

В данной работе была разработана структурная схема (рисунок 1) для предобработки сигнала (напряжение батарейки может варьироваться от 2В до 3В), полученного с фотодиода, предложена элементная база и проведено моделирование полученной схемы и произведен расчет потребляемого тока от источника питания.

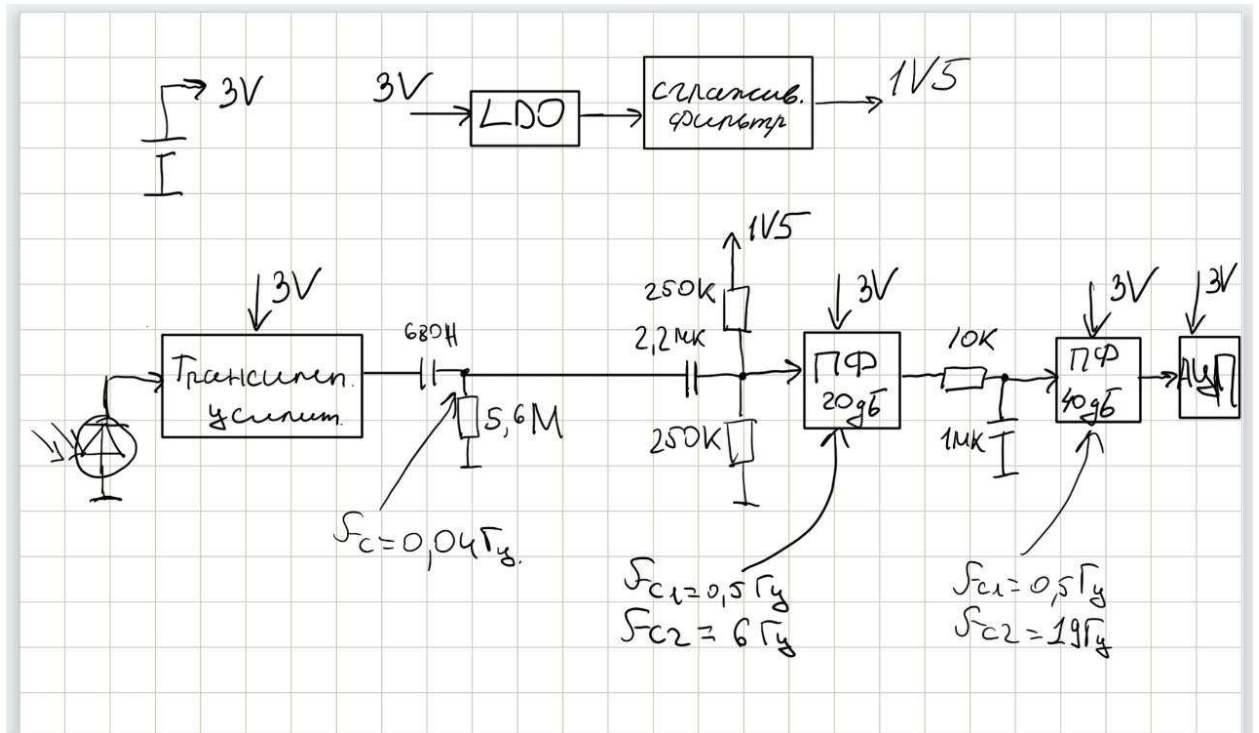


Рисунок 1 – Структурная схема устройства

За фотодиод принята эквивалентная ему схема, приведенная на рисунке 2.

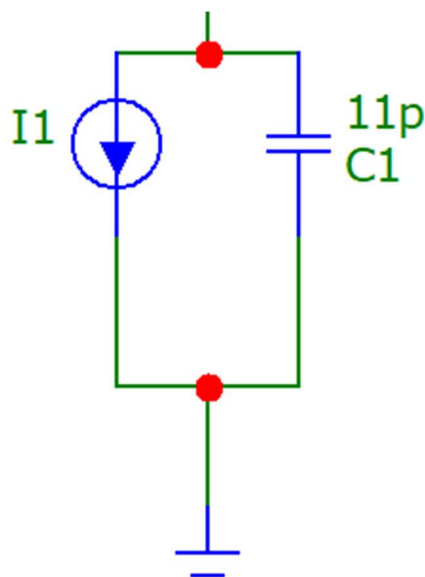


Рисунок 2 – Эквивалентная модель фотодиода

Были найдены два фотодиода, который подходит под требования задачи ( $\lambda = 940 \text{ нм}$ ):

1) SFH2703(Data Sheet прикреплен в письме), главным его достоинством является низкая цена (можно купить в России за 270р ChipDip) и теневого ток от 0.1нА (обычно) и 5нА (максимум), также он имеет низкий профиль, что в положительную сторону будет влиять на итоговые габариты печатной платы.

