"Hardware and software complex for control and synchronization of the SPI equipment"

for

"Polarized sources, beams, and targets at the Nuclotron/NICA complex meeting"

Dunin N.V.

Coauthors: Shirikov I. , Donguzov I., Kozlowskiy A., Krasnyakov A. , Karpuk A. , Yablochkin M

Младший научный сотрудник №1 НЭОИКН Сектора №4

18.02.2026

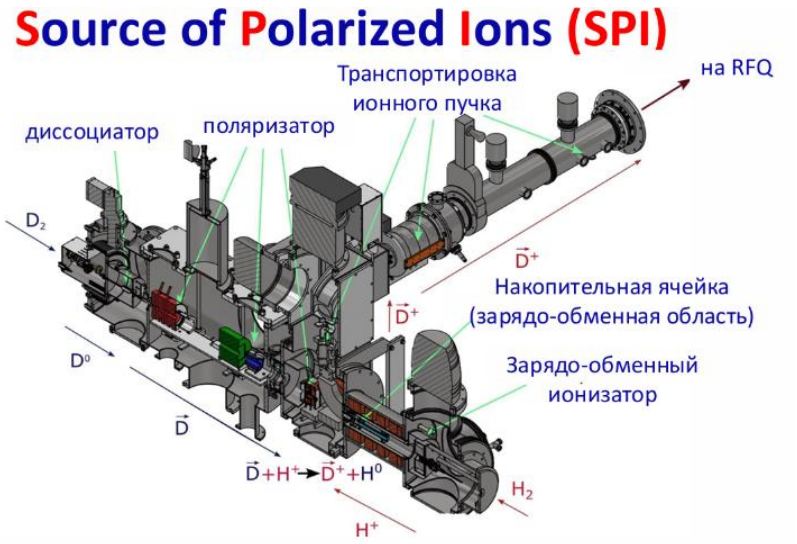
Main goal

- The creation of a complex hardware-software platform for the remote management, monitoring, and automation of critical physical infrastructure system.

Main tasks:

- Power supply management for polarization cells.
- Control of signal generators for SPI internal technical system and polarization marks .
- Control and monitoring for various types of Multi-Range DC power supplys
- Feedback control using ADC /DAC crate standard modules based on STM32 controller.
- Monitoring of cooling parameters and temperatures using PLC.

Tasks for the SPI experimental setup



1) Transfer of polarization tags (12 modes)

2) Integration of Laboratory equipment with SCPI protocol (power supplies, pulse generators, frequency counters)

3) Voltage or current measurement (ADC, PLC)

4) Temperature and water flow monitoring for cooled components





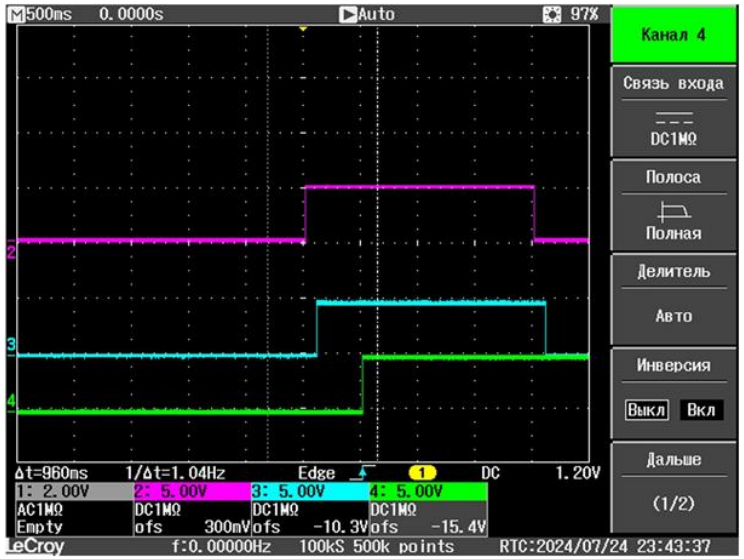
Required spin modes for the SPI (Source of Polarized Ions)

