

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ  
КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И БИОМЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ

Курсовой проект по дисциплине

**«Встраиваемые системы»**

**Разработка цифрового устройства на основе  
микроконтроллера.**

Автор работы Романов Н.Д.

Специальность 15.03.06 гр.833

Руководитель Борисов А.Г.

Работа защищена \_\_\_\_\_

(оценка, дата)

Члены комиссии: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Рязань 2021 г.

## Оглавление.

Оглавление.....	2
Введение.....	3
§ 1. Аппаратные средства.....	4
§ 2. Программные средства.....	5
§ 3. Расчёт коэффициентов фильтра.....	5
§ 4. Реализация фильтра в CubeIDE.....	7
§ 4. Тестирование фильтра с помощью WaveForms.....	10
Заключение.....	15
Список литературы.....	16

## Введение

Сигналы встречаются почти в каждой отрасли науки, например, в биомедицинских исследованиях, в акустике, в системах управления, в радиолокации, в связи, физике, сейсмологии и телеметрии. Различаются два общих класса сигналов: аналоговые (сигналы в непрерывном времени) и дискретные (сигналы в дискретном времени, то есть прерывистые).

Аналоговым сигналом называется сигнал, определенный для каждого момента времени. Типичными примерами аналоговых сигналов являются изменения во времени напряжения или скорости автомобиля.

Дискретным сигналом называется сигнал, определенный только в дискретные моменты времени, например, через каждую микросекунду, каждую секунду или сутки. Примером такого типа сигналов является количество осадков, выпавших за день, как функция времени.

Как дискретный, так и аналоговый сигналы могут быть однозначно представлены некоторыми функциями частоты, которые называются их частотными спектрами. Эти функции описывают частотный состав сигнала.

Фильтрацией называется процесс изменения частотного спектра сигнала в некотором желаемом направлении. Этот процесс может привести к усилению или ослаблению частотных составляющих в некотором диапазоне частот, к подавлению или выделению какой-нибудь конкретной частотной составляющей и т.п. Фильтрация нашла многочисленные применения, например для подавления шума, маскирующего сигнал, для устранения искажения сигнала, вызванного несовершенством канала передачи или погрешностями измерения, для разделения двух или более различных сигналов, которые были преднамеренно смешаны для того, чтобы в максимальной степени использовать канал, для разложения сигналов на частотные составляющие, для демодуляции сигналов, для преобразования дискретных сигналов в аналоговые, для ограничения полосы частот, занимаемой сигналами.

Цифровым фильтром называется цифровая система, которую можно использовать для фильтрации дискретных сигналов. Он может быть реализован программным методом на ЦВМ (цифровой вычислительной

машине) или с помощью специальной аппаратуры, и в каждом из этих случаев цифровой фильтр можно применить для фильтрации сигналов в реальном времени или для фильтрации предварительно записанных сигналов.

Реализованные программным методом цифровые фильтры появились вместе с первыми ЦВМ в конце 40-х годов, хотя самоназвание «цифровой фильтр» стало употребляться только в середине 60-х.

В электронике цифровой фильтр - это любой фильтр, обрабатывающий цифровой сигнал с целью выделения или подавления определённых частот сигнала. Цифровые фильтры на сегодняшний день применяются практически везде, где требуется обработка сигналов, в частности в спектральном анализе, обработке изображений, обработке видео, обработке речи и звука и многих других приложениях. Для большой точности и высокой скорости обработки сигналов требуется не только мощный процессор, но и дополнительное, возможно дорогостоящее, аппаратное обеспечение в виде высокоточных и быстрых ЦАП и АЦП. Различают два вида цифровых фильтров: Фильтр с конечной импульсной характеристикой - один из видов электронных фильтров, характерной особенностью которого является ограниченность по времени его импульсной характеристики. И фильтр с бесконечной импульсной характеристикой - электронный фильтр, использующий один или более своих выходов в качестве входа, то есть образует обратную связь. Цифровые фильтры являются обычным и неотъемлемым элементом бытовой электроники.[4]

## § 1. Аппаратные средства.

Для разработки и тестирования цифрового фильтра использовалось:

1. **Отладочная плата STM32F303discovery.** Технические характеристики:

- Вес, г: 81
- Ядро базового компонента: Cortex-M4
- Встроенный ST-LINK/V2
- Наименование базового компонента: STM32f303VC
- Разрядность шины данных, бит: 32
- 12-канальный DMA контроллер;
- Поддержка DSP инструкций с плавающей точкой
- Модуль защиты памяти
- 256 КБайт Flash-память, 48 КБайт ОЗУ
- Четыре АЦП с конфигурируемым разрешением 12/10/8/6 бит
- Два 12-битных ЦАП;
- 7 аналоговых компараторов

- Коммуникационные интерфейсы: CAN, I2C, USART/UART, I2S, USB 2.0
- Установлен 3-осевой цифровой MEMS гироскоп
- 10 светодиодов, две пользовательские кнопки
- Пользовательский порт USB

## 2. BNC адаптер, подключенный к Analog Discovery

- Адаптер позволяет использовать с инструментом Analog Discovery щупы с BNC разъемами;
- Возможность использования двух каналов осциллографа с открытым АС + DC, либо с закрытым входом – только АС;
- Выбираемый выходной импеданс 50 Ом или 0 Ом на двух каналах генератора сигналов произвольной формы (AWG);
- При использовании адаптера BNC дифференциальные входы Analog Discovery становятся несимметричными. Плата адаптера BNC для Analog Discovery не имеет дифференциальных аналоговых входов.

## 3. Персональный компьютер.

## § 2. Программные средства.

При написании проекта использовались языки программирования, такие как: C и HAL. Программа была написана в STM32CubeIDE 1.6.1. Как написание, так и тестирование программы производилось с использованием операционной системы Windows 10. Тестирование фильтра производилось с помощью программы WaveForms. Поиск коэффициентов фильтра производился в среде MATLAB.

