

# Курсовая работа на тему: «Проектирование SDR приёмника»

Выполнили студенты  
группы М4О-507С-17  
Левченко А. С.  
Лоза В. А.

# Задание

- ▣ Разработать структурную схему (рассчитать требуемые коэффициент усиления, коэффициент шума, точку IP3 аналогового тракта); выбрать АЦП и элементную базу аналогового тракта. Определить структуру цифрового понижающего преобразователя частоты (DDC).
- ▣ Определить требования к фазовым шумам гетеродина аналогового тракта и тактового генератора АЦП

# Технические характеристики ЦРПрУ:

- ▣ Чувствительность  $-121$  дБм при  $SNR = -19$  дБ;
- ▣ Полоса сигнала  $5$  МГц;
- ▣ Полоса аналогового тракта  $20$  МГц;
- ▣ Частота дискретизации АЦП  $61,44$  МГц;
- ▣ Промежуточная частота  $IF = (3/4) 61.44$  МГц;
- ▣ Chip Rate  $3.84$  МСРС;
- ▣ Коэффициент сжатия (база сигнала)  $25$  дБ;
- ▣ Уровни блокирующих сигналов:
  - CDMA помеха  $-40$  дБм,
  - двухчастотная помеха  $-48$  дБм.

# Расчёт аналоговой части SDR приёмника

- ▶ Первоначальная оценка коэффициента усиления аналогового тракта приёмного устройства:
  - ▶  $K_{p \max} = P_{\text{ср max}} - P_{\text{вх}} = 44 \text{ дБ}$
- ▶ Динамический диапазон:
  - ▶  $SFDR = P_{\text{IM3}} - (P_{\text{с min}} + SNR) = 54 \text{ дБ}$
- ▶ Мощность теплового шума аналогового тракта:
  - ▶  $P_{\text{ш}} = NSD + NF + 10 \lg(\Delta f) = -101 \text{ дБм}$
- ▶ Точка IP3 аналогового тракта:
  - ▶  $IP3 = \frac{3}{2} SFDR + P_{\text{ш}} = \frac{3}{2} \cdot 54 - 101 = -20 \text{ дБм}$
- ▶ Спектральная плотность теплового шума, подаваемого на АЦП:
  - ▶  $NSD_{\text{вх АЦП}} = NSD + K_p + NF = -174 + 40 + 6 = -128 \frac{\text{дБм}}{\text{Гц}}$

▶ Выберем АЦП AD6644

▶ Мощность шума АЦП:

$$P_{\text{ш вх АЦП}} = P_{c \text{ min}} + K_p - SNR = -62 \text{ дБм}$$

▶ Спектральная плотность мощности шума АЦП:

$$S_{\text{ш вх АЦП}}(f) = P_{\text{ш вх АЦП}} - 10 \lg(\Delta f) - 10 = -139 \frac{\text{дБм}}{\text{Гц}}$$

▶ Отношение сигнал/шум джиттера:

$$SNR_j = P_{\text{max}} - S_{\text{ш вх АЦП}}(f) - 10 \lg\left(\frac{f_D}{2}\right) = 68 \text{ дБ}$$

▶ Допустимый джиттер:

$$t_j = \frac{10^{-\frac{SNR_j}{20}}}{2\pi f_{\text{analog}}} = 1,37 \text{ пс}$$

▶ Дисперсия фазовых шумов:

$$\sigma_{\theta}^2 = t_j^2 \cdot 4\pi^2 f_{\text{д}}^2 = 2,82 \cdot 10^{-7}$$

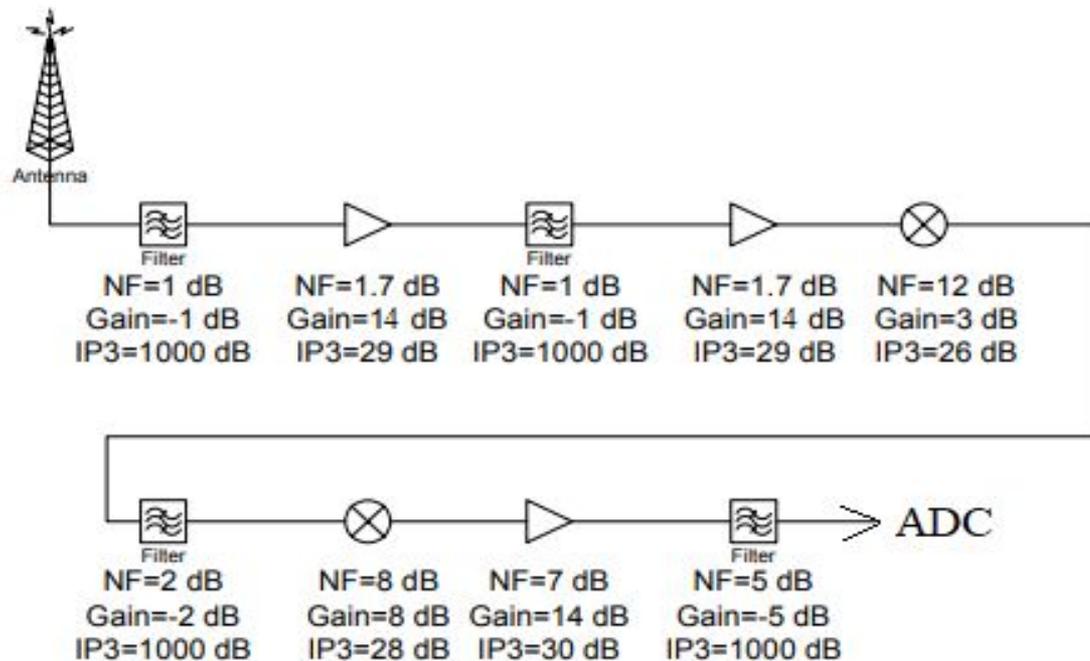
▶ Спектральная плотность фазовых шумов тактового генератора АЦП:

$$S_{\text{ш } \theta} = 10 \lg(\sigma_{\theta}^2) - 10 \lg(3f_{\text{д}}) = 10 \lg\left(\frac{\sigma_{\theta}^2}{3f_{\text{д}}}\right) = -143 \frac{\text{дБн}}{\text{Гц}}$$

▶ Спектральная плотность шума АЦП:

$$NSD_{\text{АЦП}} = P_{\text{ср max}} - SNR_j - 10 \lg\left(\frac{f_{\text{д}}}{2}\right) = -139 \frac{\text{дБм}}{\text{Гц}}$$

# Структурная схема аналоговой части приёмника



Total NF	2,91 дБ
Gain	44 дБ
Input IP3	-19,39 дБм
Output IP3	24,61 дБм

# NoiseCalc

Set Number of Stages =

Calculate [F4]

		Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5	Stage 6	Stage 7	Stage 8
<b>Stage Data</b>	<b>Units</b>								
Stage Name:		Input Loss	RF Filter	LNA Stage 1	LNA Stage 2	1st Mixer	1st IF Filter	1st IF Amplifier	2nd Mixer
Noise Figure	dB	1	1,7	1	1,7	12	2	8	7
Gain	dB	-1	14	-1	14	3	-2	8	14
Output IP3	dBm	1000	29	1000	29	26	1000	28	30
dNF/dTemp	dB/°C	0	0	0	0	0	0	0	0
dG/dTemp	dB/°C	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Stage Analysis:</b>									
NF (Temp corr)	dB	1,00	1,70	1,00	1,70	12,00	2,00	8,00	7,00
Gain (Temp corr)	dB	-1,00	14,00	-1,00	14,00	3,00	-2,00	8,00	14,00
Input Power	dBm	-121,00	-122,00	-108,00	-109,00	-95,00	-92,00	-94,00	-86,00
Output Power	dBm	-122,00	-108,00	-109,00	-95,00	-92,00	-94,00	-86,00	-72,00
d NF/d NF	dB/dB	0,67	0,96	0,04	0,05	0,02	0,00	0,01	0,00
d NF/d Gain	dB/dB	-0,33	-0,04	-0,04	-0,02	-0,01	-0,01	0,00	0,00
d IP3/d IP3	dBm/dBm	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,05	0,90