	MFT	SFT	WFT	Pz m.	Pzz m.	I/Io	Code
1	Off	2->6	off	+1/3	+1	1	0001
2	Off	3->5	off	+1/3	-1	1	0010
3	Off	3->6	off	+2/3	0	1	0011
4	Off	0ff	1->4	-2/3	0	1	0100
5	3->4	2->6	off	+1	+1	2/3	0101
6	3->4	off	1,2->3,4	-1	+1	2/3	0110
7	1->4	2->6	off	0	+1	2/3	0111
8	1->4	3->5	off	0	-2	2/3	1000
9	1->4	off	off	-1/2	-1/2	2/3	1001
10	3->4	off	off	+1/2	-1/2	2/3	1010
11	0ff	off	off	0	0	1	1011
15	bad	mark					1111

Example configuration of a Quantum Composer 9520 digital signal generator

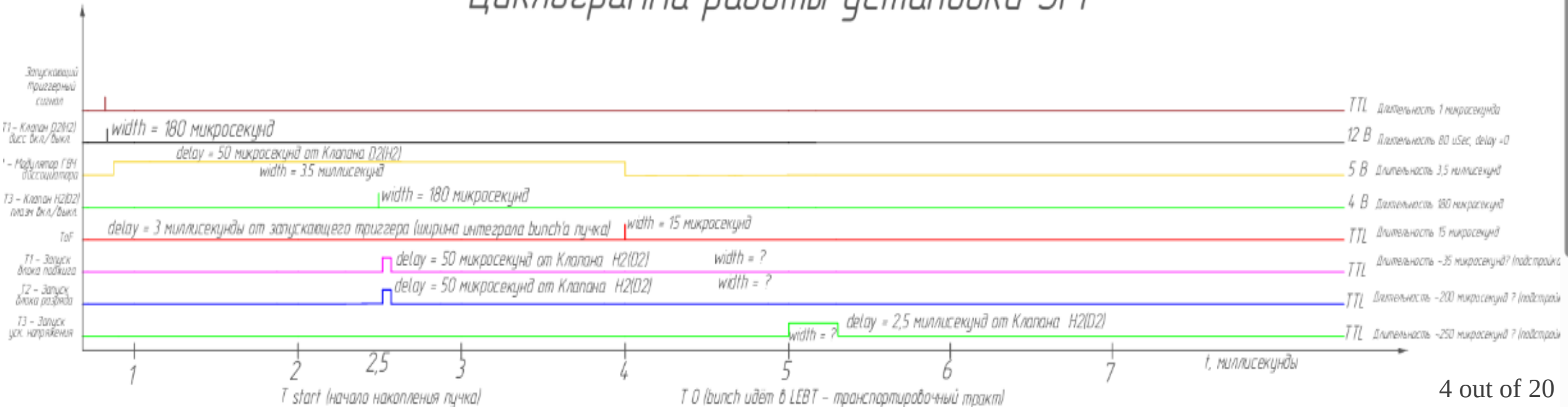
How digital signal generator delays work:

- Pink = 1 millisecond;
- Blue = 100 milliseconds;
- Green = 500 milliseconds

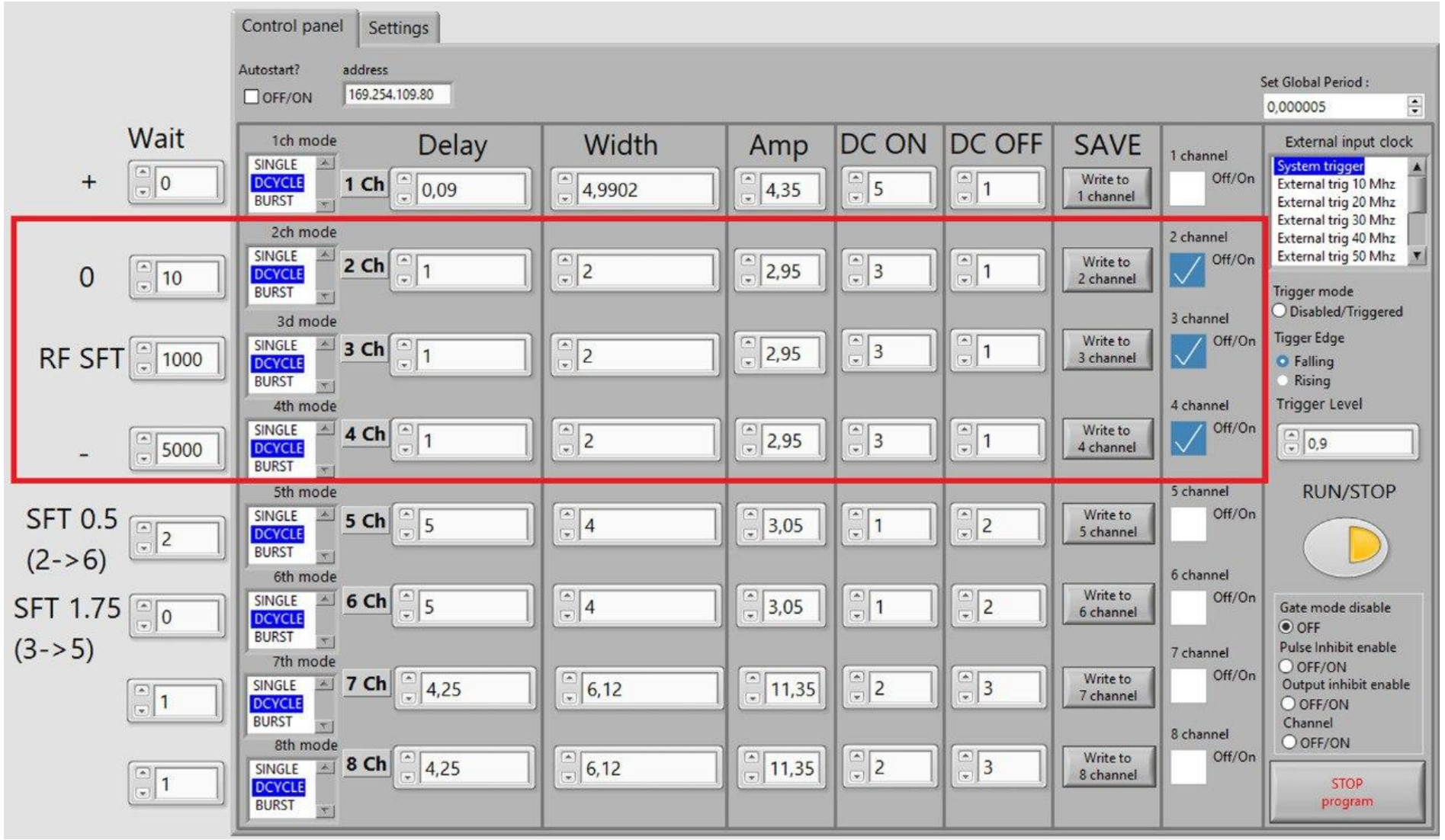


- 2ch Wait pink;
- 3ch Wait blue;
- 4ch Wait green.

Циклограмма работы установки SPI



Created custom user interface for the Quantum Composer 9520 digital signal generator



Used to control the ignition, discharge, and accelerating voltage units,
as well as the H_2/D_2 and D_2/H_2 valves of the SPI (Source of Polarized Ions) setup)

Implemented functions:

1) Amplitude, width and delay settings for each channel;

2) Selection of operating mode (Single, Dcycle, Burst);