2) SD0003-3111-111(Data Sheet прикреплен в письме) он обладает более низким теневым током 0.05нА (обычно) и 1нА (максимум), отличается высокой чувствительностью и низким уровнем шума. Собран в корпусе ТО - 46. Продается на Digi-key за 16\$.

В эквивалентной схеме фотодиода, для дальнего моделирования, примем постоянное смещение тока равное 2мА и переменную составляющую, которая будет меньше в 2000 раз, равной 1нА (сигнал синусоидальный с частой 1Гц). На рисунке 3 представлен непосредственно сигнал с эквивалентной модели.

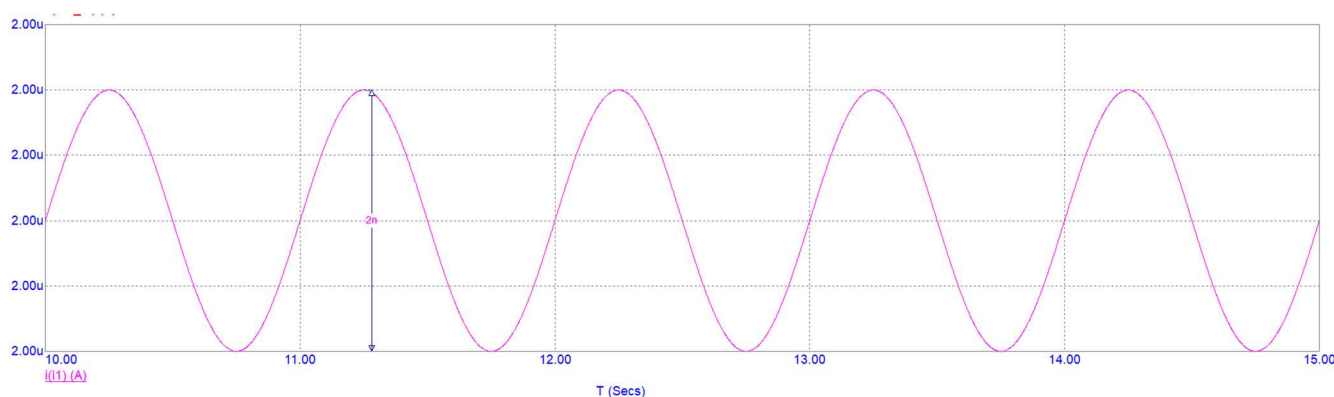


Рисунок 3 – Сигнал (ток), генерируемый эквивалентной моделью фотодиода

Далее данный сигнал подается на трансимпедансный усилитель на основе ОУ (ОРА333 (Data Sheet прикреплен в письме)), напряжение питания ОУ берется от батарейки 3В. Во всех каскадах будет использоваться данный ОУ, его главными достоинствами являются:

1. Rail-to-Rail Вход/Выход;
2. Минимальное напряжение питания 1,8 В (однополярное);
3. Шум от 0.01 до 10 Гц – 1,1 мкВ, дрейф близок к нулю;
4. Подходит для работы с однополярным питанием;

5. Доступен в России (300p ChipDip).

На рисунке 4 представлена схема данного усилителя. Необходимо учитывать входной ток смещения операционного усилителя. Его величина растет с увеличением температуры. Для компенсации входного тока смещения был добавлен резистор R1 и конденсатор C2. Итоговый коэффициент преобразования тока в напряжение определяется резистором R2. Далее напряжения фильтруется с помощью ФВЧ с частотой среза 0.04 Гц, чтобы удалить постоянную составляющую.

