125-10 кОм $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R5	С2-31-0,125-100 кОм $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R6	СП5-22-0,125-47 кОм АС0.468.006 ТУ	1	
	XP1	Гнездовой разъем ППС-7-2,5 РБ0.355.020 ТУ	1	

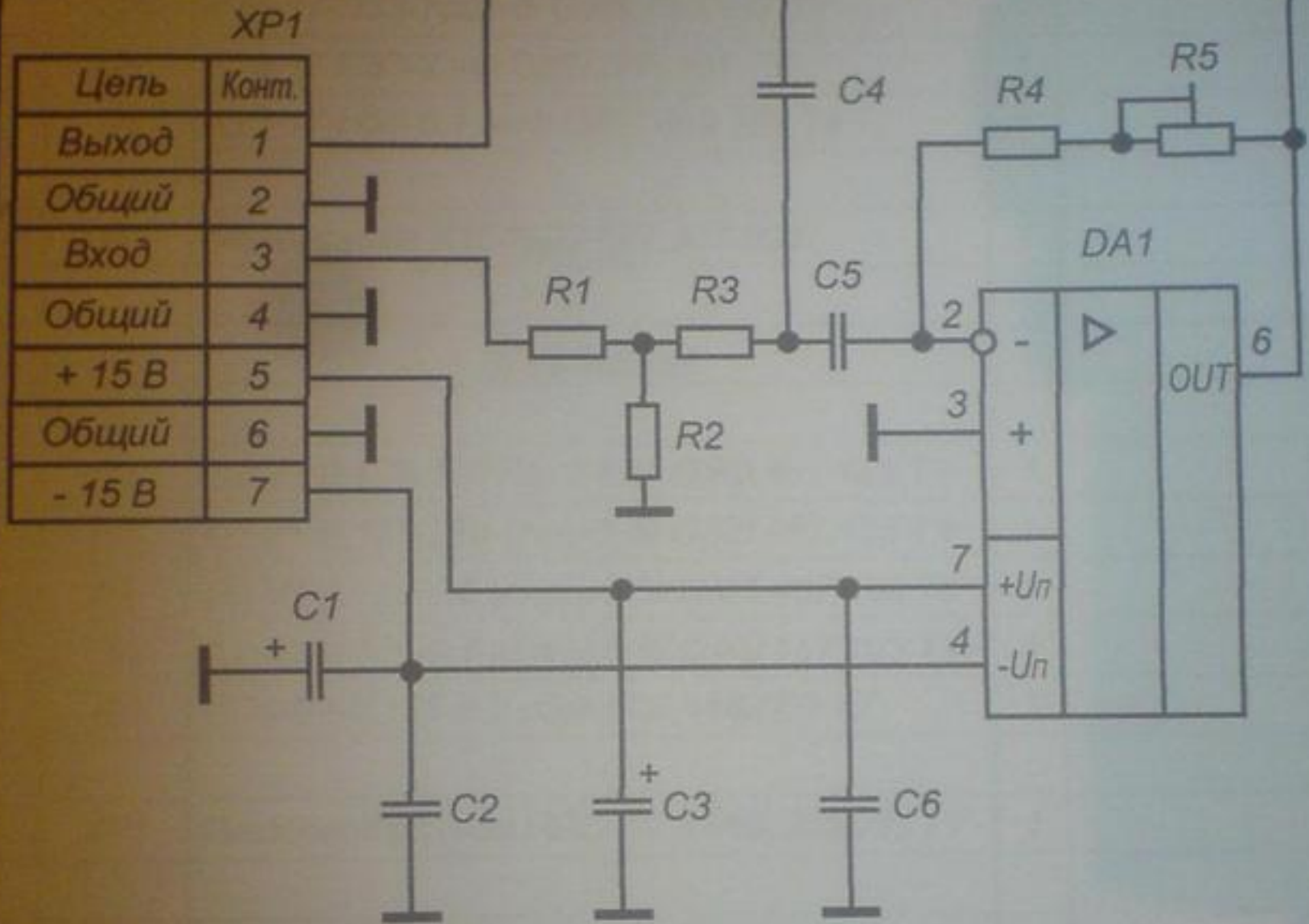
КНФУ.654644.001 ПЭЗ

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
Разраб.		Молчанов А. Н.		
Проект		Бакстремов МИ		
Н. контр.				
Упр.				