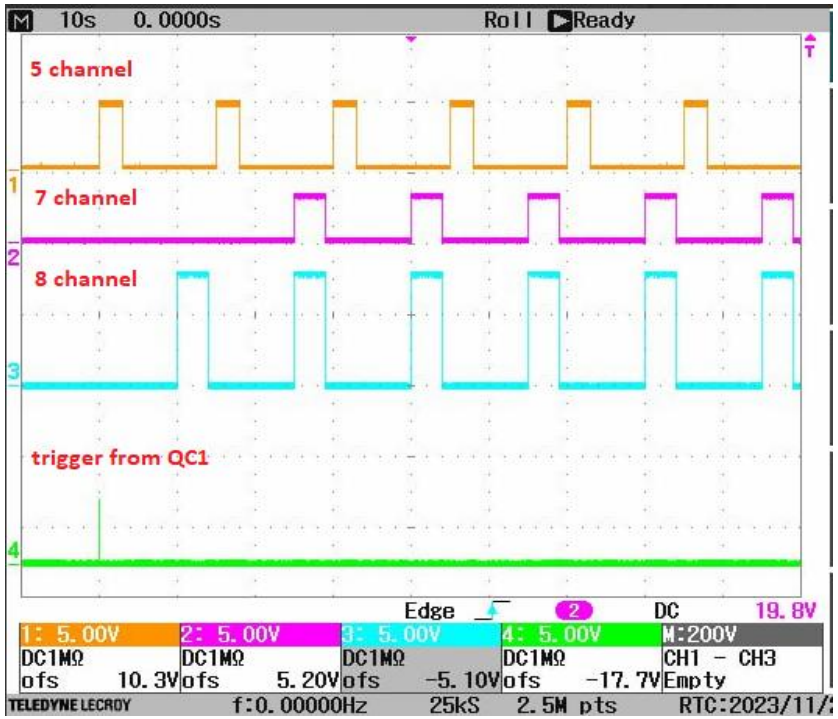
3) Configuration triggering from internal or external trigger

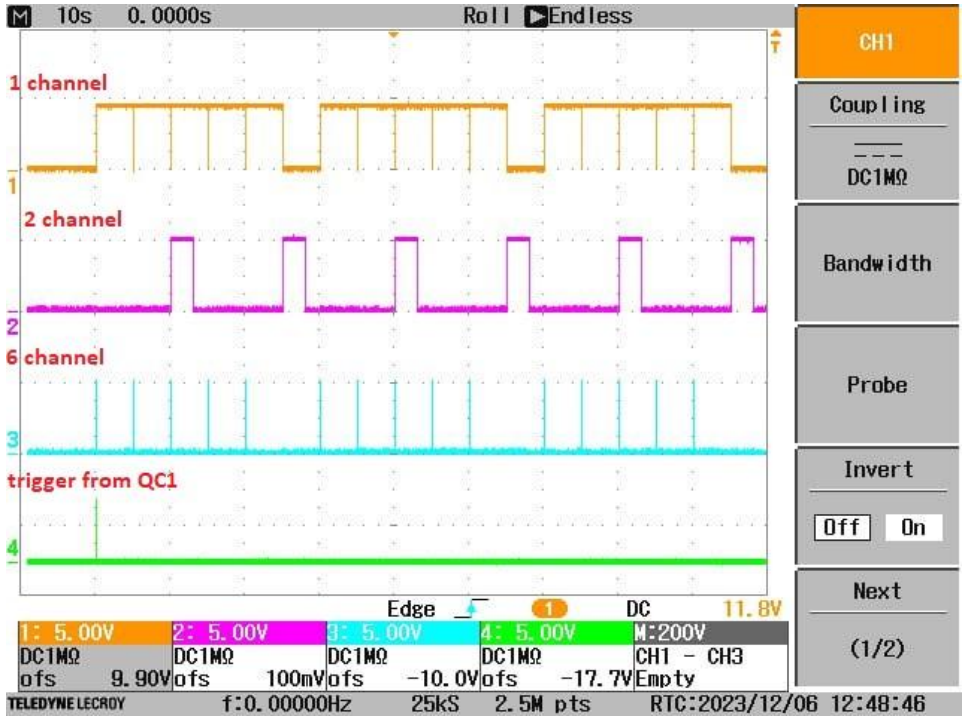
4) SCPI operation via TCP/IP Ethernet.



Output signals for polarizations cells control (QC2)