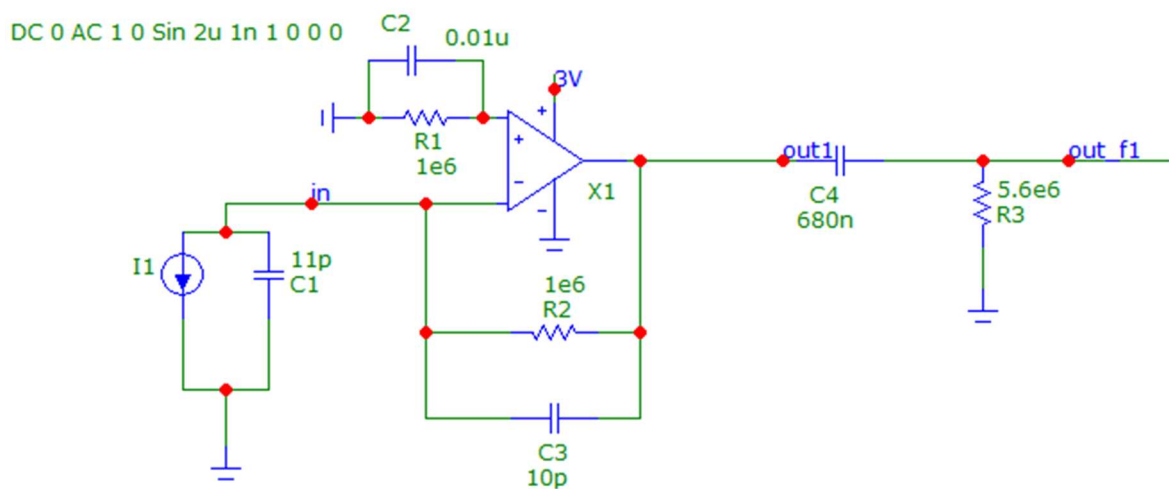


Рисунок 4 – Схема трансимпедансного усилителя на ОУ с ФВЧ

На рисунке 5 представлен выходной сигнал со схемы трансимпедансного усилителя (ТУ) на ОУ с ФВЧ.

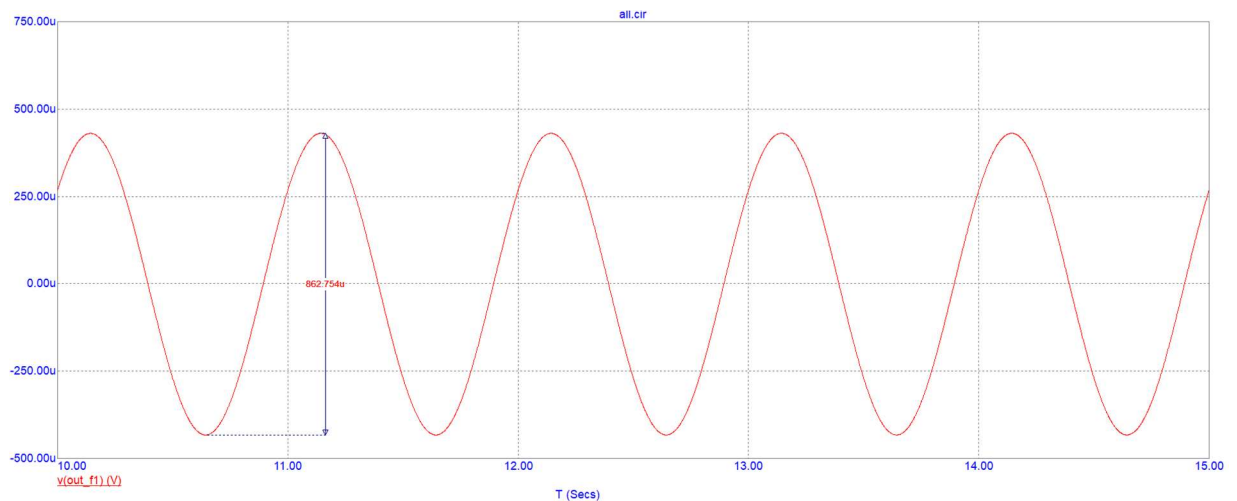


Рисунок 5 – Выходной сигнал с ТУ на ОУ с ФВЧ

Далее сигнал подается на полосовой фильтр, уровень сигнала регулируется с помощью схемы смещения на основе LDO TPS7A0215 (Data Sheet прикреплен в письме). Схема представлена на рисунке 6.

Достоинствами данного LDO являются:

- 1) Возможность покупки в России (360p ChipDip);
- 2) Сверхнизкий ток покоя ( $I_q = 25 \text{ нА}$ );
- 3) Обеспечивает точность в 1,5% по температуре;
- 4) Возможно перевести в режим отключения, ток понижается до 3 нА;
- 5) При питании от 2В до 3В обеспечивает напряжения на выходе 1,5В (падение напряжение 490 мВ).