Проект базируется на конфигурации, сгенерированной средой CubeIDE, без внесения изменений в его первоначальную структуру. Вкладка “Clock Configuration” отличается от стандартной.

## § 3. Расчёт коэффициентов фильтра.

Используя среду MATLAB, а именно инструмент fdatool, рассчитываем коэффициенты. Используя исходные данные получаем:

Highpass,  
 Chebyshev Type I, IIR,  
 Specify order = 4,  
 $F_s = 28,5 \text{ kHz}$ ,  $F_c = 500 \text{ Hz}$ ,  
 Direct Form II,  
 Sections = 1

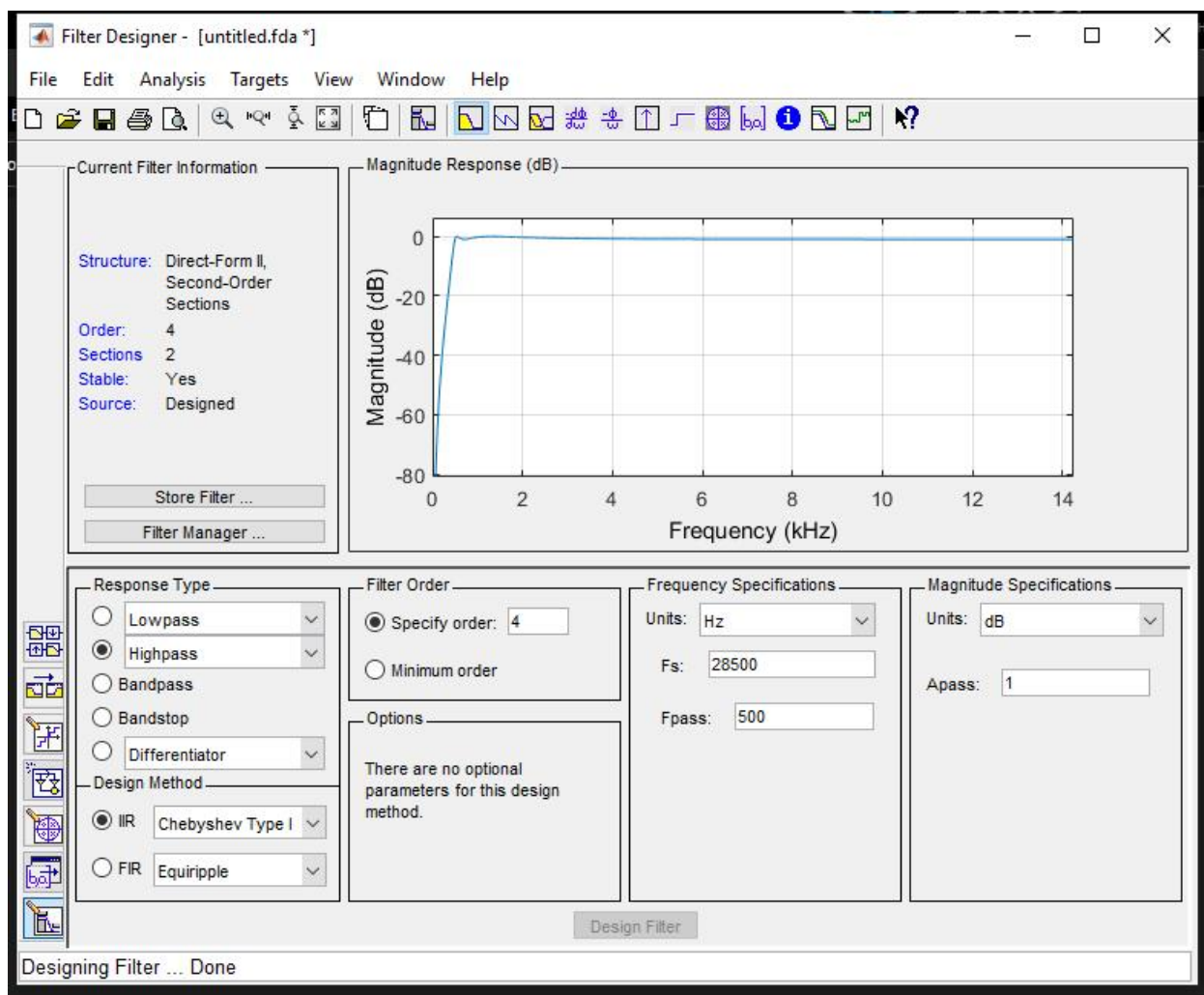


Рис. 1. Filter Design Tool

```

Numerator:
0.76481319376598789
-3.0592527750639515
4.5888791625959282
-3.0592527750639515
0.76481319376598789
Denominator:
1
-3.6865460608805929
5.1214230023942706
-3.1782993071573311
0.74388390955279493

```

Рис. 2. Окно вывода коэффициентов.