Input Power	-121	dBm
Analysis Temperature	25	°C
Noise BW	20	MHz
Ref Temperature	25	°C
S/N (for sensitivity)	0	dB
Noise Source (Ref)	290	K

Gain =	44,00	dB
Noise Figure =	2,91	dB
Noise Temp =	277,01	°K
SNR =	-22,95	dB
MDS =	-98,05	dBm
Sensitivity =	-98,05	dBm
Noise Floor =	-171,06	dBm/Hz

Input IP3 =	-19,39	dBm
Output IP3 =	24,61	dBm
Input IM level =	-324,21	dBm
Input IM level =	-203,21	dBc
Output IM level =	-280,21	dBm
Output IM level =	-203,21	dBc
SFDR =	52,44	dB

Вычисления в программе AppCad

# Расчёт фазовых шумов гетеродина

▶ Мощность шума аналогового тракта приёмника:

$$▶ P_{\text{ш}} = NSD + NF + 10\log(\Delta f) = -104 \text{ дБм}$$

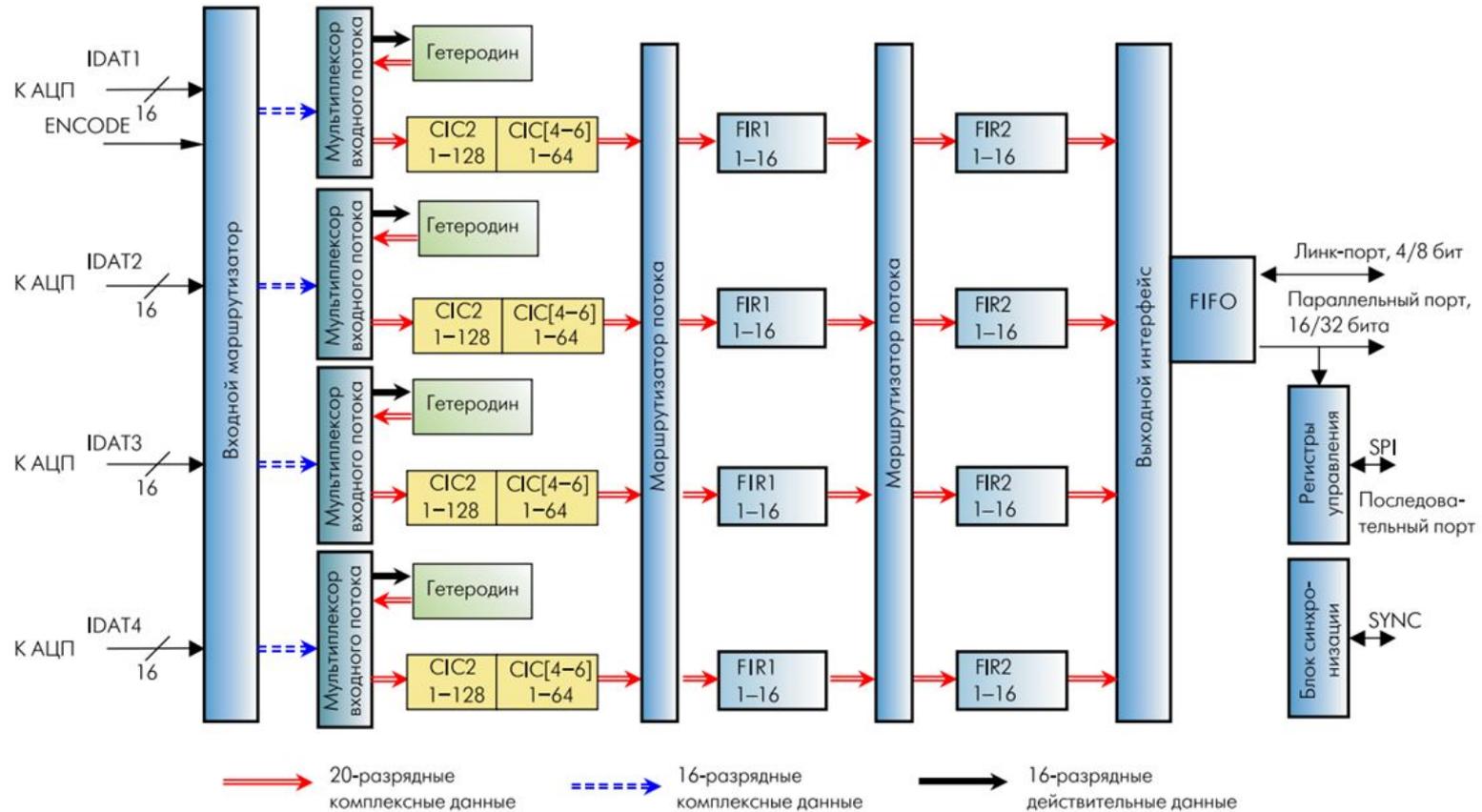
▶ Спектральная плотность шума в полосе сигнала:

$$▶ S_{\text{ш}}(f) = P_{\text{ш}} - 10\log(\Delta f) = -171 \frac{\text{дБм}}{\text{Гц}}$$

▶ Спектральная плотность фазовых шумов относительно несущей частоты:

$$▶ S_{\text{фш}} = S_{\text{ш}}(f) - P_{\text{п}} = -131 \frac{\text{дБм}}{\text{Гц}}$$

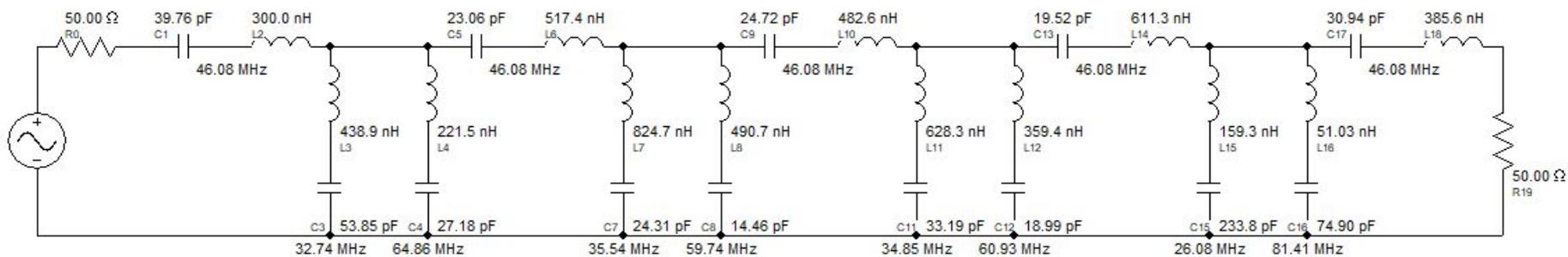
# Структурная схема цифрового понижающего преобразователя частоты