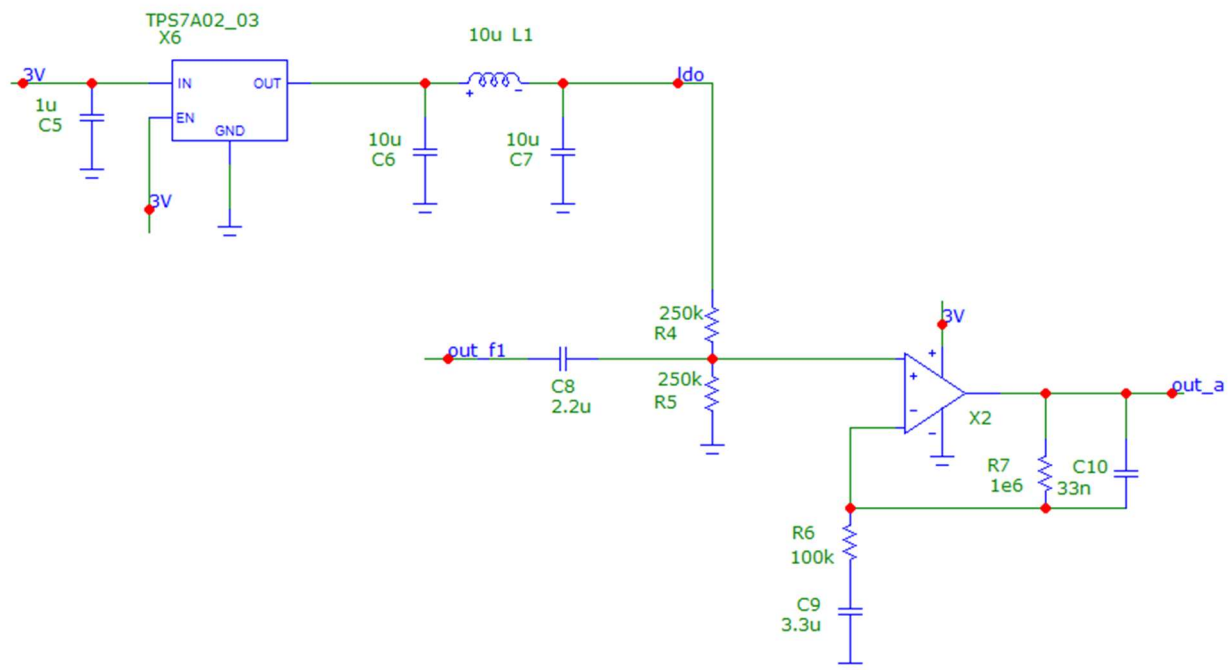


Рисунок 6 – Схема смещения на основе LDO и полосовой фильтр на ОУ

Данное LDO требуется для стабильного напряжения смещения, стабилизация до 1,5 В будет происходить, пока напряжение на батарее не упадет с 3 В до 2 В.

На выходе LDO установлен сглаживающий фильтр, частота среза которого  $f_c = \frac{1}{\pi\sqrt{L(C_6+C_7)}} = 22,5 \text{ кГц}$ .

Конденсатор C8 и резисторы R4, R5 образуют ФВЧ с частотой среза  $f_c = 0,58$  Гц. А также R4 и R5 образуют делитель на 2 выходного напряжения с LDO, т.е. напряжение смещения средней точки равняется 0,75 В.

Далее на основе ОУ (X2) реализован полосовой фильтр с коэффициентов усиления 20дБ и частотами среза  $f_{c1} = 0,5$  Гц,  $f_{c2} = 6$  Гц . На рисунке 7 представлена АЧХ данного фильтра, а на рисунке 8 выходной сигнал с данного каскада.