### Коэффициенты

b: 0.764813 -3.059252 4.588879 -3.059252 0.764813

a: -3.686546 5.121423 -3.178299 0.743883

## § 4. Реализация фильтра в CubeIDE.

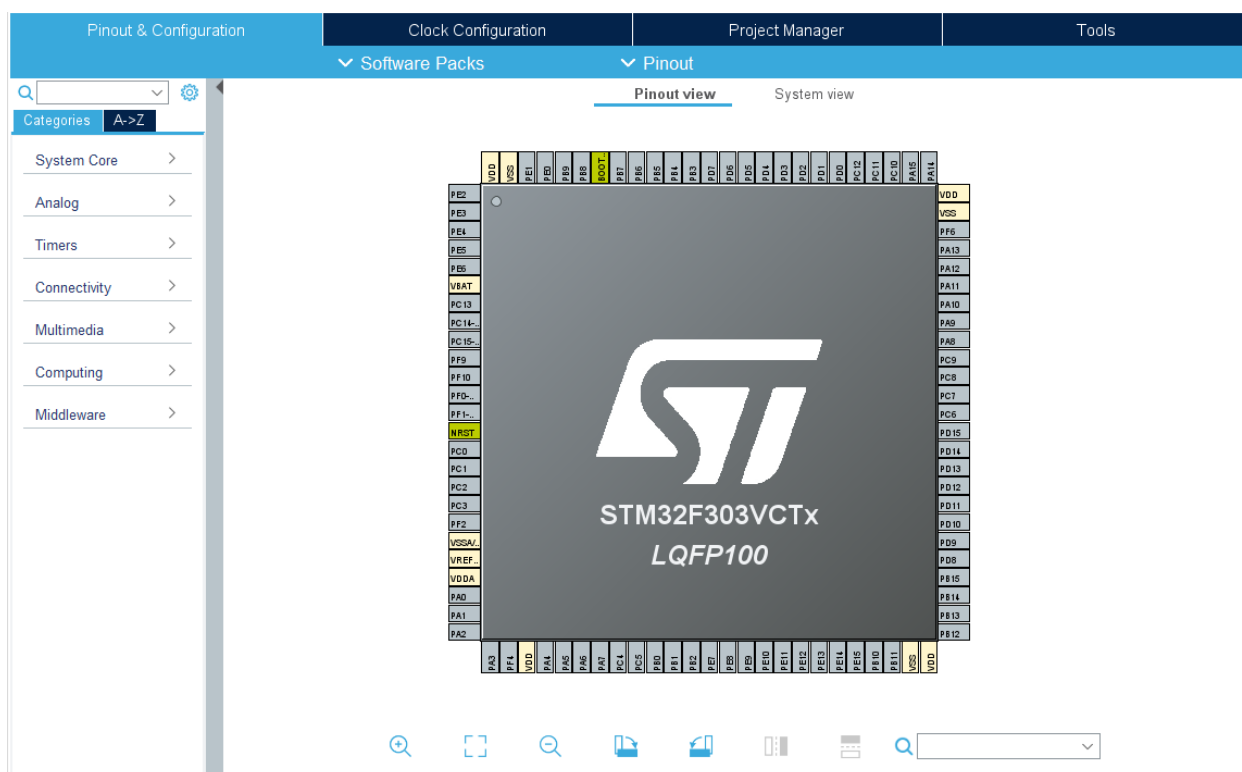


Рис. 3. Окно Pinout & Configuration.

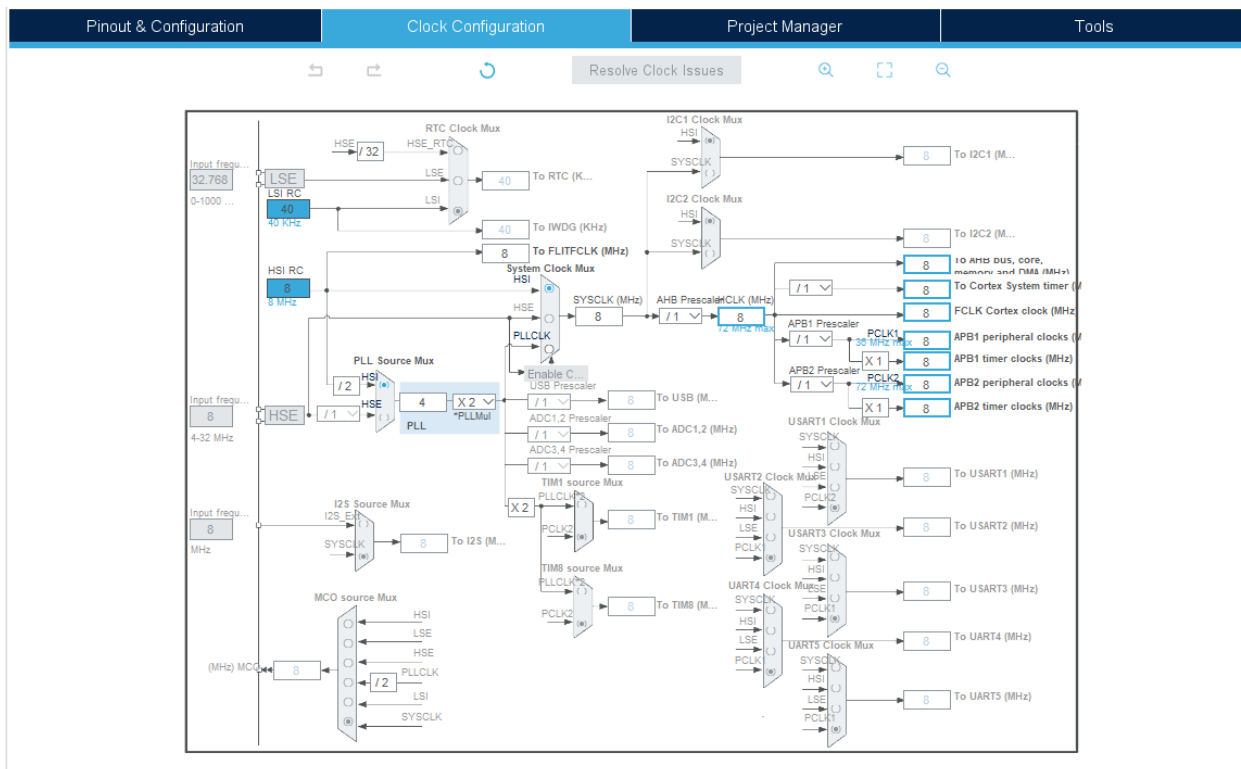


Рис. 4. Окно Clock Configuration.