Фильтр верхних  
частот на ОУ  
Перечень элементов

Лит.	Лист	Листов
		1
МарГТУ ЗРРТ-31у		





Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
Разраб.		Моминюв А. Н.		
Пров.		Бастракова М.И.		
Т. контр.				
Н. контр.				
Утв.				

КНФУ.654665.001 Э3

Полосно-пропускающий  
фильтр на ОУ  
Схема электрическая  
принципиальная

Лит.	Масса	Масштаб
Лист	Листов 1	



Зона	Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
		<u>Конденсаторы</u>		
	C1	K53-1-20 B-10 мкФ ОЖ0.464.023 ТУ	1	
	C2	K10-17-H50-0,1 мкФ ОЖ0.460.107 ТУ	1	
	C3	K53-1-20 B-10 мкФ ОЖ0.464.023 ТУ	1	
	C4	K10-17-П33-750 пФ ОЖ0.460.107 ТУ	1	
	C5	K10-17-П33-2 нФ ОЖ0.460.107 ТУ	1	
	C6	K10-17-H50-0,1 мкФ ОЖ0.460.107 ТУ	1	
	DA1	Микросхема K154УД2 БК0.347.036	1	
		<u>Резисторы</u>		
	R1	C2-31-0,125-100 Ом $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R2	C2-31-0,125-220 Ом $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R3	C2-31-0,125-1,6 кОм $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R4	C2-31-0,125-9,1 кОм $\pm 5\%$ ОЖ0.467.103 ТУ	1	
	R5	СП5-22-0,125-2,2 кОм АС0.468.006 ТУ	1	
	XP1	Гнездовой разъем ПЛС-7-2,5 РБ0.355.020 ТУ	1	

КНФУ.654665.001 ПЭЗ

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
Разраб.		Молчанов А. Н.		
Прое.		Богатрикова М.И.		
Н. контр.				
Утв.				

Полосно-пропускающий  
фильтр на ОУ  
Перечень элементов

Лит.	Лист	Листов
		1

МарГТУ ЗРРТ-31у



## 2 Усилитель постоянного тока в интегральном исполнении

Для выбора усилителя постоянного тока в интегральном исполнении вычислим некоторые параметры усилителя.

При выборе микросхемы необходимо также учитывать, чтобы в типовом включении обеспечивались параметры:

- напряжение питания, В ..... 12;
- приращение входного напряжения, мВ..... 12;
- приращение выходного напряжения, В..... 6;
- выходное напряжение в режиме покоя, В.....0.

В качестве интегрального усилителя постоянного тока по результатам обзора выберем [7, стр. 8 - 13] микросхему К153УД1.

Микросхема К153УД1

представляет собой операционный усилитель среднего класса точности. Характеризуется высоким коэффициентом усиления напряжения, малым напряжением смещения нуля, большим входным и малым выходными сопротивлениями. Выполнена по планарно-эпитаксиальной технологии на биполярных транзисторах с изоляцией элементов обратными смещенными  $p-n$  переходами. Общее число инте-