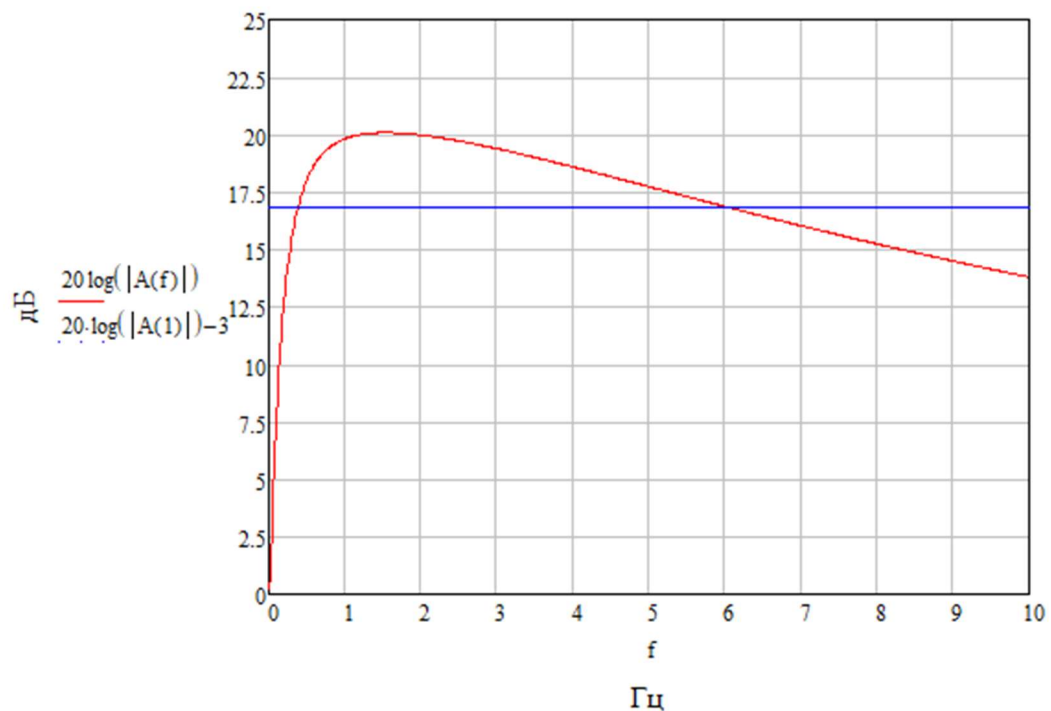


Рисунок 7 – АЧХ полосового фильтра на ОУ (X2) с усилением 20дБ

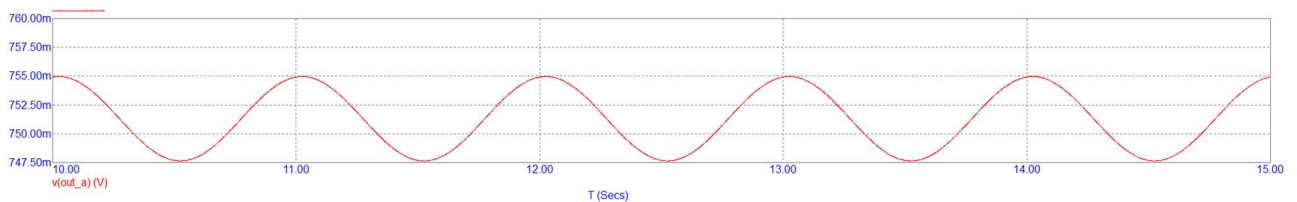


Рисунок 8 – Выходной сигнал с фильтра на ОУ (X2) с усилением 20дБ

Далее сигнал поступает на ФНЧ (R8 и C11) с  $f_c = 16$  Гц. Потом сигнал идет на следующий каскад усиления с усилением 40дБ и частотами среза  $f_{c1} = 0,5$  Гц,  $f_{c2} = 19$  Гц, представленный на рисунке 9.