Далее изменяется только файл main.c, поэтому рассмотрим его структуру.

```

92 ///////////////////////////////////////////////////port
93 RCC->AHBENR |= RCC_AHBENR_GPIOAEN;
94 RCC->AHBENR |= RCC_AHBENR_GPIOBEN;
95 RCC->AHBENR |= RCC_AHBENR_GPIOEEN;
96
97 GPIOA->MODER &= ~GPIO_MODER_MODER5;
98 GPIOA->MODER |= (GPIO_MODER_MODER5_1 | GPIO_MODER_MODER5_0);
99
100 GPIOB->MODER &= ~GPIO_MODER_MODER13;
101 GPIOB->MODER |= (GPIO_MODER_MODER13_1 | GPIO_MODER_MODER13_0);
102
103 GPIOE->MODER &= ~GPIO_MODER_MODER9;
104 GPIOE->MODER |= GPIO_MODER_MODER9_0;
105
106 GPIOE->MODER &= ~GPIO_MODER_MODER10;
107 GPIOE->MODER |= GPIO_MODER_MODER10_0;
108
109 GPIOE->MODER &= ~GPIO_MODER_MODER11;
110 GPIOE->MODER |= GPIO_MODER_MODER11_0;
111
112 GPIOE->MODER &= ~GPIO_MODER_MODER13;
113 GPIOE->MODER |= GPIO_MODER_MODER13_0;
114
115 GPIOA->MODER &= ~GPIO_MODER_MODER8;
116 GPIOA->MODER |= (GPIO_MODER_MODER8_1 | GPIO_MODER_MODER8_0);

```

Рис. 5. Инициализация портов ввода/вывода.



```

117 //////////////////////////////////////////////////clk
118
119 RCC->CR |= RCC_CR_HSION;
120
121 while(!(RCC->CR &= RCC_CR_HSIRDY));
122 RCC->CFGR &= ~RCC_CFGR_SW;
123 RCC->CR &= ~RCC_CR_PLLON;
124 RCC->CFGR &= ~RCC_CFGR_PLLSRC;
125 RCC->CFGR &= ~RCC_CFGR_PLLMUL;
126 RCC->CFGR |= RCC_CFGR_PLLMUL10;
127
128 RCC->CFGR |= RCC_CFGR_PPRE1_DIV8;
129 RCC->CFGR |= RCC_CFGR_PPRE2_DIV1;
130 RCC->CFGR |= RCC_CFGR_HPRE_DIV1;
131
132 RCC->CR |= RCC_CR_PLLON;
133 while(!(RCC->CR &= RCC_CR_PLLRDY));
134 RCC->CFGR |= RCC_CFGR_SW_1;

```

Рис. 6. Разгон процессора.

```

136 //////////////////////////////////////////////////adc
137
138
139 RCC->AHBENR |= RCC_AHBENR_ADC34EN;
140 RCC->CFGR2 |= RCC_CFGR2_ADCPRE34_DIV16;
141 ADC34_COMMON->CCR |= ADC34_CCR_CKMODE_0;
142
143
144 ADC3->CR &= ~ADC_CR_ADVREGEN;
145 ADC3->CR |= ADC_CR_ADVREGEN_0;
146
147 for(volatile uint16_t d = 0; d<50000; ++d);
148
149
150
151 ADC3->CFGR &= ~ADC_CFGR_RES;
152 ADC3->CFGR &= ~ADC_CFGR_ALIGN;
153
154 ADC3->SQR1 &= ~ADC_SQR1_SQ1;
155 ADC3->SQR1 |= ADC_SQR1_SQ1_2 | ADC_SQR1_SQ1_0;
156 ADC3->SQR1 &= ~ADC_SQR1_L;
157
158 ADC3->SMPR1 |= (ADC_SMPR1_SMP5_1 | ADC_SMPR1_SMP5_0);
159
160 ADC3->CR |= ADC_CR_ADEN;
161
162
163
164 while(!(ADC3->ISR & ADC_ISR_ADRDY));

```

Рис. 7. Инициализация аналого-цифрового преобразователя.

```

165 //////////////////////////////////////////////////dac
166
167 RCC->APB1ENR |= RCC_APB1ENR_DAC1EN;
168 DAC->CR |= DAC_CR_EN2;
169

```

Рис. 8. Инициализация цифро-аналогового преобразователя.

```

170 ////////////////////////////////////////////////// tim
171 RCC->APB1ENR |=RCC_APB1ENR_TIM3EN;
172
173 TIM3->PSC=0;
174
175 TIM3->ARR=350-1;
176
177 TIM3->DIER |= TIM_DIER_UIE;
178
179 TIM3->CR1 |= TIM_CR1_CEN;
180

```

Рис. 9. Инициализация таймера дискретизации.

```

186 while (1)
187 {
188     if(!(TIM3->SR & TIM_SR_UIF)){
189
190
191         ADC3->CR |= ADC_CR_ADSTART;
192
193         while(!(ADC3->ISR & ADC_ISR_EOS)){};
194         x = ADC3->DR;
195         ADC3->ISR &= ~ADC_ISR_EOS;
196         ADC3->ISR &= ~ADC_ISR_EOC;
197     }
198
199     z4=z3;
200     z3=z2;
201     z2=z1;
202     z1=z;
203     z = x - ((-3.712022)*z1 + 5.176809*z2 + (-3.214255)*z3 + 0.749597*z4);
204     y = 2047 + z*0.865792 + z1*(-3.463171) + z2*(5.194756) + z3*(-3.463171) + z4*0.865792;
205
206     DAC1->DHR12R2 = y;
207

```

Рис. 10. Исполнительный код программы, реализующий работу фильтра.

## § 4. Тестирование фильтра с помощью WaveForms.

1. Генератор с Analog Discovery (правый верхний выход) подключаем, с помощью щупа к контакту PB13 на stm32f3discovery.
2. Осциллограф с Analog Discovery (левый верхний выход) подключаем, с помощью щупа к контакту PA5 на stm32f3discovery.
3. Плату подключаем проводом USB-miniUSB к ПК.
4. Analog Discovery проводом USB-microUSB к ПК.
5. Прошиваем плату.