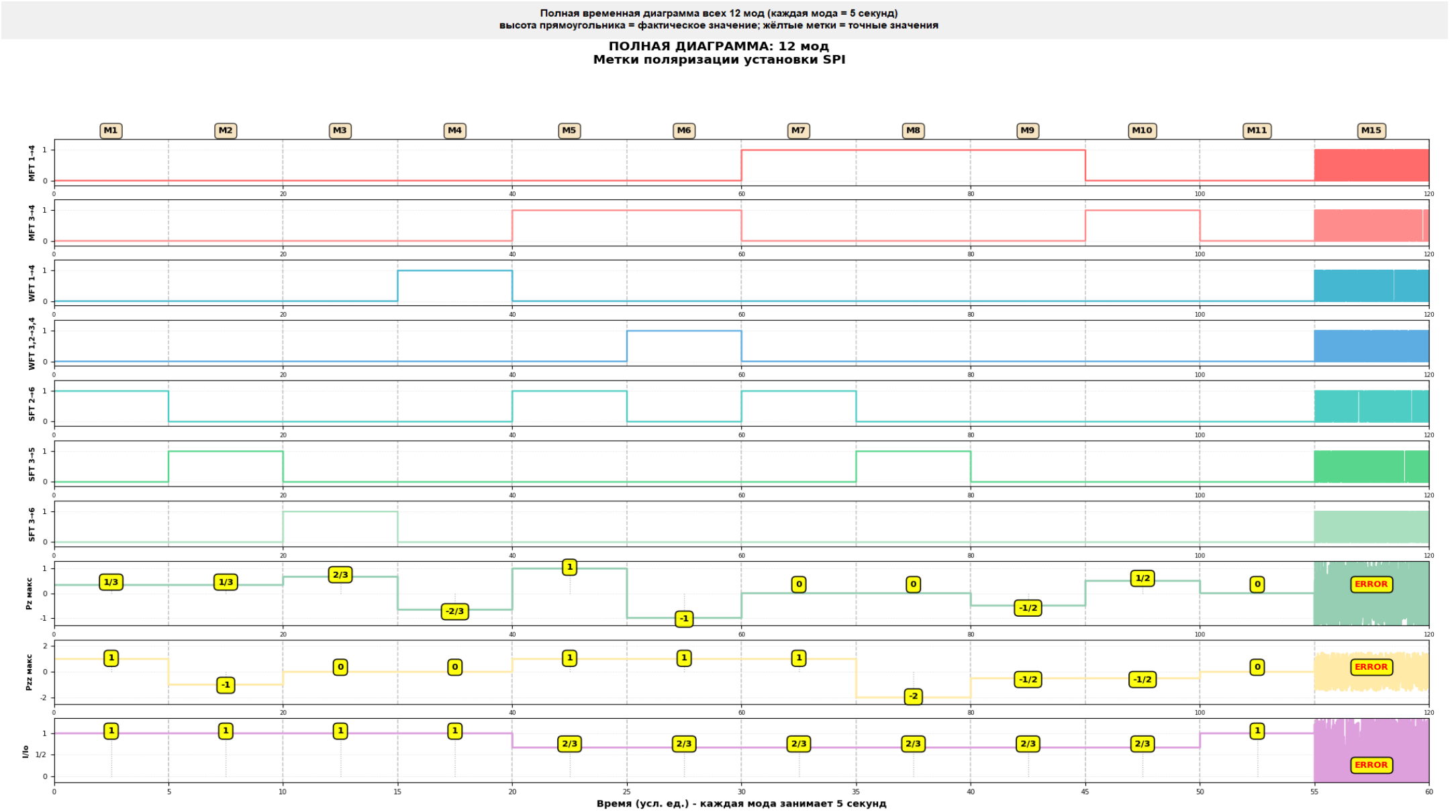
5channel	7channel	8channel	1channel	2nd ch	6th ch	Trigger from QC1
Polarization tag – is ON: **RF WFT is on** **dcycle** **delay 0 s** **width 3 s** **On cycle 1** **Off cycle 2** **Wait cycle 0** **Amp 4.35 V**	SFT 0.5 A (2->6) is ON: dcycle delay 5 s width 4 s On cycle 1 Off cycle 2 Wait cycle 4 Amp 3.05 V	SFT 1.75 A (3->5) is ON: dcycle delay 5 s width 4 s On cycle 1 Off cycle 2 Wait cycle 1 Amp 3.05 V	Polarization tag + is ON: Dcycle delay 0.009 s width 4.9902 s On cycle 5 Off cycle 1 Wait cycle 0 Amp 4.35 V	Polarization tag is 0 dcycle delay 0 s width 3 s On cycle 1 Off cycle 2 Wait cycle 2 Amp 4.95 V	RF SFT is ON dcycle delay 0.003 s width 0.01 s On cycle 5 Off cycle 1 Wait cycle 0 Amp 4.95 V	Trigger QC2 delay 0 s width 0.00004 s Amp 5 V