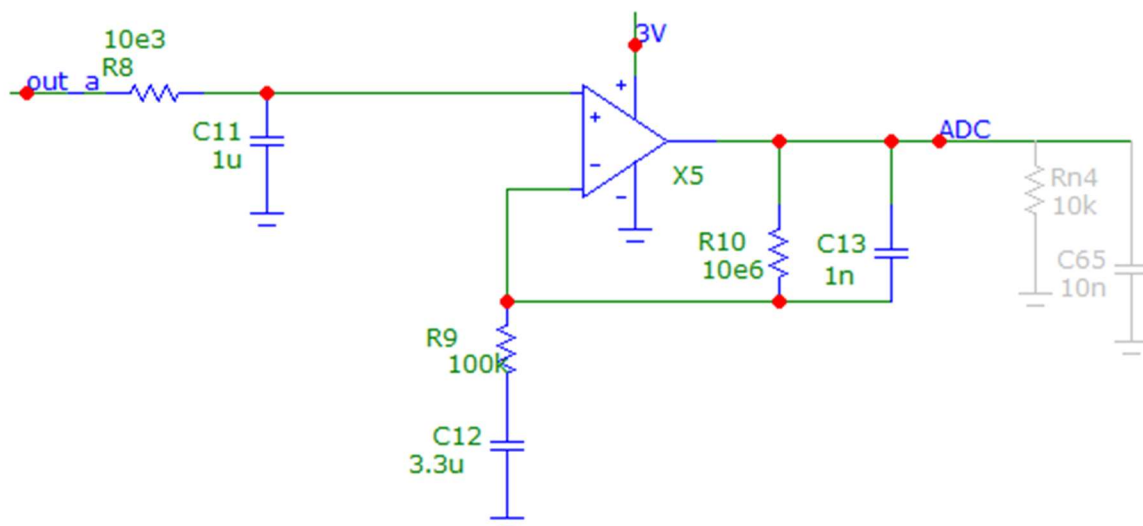


Рисунок 9 – Полосовой фильтр на основе ОУ(X5) с усилением 40дБ

На рисунке 10 представлена АЧХ данного каскада усиления, а на рисунке 11 сигнал на выходе данного каскада, который будет подаваться на АЦП.