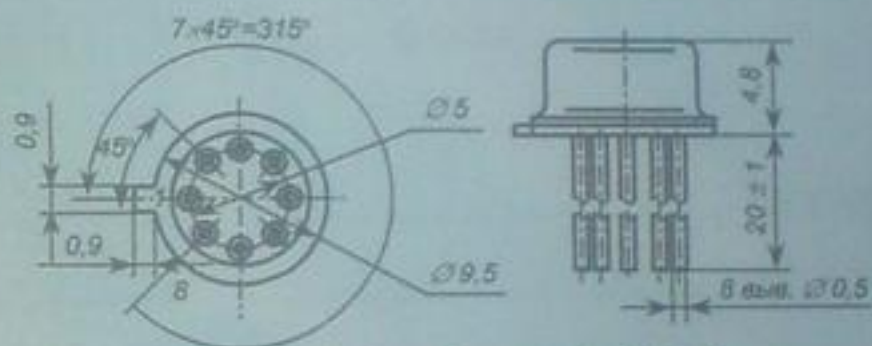


Рисунок 2.1 - Корпус 301.8-2

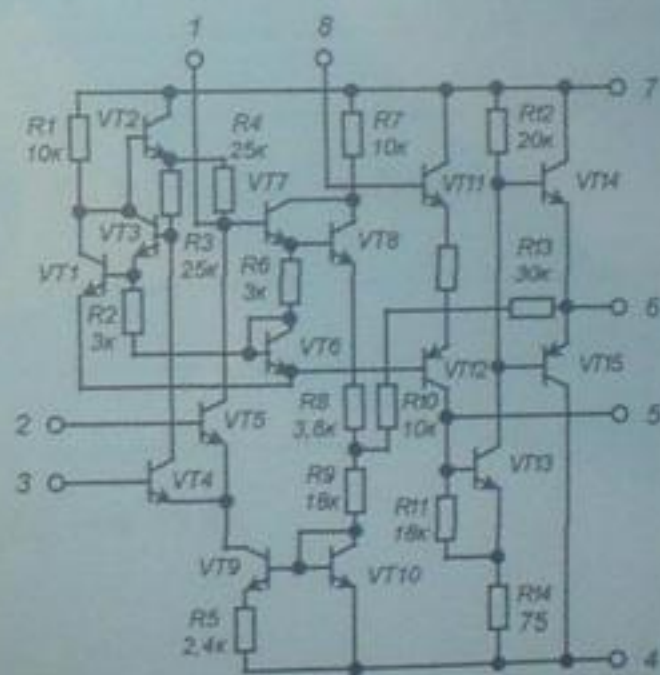


Рисунок 2.2 - Принципиальная электрическая схема К153УД1



гральных элементов 29. Корпус типа 301.8-2 (рис. 2.1). Масса не более 1,5 г.

Назначение выводов: 1, 5, 8 - для подключения цепей частотной коррекции; 2 - инвертирующий вход; 3 - не инвертирующий вход; 4 - напряжение питания ( $-U_{II}$ ); 6 - выход; 7 - напряжение питания ( $+U_{II}$ ).

### Основные параметры

Номинальное напряжение питания (двухполярное) .....  $\pm 15$  В.

Ток потребления при  $U_{II} = \pm 16,8$  В,  $R_{II} \geq 10$  кОм, не более:

$T = +25$  и  $+85$  °С ..... 6 мА;

$T = -45$  °С ..... 8 мА.

Максимальное выходное напряжение при  $U_{II} = \pm 15$  В,

$U_{ВХ} \geq 0,1$  В, не менее:

$T = +25$  °С .....  $\pm 10$  В;

$T = +85$  и  $-45$  °С .....  $\pm 9$  В.

Напряжение смещения нуля при  $U_{II} = \pm 16,5$  В,  $R_{II} \geq 10$  кОм,

$R_I \leq 10$  кОм, не более:

$T = +25$  °С ..... 7,5 мВ;

$T = +85$  и  $-45$  °С ..... 10 мВ.

Входной ток при  $U_{II} = \pm 16,5$  В,  $R_{II} \geq 10$  кОм, не более:

$T = +25$  °С ..... 1,5 мкА;

$T = +85$  °С ..... 1,8 мкА;

$T = -45$  °С ..... 2,0 мкА.

Разность входных токов при  $U_{II} = \pm 16,5$  В,  $R_{II} \geq 10$  кОм, не более:

$T = +25$  °С ..... 0,5 мкА;

$T = +85$  °С ..... 0,75 мкА;

$T = -45$  °С ..... 1,0 мкА.

Коэффициент усиления напряжения при  $U_{II} = \pm 15$  В,

$U_{ВЫХ} = \pm 8$  В,  $R_{II} = 2$  кОм, не менее:

$T = +25$  °С .....  $1,5 \cdot 10^4$ ;

$T = +85$  и  $-45$  °С .....  $9 \cdot 10^3$ .