Signals for polarizations tags (Duty cycle , On cycle , Off cycle, Wait cycle examples)

Required spin modes In accordance with the technical requirements

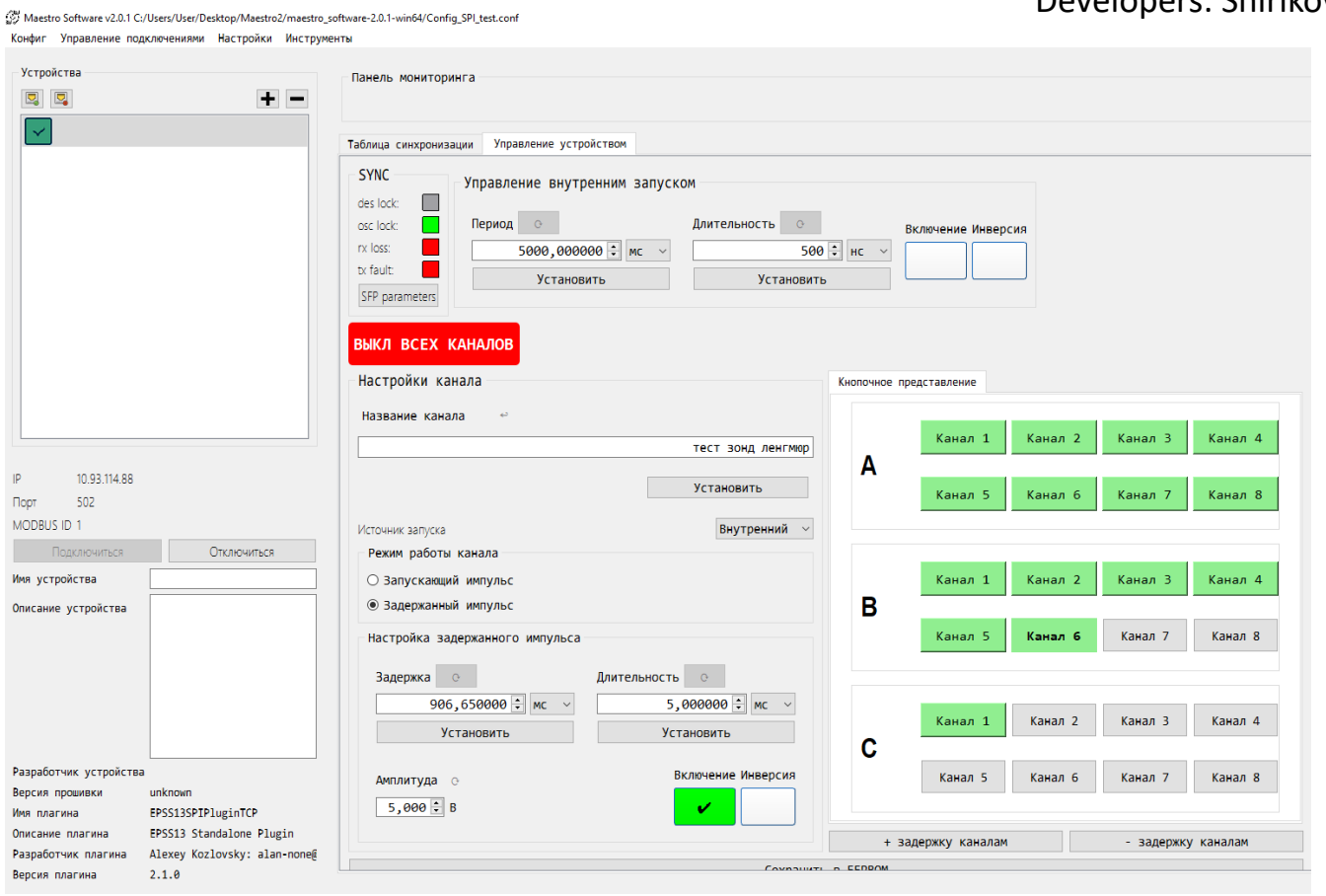


Custom-built control signal generator



28 channel signal generator based on Altera Cyclone IV FPGA

Developers: Shirikov I. , Donguzov I., Kozlowskiy A., Krasnyakov A. and others.