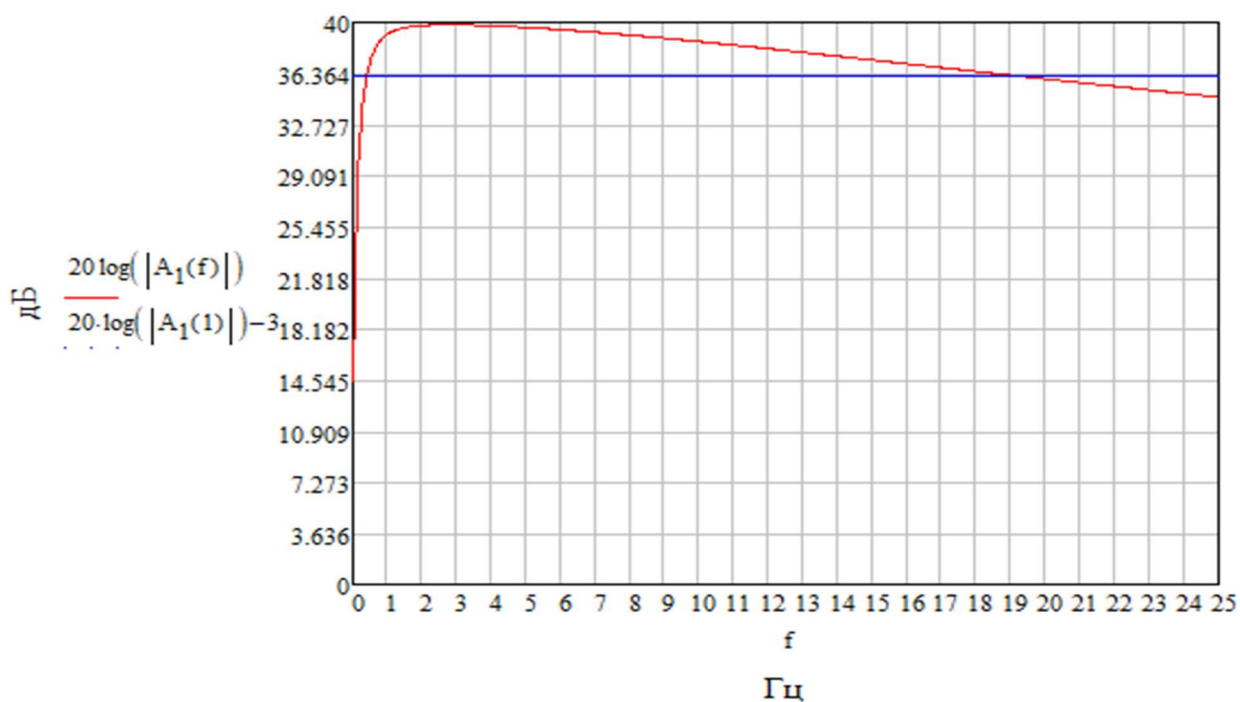


Рисунок 10 – АЧХ полосового фильтра на ОУ(X5) с усилением 40дБ

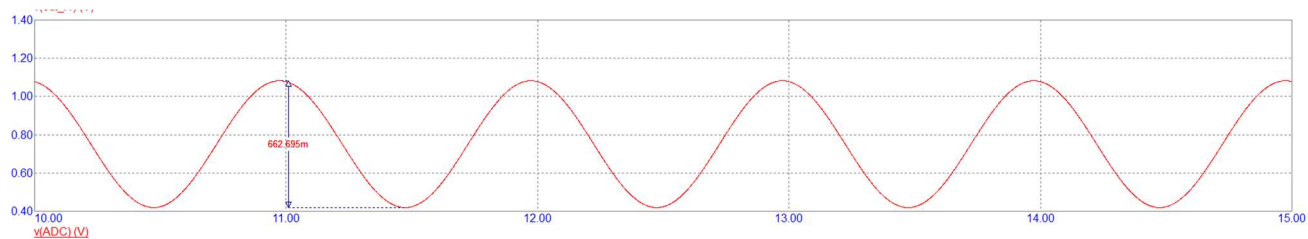


Рисунок 11 – Выходной сигнал с фильтра на ОУ (X5) с усилением 40дБ, который подается на АЦП

Из рисунка 11 делаем вывод, что размах синусоиды равен 662 мВ, а постоянное, которое мы задали с помощью схемы смещения средней точки, 750 мВ. Данный диапазон является удовлетворительным для дальнейшей оцифровки.

На рисунке 12 представлен выходной сигнал с учетом изменения напряжения батарейки с 3В до 2В с шагом 50мВ. Из данного графика делаем вывод, что диапазон выходного напряжения изменяется незначительно при приближении заряда батареи к 2В.



Рисунок 12 – Выходной сигнал с учетом изменения напряжения батарейки с 3В до 2В с шагом 50мВ

Произведем расчет потребляемого тока.

- 1) Для ОУ ОРА333: ток потребления лежит в диапазоне 17-25 мкА (примем  $I_{oy} = 25 \text{ мкА}$ );
- 2) LDO TPS7A0215:  $I_{LDO} = 25 \text{ нА}$ ;



3) Добавим на выходе каждого каскада резистор 0,01 Ом и посмотрим какой ток будет на нем (на рисунке 13 они выделены красным цветом).

4) В данном расчете не будет учитываться ток на выходе каскада усиления 40дБ, поскольку его выход будет подключен к АЦП и уже в дальнейшем надо будет учитывать его.

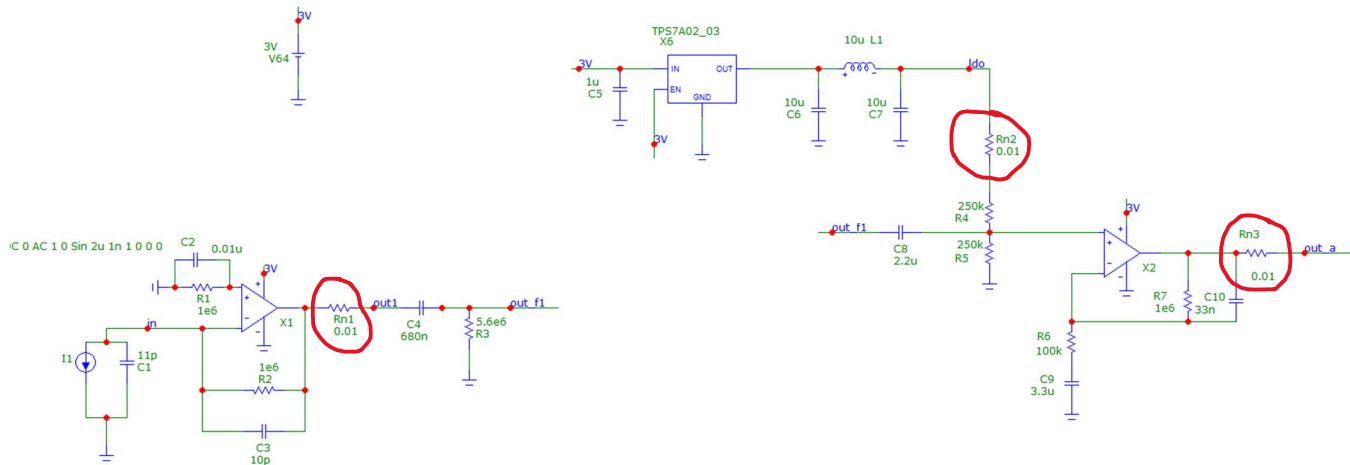


Рисунок 13 – Оценка потребляемого тока на каждом из каскадов

На рисунке 14 представлены графики изменения тока на резисторах Rn1-Rn3. Делаем вывод, что среднее значение тока на  $I_{Rn1} = 3,2$  нА,  $I_{Rn2} = 3$  мкА,  $I_{Rn3} = 12$  нА.