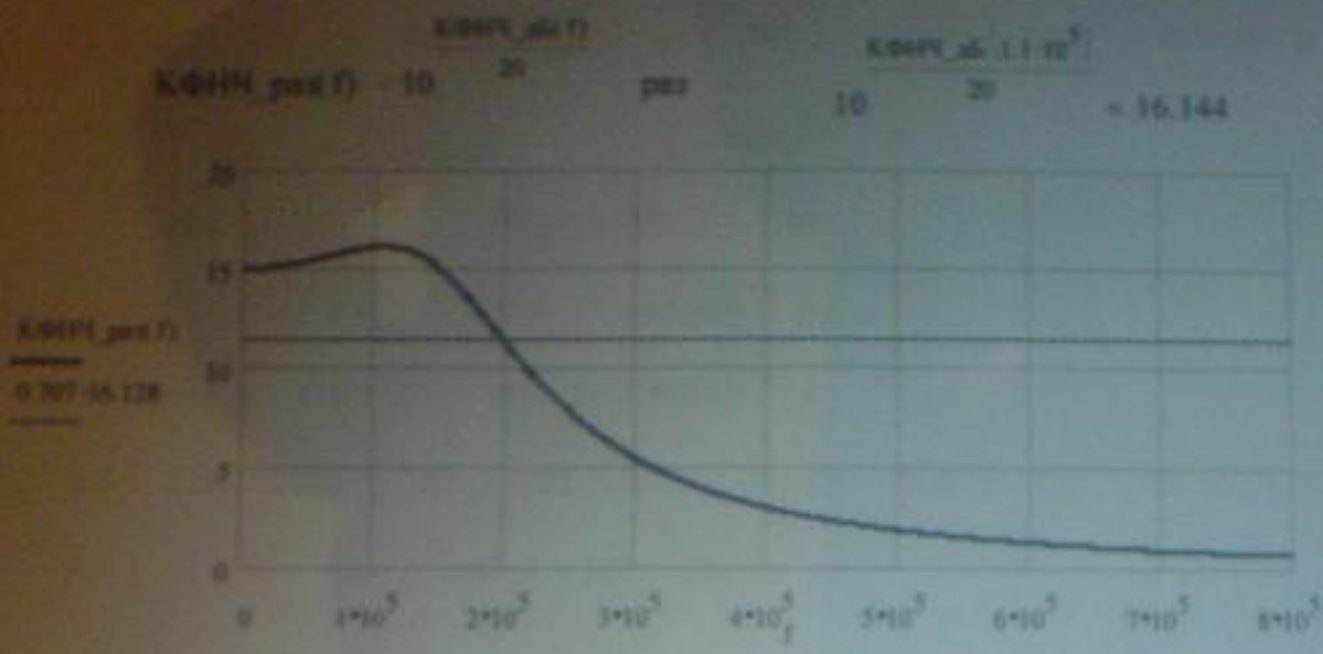


Рисунок 3.3 – АЧХ ФНЧ для коэффициента передачи в размах

Таким образом, рассчитанные значения элементов:  $R_{1.1} = 180 \text{ Ом}$ ;  $R_{1.2} = 22 \text{ Ом}$ ;  $R_{2.1} = 1,8 \text{ кОм}$ ;  $R_{2.2} = 100 \text{ Ом}$ ;  $R_3 = 10 \text{ кОм}$ ;  $R_4 = 140 \text{ кОм}$ ;  $C_1 = 3,9 \text{ нФ}$ ;  $C_2 = 470 \text{ пФ}$ .

Рассчитаем мощности, рассеивающиеся на резисторах используя законы Ома и Кирхгофа с помощью программы MathCad. При расчетах полагаем:

1). максимальное выходное напряжение на выходе операционного усилителя составляет не более 10 В при напряжении питания  $\pm 15 \text{ В}$ ;

2). при коэффициенте передачи ОУ равное 15, максимальное входное напряжение  $U_{вх} = \frac{U_{вых}}{K_U} = \frac{10}{15} = 0,75 \text{ В}$ .



### 3.3 Полосовой фильтр

Для выделения сравнительно узкой полосы частот, близкой к единице отношения  $f_c/f_{\pm}$ , требуется высокое значение добротности  $Q$ , нередко свыше 10. В таких случаях удобен фильтр (рис. 3.7), характеризующийся следующими параметрами:

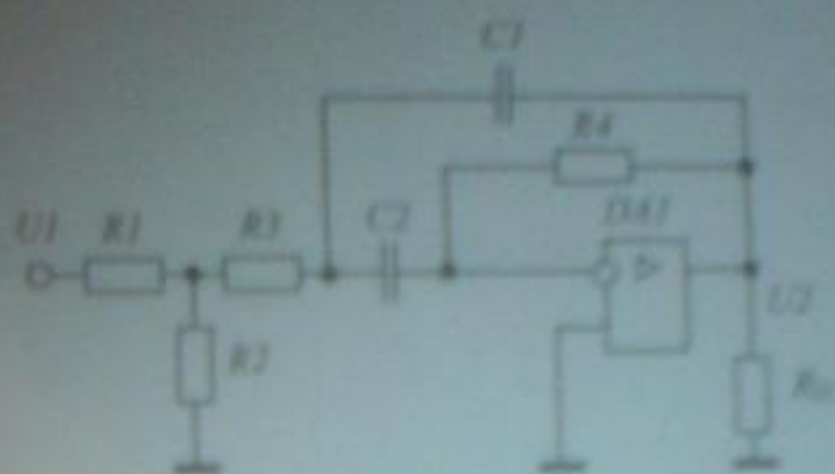


Рисунок 3.7 - Схема резонансного полосового фильтра

$$K_{\omega} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{k_2 R_3}{R_{\Sigma}} \quad (3.17)$$

$$k_2 = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \quad (3.18)$$

$$R_{\Sigma} = R_2 \parallel (R_1 + R_3) + k_2 R_1 + R_4 \quad (3.19)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_1 R_1 C_2 R_3}} \quad (3.20)$$

$$Q = \sqrt{\frac{C_1 R_3}{C_2 R_2}} \quad (3.21)$$

Дополнительно введенные резисторы  $R_1$  и  $R_2$  придает устройству большую гибкость в смысле реализации требований, предъявляемых к коэффициенту усиления и добротности.

Число неизвестных параметров превышает число уравнений на два, поэтому двум из неизвестных следует придать числовые значения.

Выбирая  $R_1 = 1 \text{ кОм}$ ,  $R_2 = 10 \text{ кОм}$ ,  $C_1/C_2 = 0,5$ , с помощью равенства (3.14) находим



### 3.3 Полосовой фильтр

Для выделения сравнительно узкой полосы частот, близкой к единице отношения  $f_{C2}/f_{C1}$ , требуется высокое значение добротности  $Q$ , нередко свыше 10.

В таких случаях удобен фильтр (рис. 3.7), характеризуемый следующими параметрами:

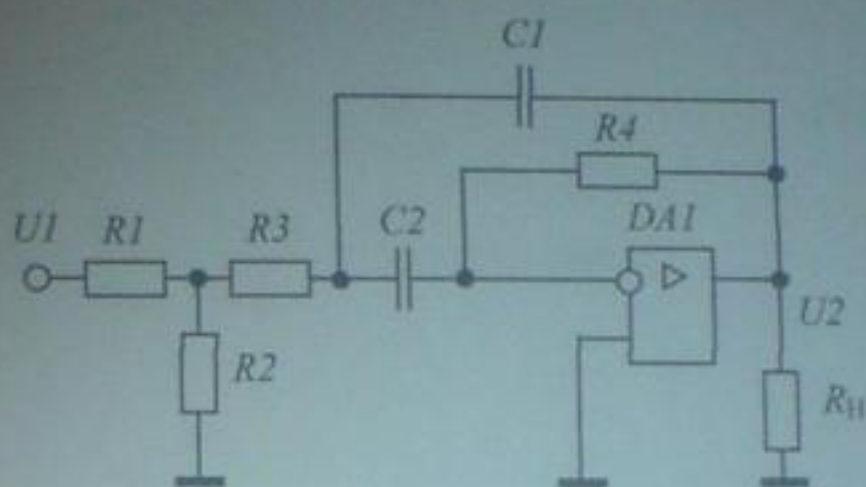


Рисунок 3.7 - Схема резонансного полосового фильтра

$$K_{\phi} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{k_{\text{д}} R_4}{R_{12}}, \quad (3.17)$$

$$k_{\text{д}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad (3.18)$$

$$R_{12} = R_1 \parallel R_2 + R_3 = k_{\text{д}} R_1 + R_3, \quad (3.19)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_1 R_{12} C_2 R_4}}, \quad (3.20)$$

$$Q = \sqrt{\frac{C_1 R_4}{C_2 R_{12}}}, \quad (3.21)$$

Дополнительно введенные резисторы  $R_1$  к  $R_2$  придают устройству большую гибкость в смысле реализации требований, предъявленных к коэффициенту усиления и добротности.

Число неизвестных параметров превышает число уравнений на два, поэтому двум из неизвестных следует придать числовые значения.

Выбирая  $R_1 = 1$  кОм,  $R_4 = 10$  кОм,  $C_1/C_3 = 0,5$ , с помощью равенства (3.14) находим