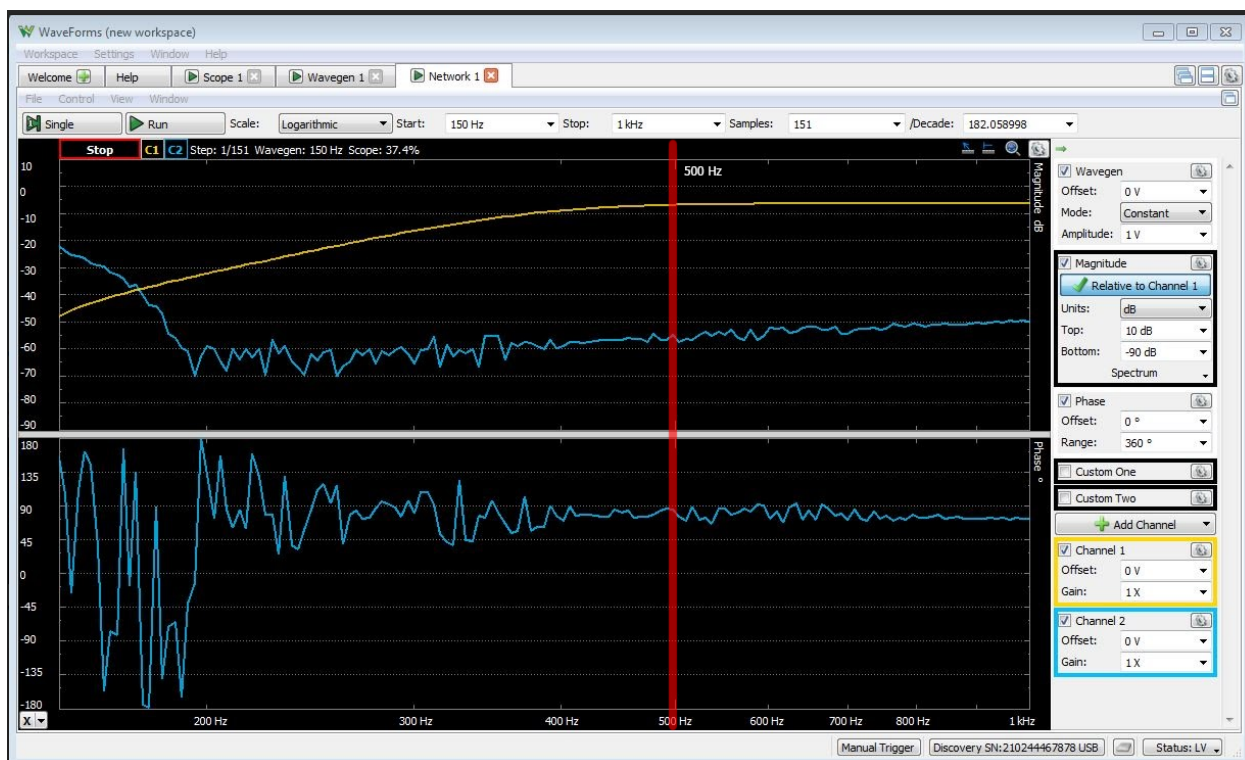


Рис. 11. Амплитудно-частотная характеристика.

Совпадение с заданной частотой среза с погрешностью 5%.

Результат работы фильтра при синусоиде частотами 100,300,500,700 и 900 Hz.

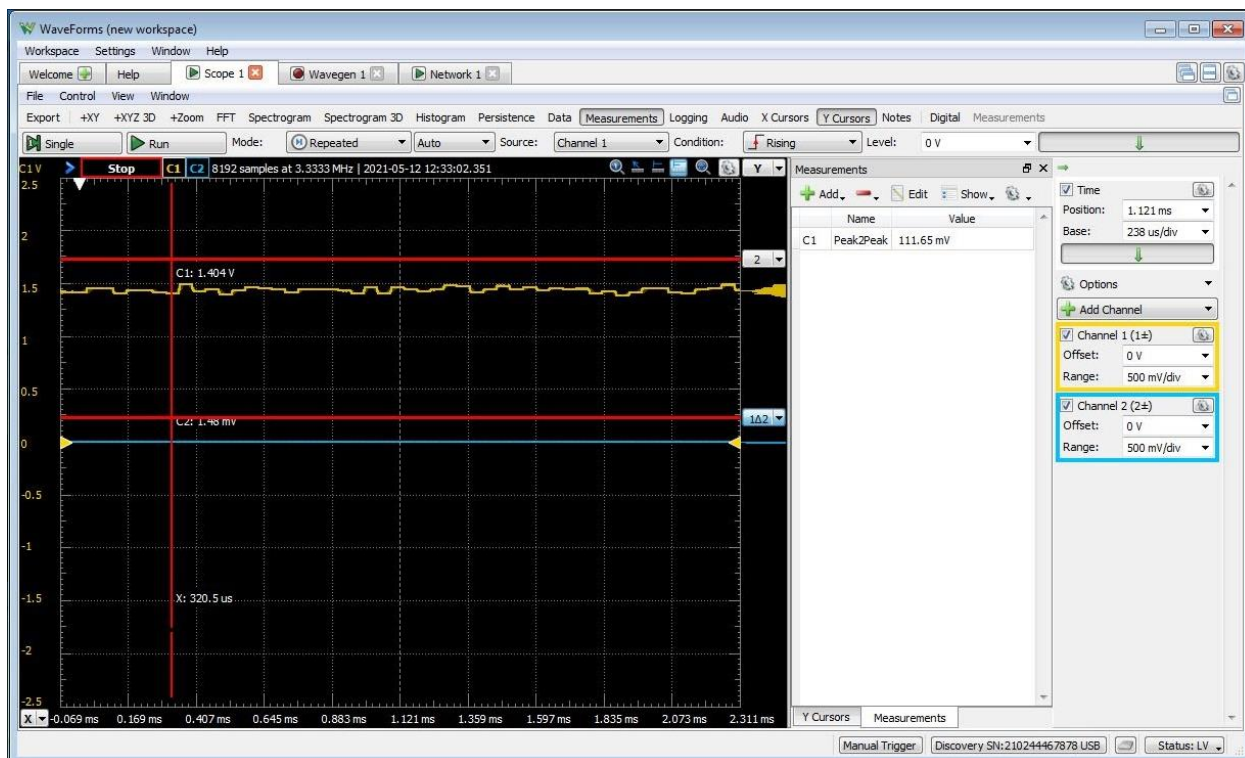


Рис. 12. 100 Hz.