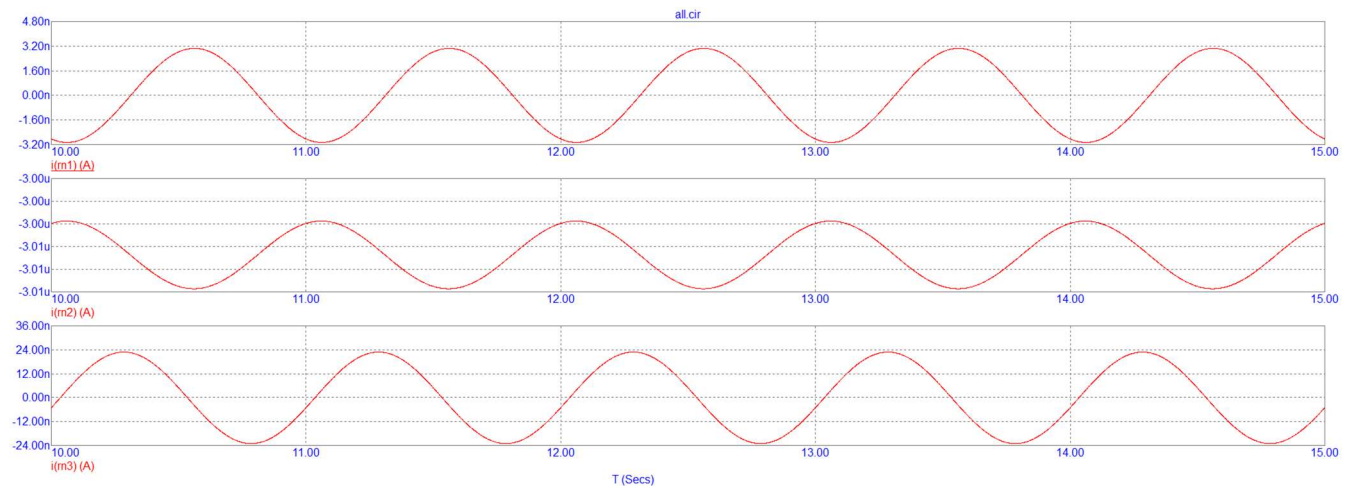


Рисунок 14 – Оценка тока на резисторах Rn1-Rn3

Итоговое потребление тока без учета АЦП будет:

$$I_{\text{потр}} = 3 \cdot I_{\text{oy}} + I_{LDO} + \sum_{i=1}^3 I_{Rni}$$



$$I_{\text{потр}} = 3 \cdot 25 \cdot 10^{-6} + 25 \cdot 10^{-9} + 3 \cdot 10^{-6} = 78 \text{ мкА}$$

Предположим, что батарейка будет  $It_6 = 500 \text{ мА} \cdot \text{ч}$ , а схема будет работать 14 дней.

$$t = 14 \cdot 24 = 336 \text{ ч}$$

Тогда за эти 2 недели батарейка разрядится на:

$$p = \frac{I_{\text{потр}} \cdot t}{It_6} = \frac{78 \cdot 336 \cdot 10^{-6}}{500 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% = 5,244 \text{ \%}.$$

Предлагаю использовать АЦП от TI ADS7142 (Data Sheet прикреплен в письме). Его достоинствами является:

- 1) Минимальное питание –1,65В;
- 2) Потребляет 900 нВт мощности в спящем режиме;
- 3) Доступен в России (370p ChipDip);
- 4) Обмен данными по I2C;
- 5) Имеет компаратор, чтобы зайти/выйти в режим сна.
- 6) Отношение сигнал/шум порядка 70 дБ;
- 7) Два режима работы с различным разрешением (12 и 16 бит);
- 8) Буферизация данных во время спящего режима хоста;
- 9) 140 ksps;
- 10) В обычном режиме работы (12 бит) потребление может варьироваться от 7 мкА до 300 мкА (в зависимости от режима работы).