Software client for managing and configuring generator channels

Таблица синхронизации | Управление устройством

	№	Устройство	Имя	Задержка	Длительность	Вкл.		Инв.	
1	A1		Клапан D2(H2) диссоциатор	903.5 мс	200 мкс	✓	да		нет
2	A2		Модулятор ГВЧ диссоциатора	903.5 мс	50 мкс	✓	да		нет
3	A3		Клапан H2(D2) дуговой источник	906.5 мс	150 мкс	✓	да		нет
4	A4		Запуск осциллографа GWinstek	907.2 мс	35 мкс	✓	да		нет
5	A5		Запуск масс-спектрометра	907.2 мс	1 мкс	✓	да		нет
6	A6		Запуск осц. Tektronix	907 мс	2000 мкс	✓	да		нет
7	A7		Запуск блока поджига	907.215 мс	35 мкс	✓	да		нет
8	A8		Запуск блока разряда	907.235 мс	150 мкс	✓	да		нет
9	B1		Запуск уск. напряжения	907.15 мс	500 мкс	✓	да		нет
10	B2		Пролетный (инд.) датчик	907.2 мс	1 мкс	✓	да		нет
11	B3		Упр. COIL2: вкл/выкл	300 мс	1000 мс	✓	да		нет
12	B4		Test	100 нс	1000 мс	✓	да		нет
13	B5		GWinstek катушки дугового	400 мс	1000 мс	✓	да		нет
14	B6		тест зонд ленгмюр	906.65 мс	5 мс	✓	да		нет
15	B7			1600 нс	100000 нс		нет		нет
16	B8		START FOR ADC	1 мс	9000 мс		нет		нет
17	C1		START FOR ADC2	1 мс	9999.36 мс	✓	да		нет
18	C2		Actual start_test_sig	1 мс	9000 мс		нет		нет
19	C3		test sign2	1 мс	400 мс		нет		нет
20	C4			1 мс	200 нс		нет		нет
21	C5			100 нс	5000 мс		нет		нет
22	C6			1 мс	9000 мс		нет		нет
23	C7			2400 нс	100000 нс		нет		нет
24	C8			1 мс	1000 мс		нет		нет