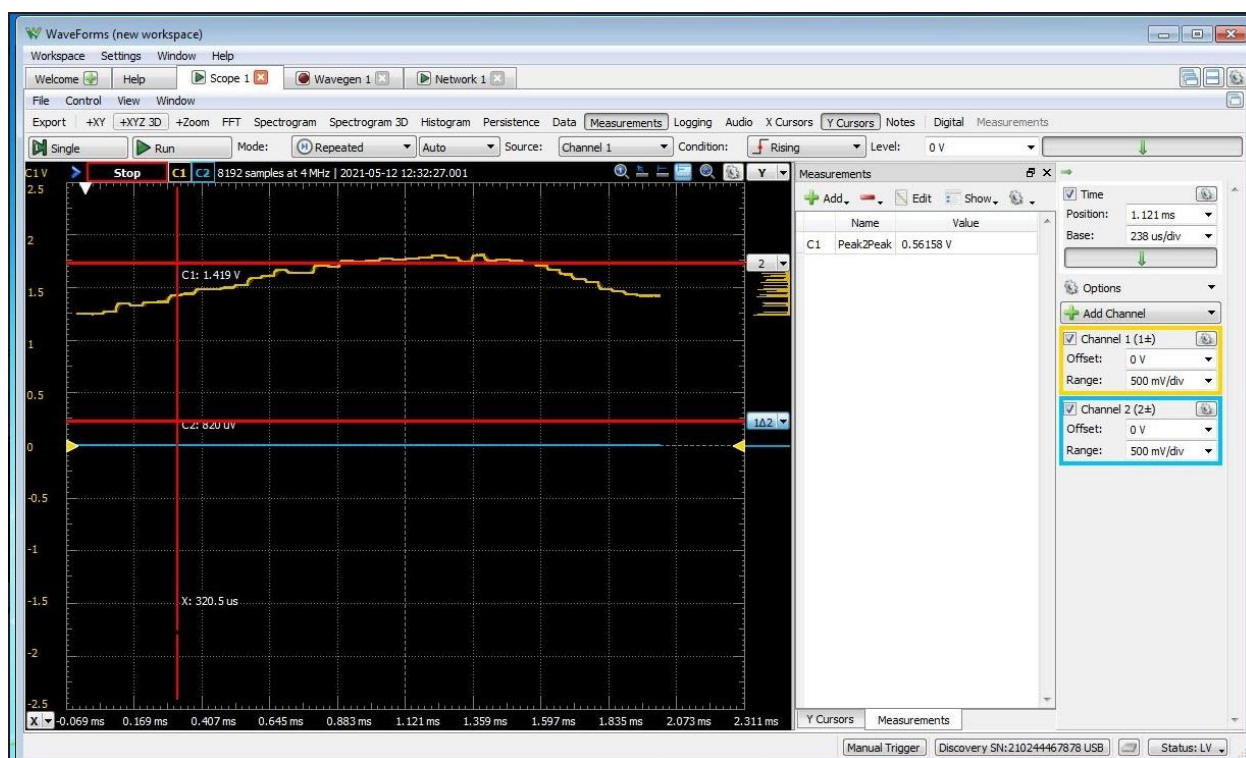


Рис. 13. 300 Hz.