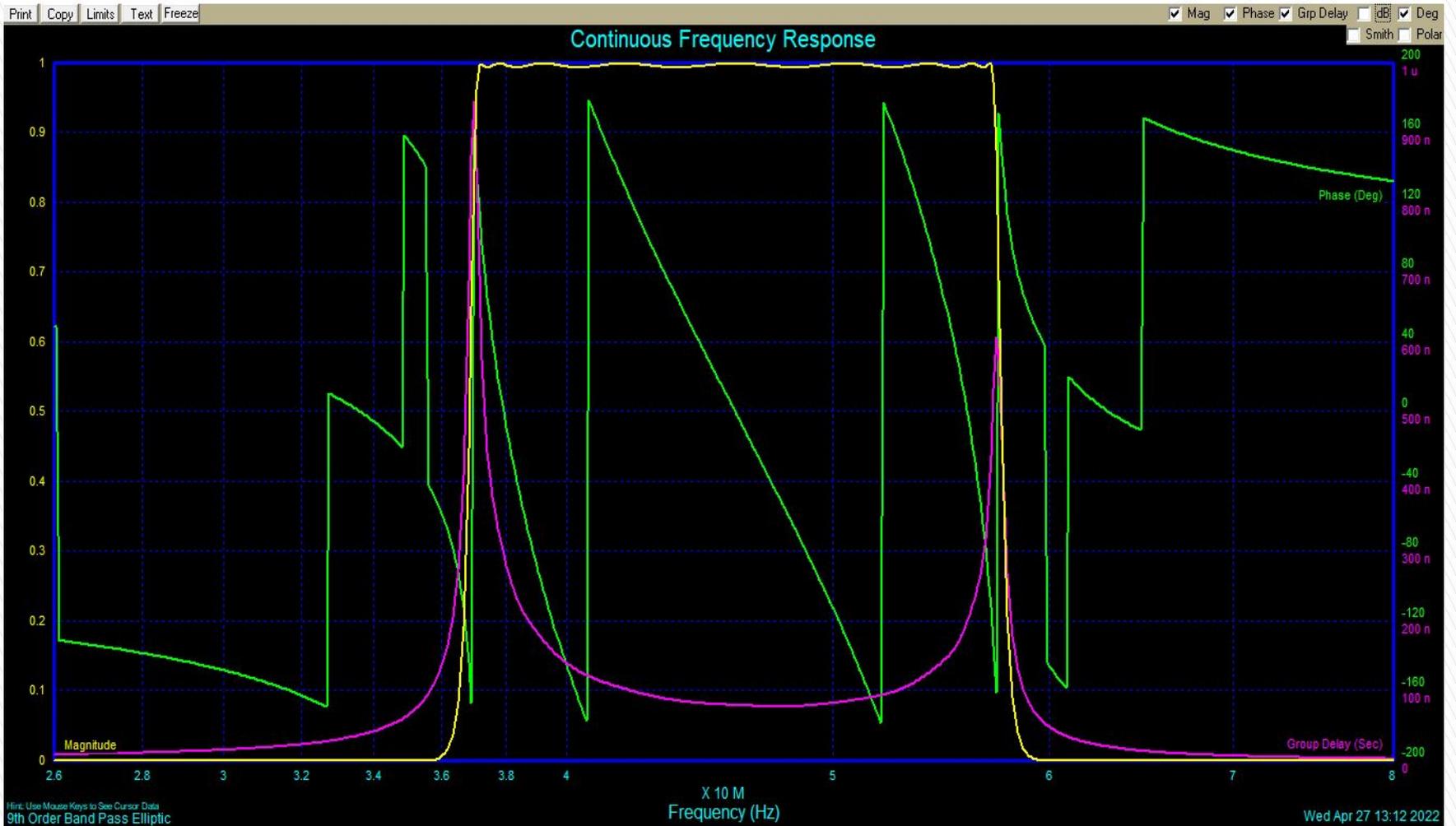


# Антиалиазный фильтр

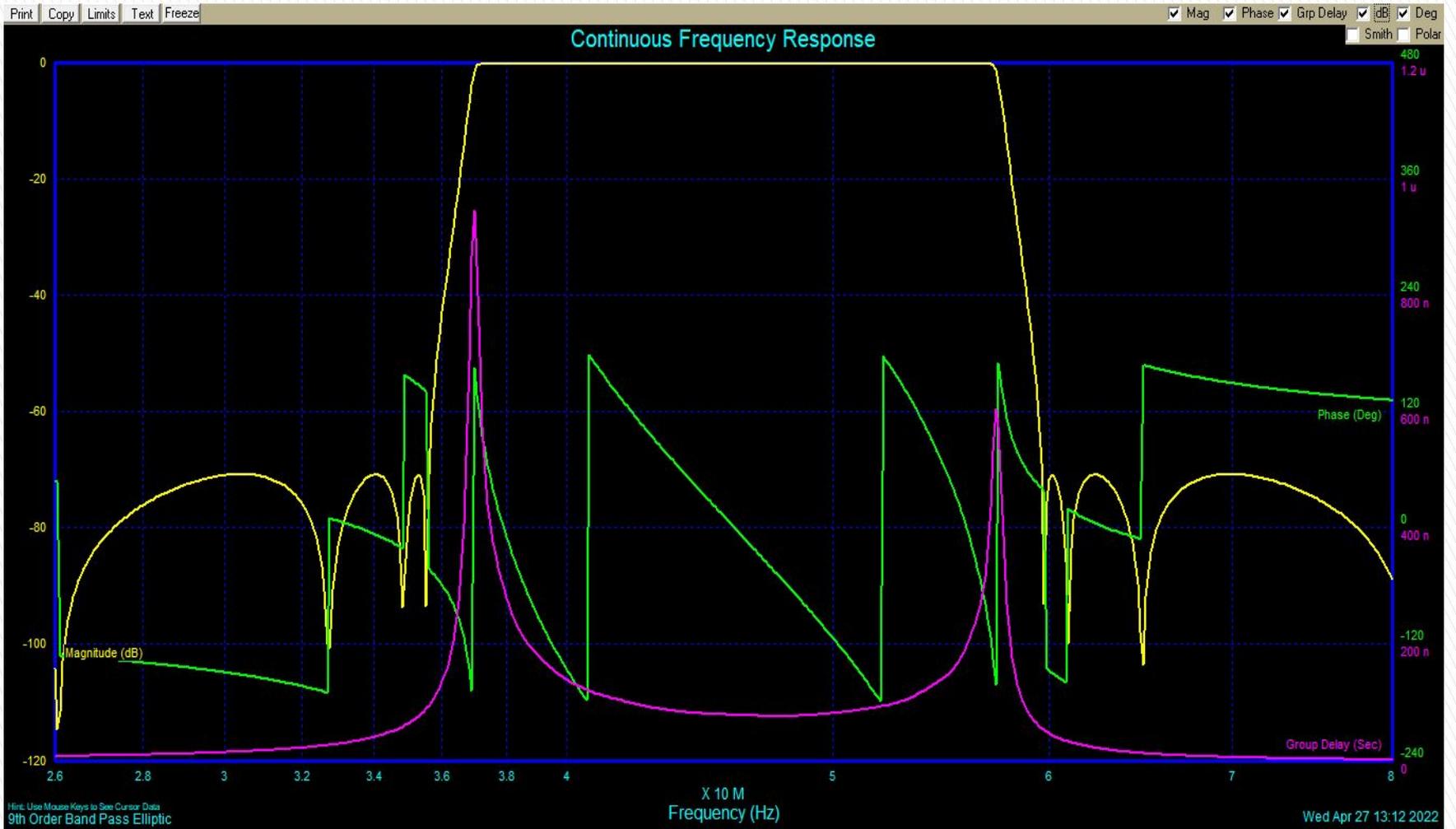
## 9th Order Band Pass Elliptic

Center Frequency = 46.08 MHz    Stop Band Ratio = 1.2  
Pass Band Width = 20.00 MHz    Stop Band Width = 24.00 MHz  
Pass Band Ripple = 0.05 dB    Stop Band Attenuation = 70.59 dB





АЧХ, ФЧХ, ГВЗ фильтра



АЧХ, ФЧХ и ГВЗ в логарифмическом масштабе

# Заключение

- В данной курсовой работе был спроектирован SDR приёмник, удовлетворяющий требованиям по усилению: 44 дБ, коэффициенту шума: 2,91 дБ, и по интермодуляционной помехе в точке IP3, пересчитанной на вход приемника.
- Данный приёмник обеспечивает необходимую чувствительность -121 дБ при отношении сигнал/шум -22,95 дБ (при требуемом отношении сигнал/шум -19 дБ).
- Был выбран АЦП AD6644, обеспечивающий необходимую частоту дискретизации и удовлетворяющий требованиям к фазовым шумам тактового генератора АЦП.