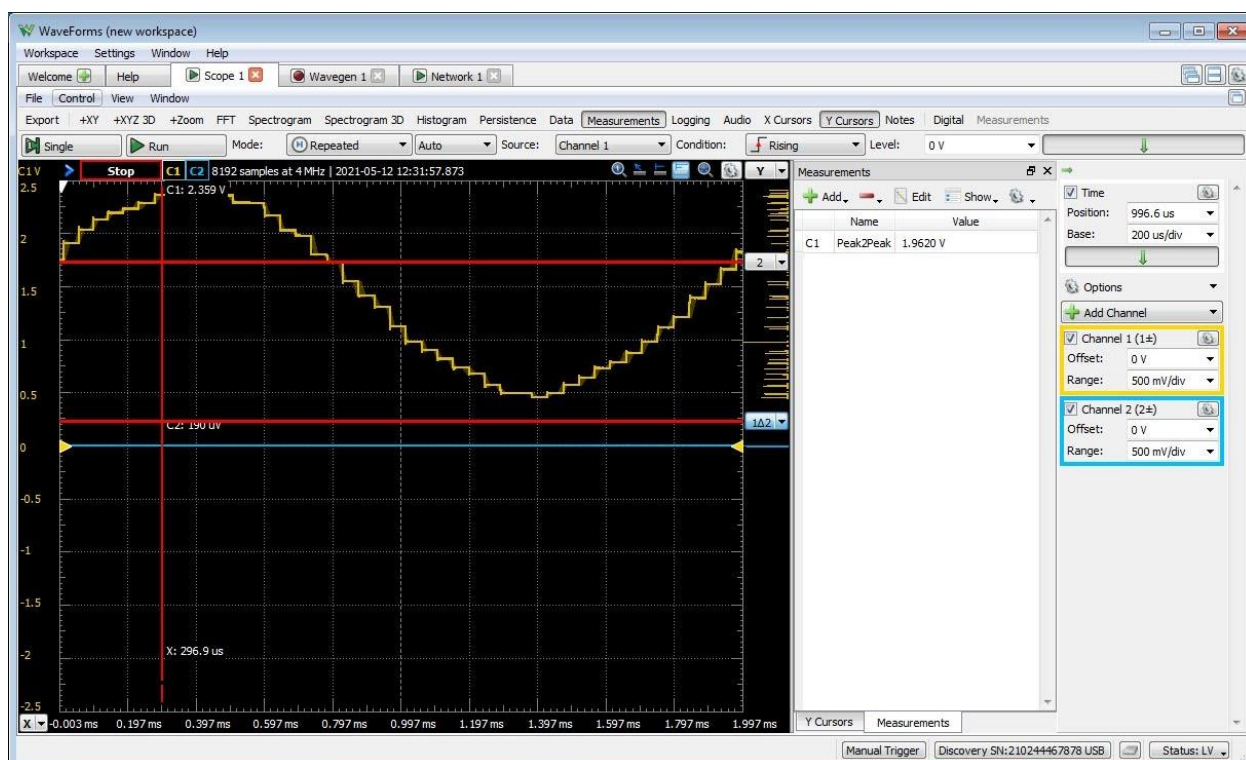


Рис. 14. 500 Hz.



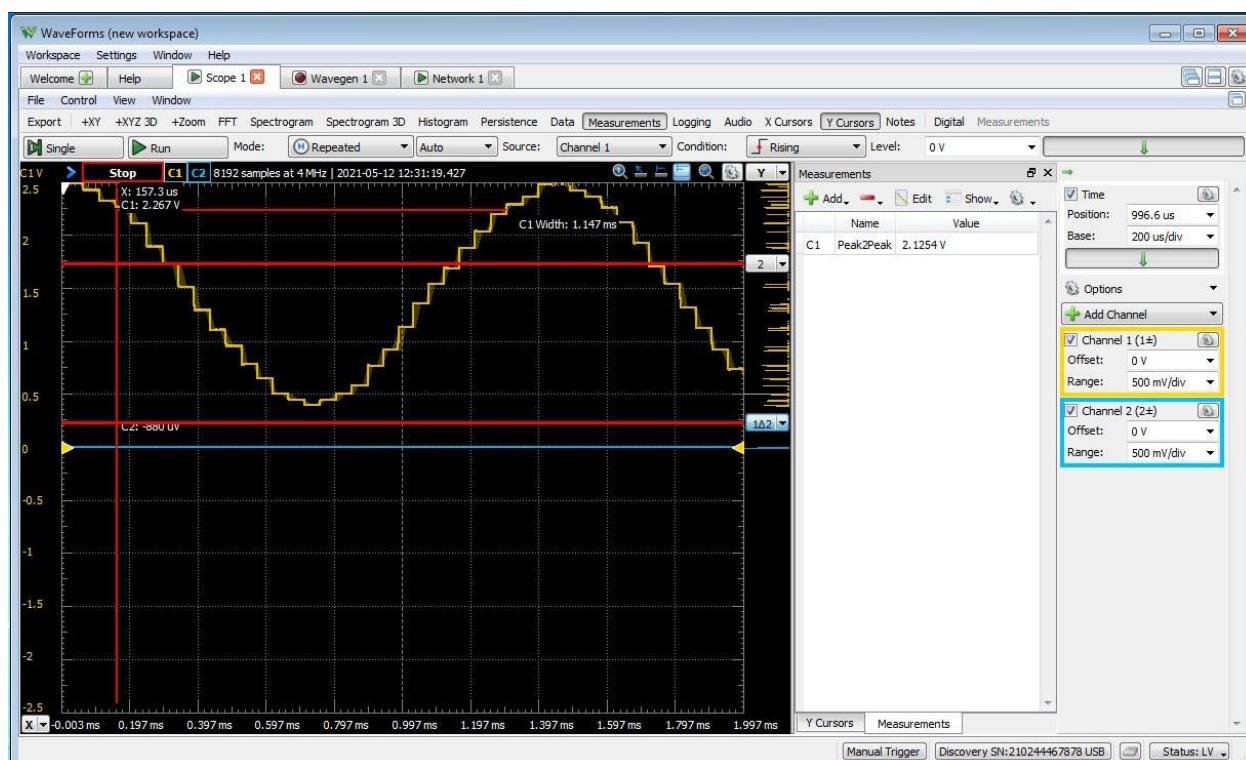


Рис. 15. 700 Hz.

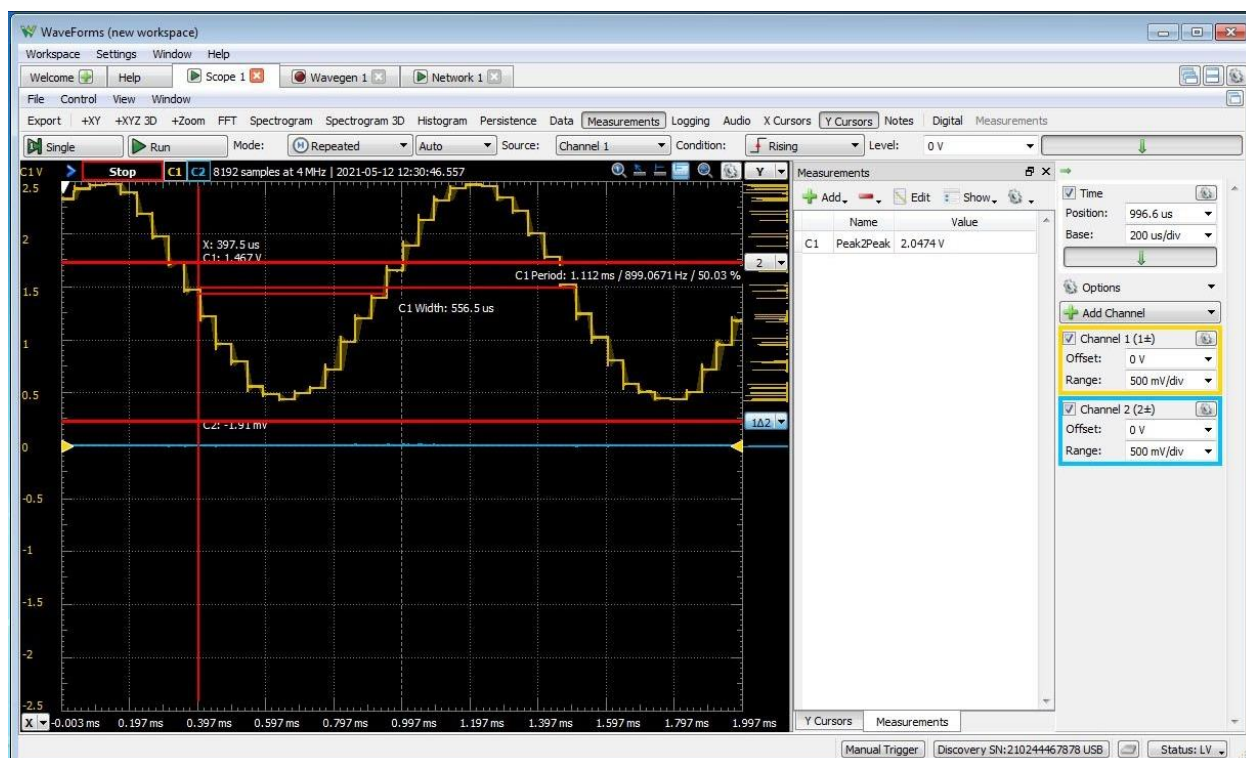


Рис. 16. 900 Hz.

Переносим щуп с PA5 на PE13.

Результат совпадения с частотой дискретизации с погрешностью 3%.

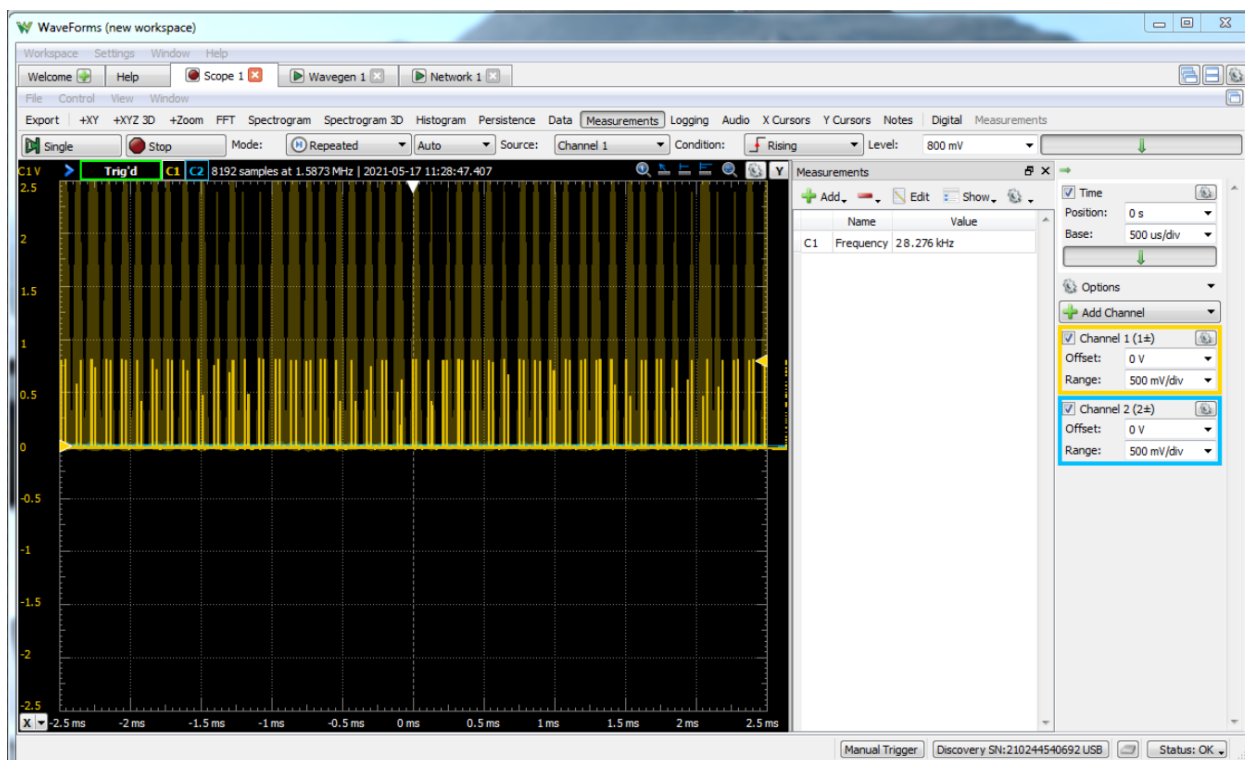


Рис. 17. Частота дискретизации.

Проверяем совпадение значений при разных частотах с фильтром, реализованным в системе MATLAB:

f, Hz	MATLAB	WaveForms	Погрешность
100	100 mV	111.65 mV	11,7%
300	0.6 V	0.561 V	6,5%
500	2 V	1.962 V	1,9%
700	2 V	2.125 V	6,25%
900	2 V	2.047 V	2,35%

Таблица 1. Выходные значения и погрешность.

При сравнении значений напряжений расчётных в MATLAB и полученных опытным путём с платы STM32F3discovery, можно сказать что фильтр работает должным образом.

### **Заключение.**

В данной курсовой работе был разработан цифровой фильтр. Полученные значения совпадают с рассчитанными в среде MATLAB и не превышают погрешность.

### **Список литературы.**

1. Цифровые фильтры - Хемминг Р. В., 1987
2. Сальников Н.И. Цифровые устройства и микропроцессоры: Методические указания к курсовому проекту / Рязанский государственные радиотехнический университет. Рязань, 2007
3. Цифровые фильтры в электросвязи и радиотехнике - Брунченко Александр Валентинович, Бутыльский Юрий Тихонович
4. <https://works.doklad.ru/view/g6kH6t-3U-c.html>