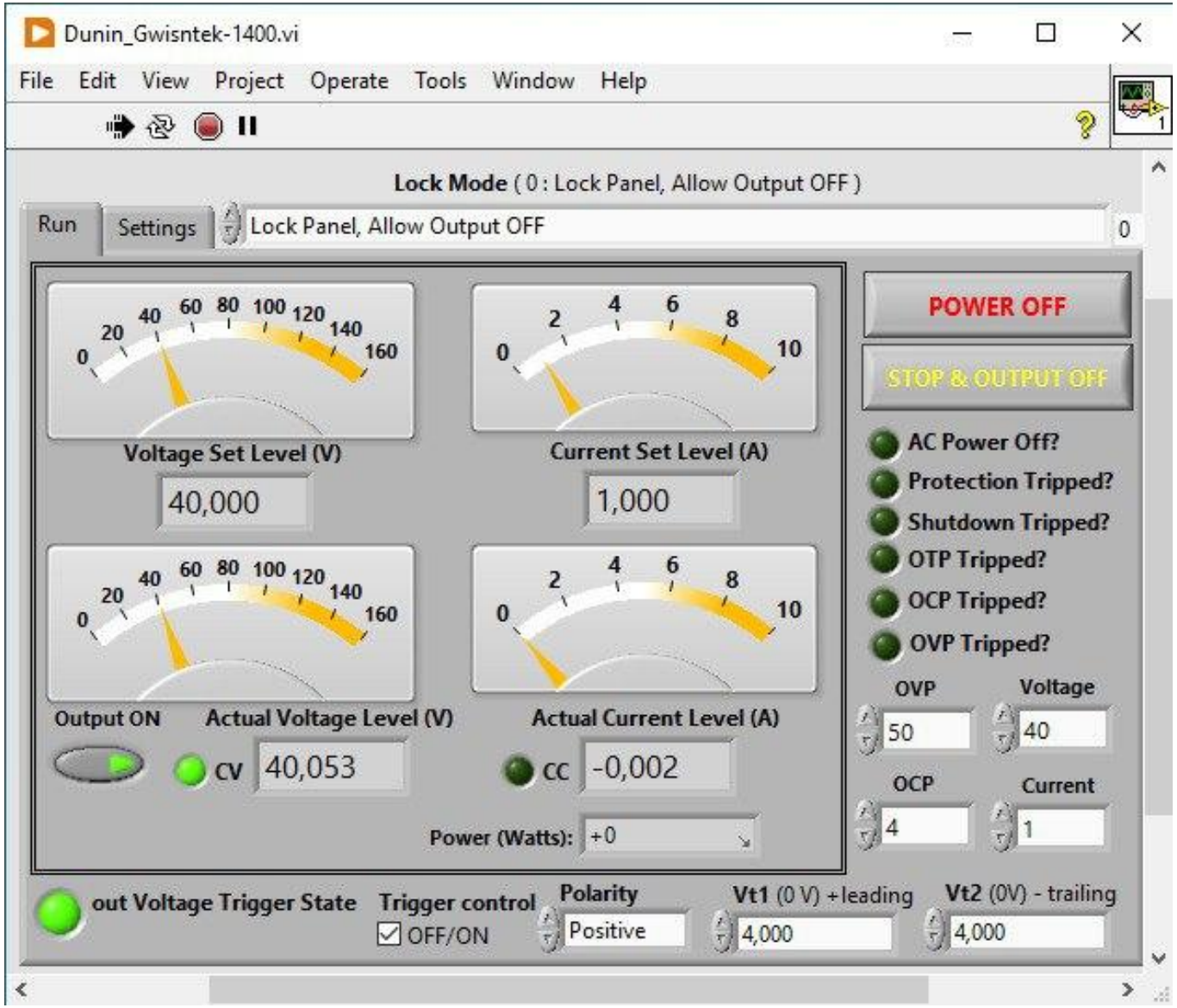
Synchronization table for configured channels

Communication protocol
Request packet example.

Request example (0x0106000A700CF80C0106000C4E20E80C0106000E0011F80C**):**
01 06 00 0A 70 0C F8 0C (Delay 907,15 ms) +
01 06 00 0C 4E 20 E8 0C (Width 500 us) +
01 06 00 0E 00 11 F8 0C (Output is ON).

- **Model (Request → Response):**
- **State monitoring(Read-Only):** Устройство постоянно отслеживает параметры SFP-модулей (температура, напряжение, мощность), статус подключения и наличие сигналов, а также счетчики ошибок ModBus. Эта информация доступна для чтения из **Input Registers (адреса 0x0000–0x000E)**.
- **Channels configuration (Read/Write):** Пользователь через интерфейс ModBus (RTU/TCP) настраивает 24 выходных канала, записывая данные в **Holding Registers**:
  - Выбирает **источник старта** для каждого канала (внешние входы IO1-IO16, внутренний формирователь или оптический сигнал RF_IN).
  - Задает **задержку** относительно старта и **длительность** выходного импульса.
  - Устанавливает режим работы и **амплитуду** выходного сигнала (от 0 до 12В).
- **Timing control (Read/Write): Настраивается внутренний генератор: период и длительность импульса внутреннего старта** (адреса 0x0002–0x0005), а также параметры тактового генератора (адреса 0x009A–0x009D).
- **Формирование сигнала:** Получив импульс "Старт" от выбранного источника, устройство, используя системную частоту (10 МГц и 40 МГц), формирует на заданных каналах импульсы с точно установленными задержкой, длительностью и амплитудой.
- Устройство — это **программируемый 24-канальный генератор импульсов** с мониторингом SFP-модулей. Управляется через ModBus: на входе — команды (задержки, длительности, амплитуды), на выходе — прецизионные импульсы.

Power supply for MFT and WFT
GW Instek 1400M (0-160 V, 0 -10 A, 400W)



LabVIEW software client for control and monitoring Gwinstek 1400

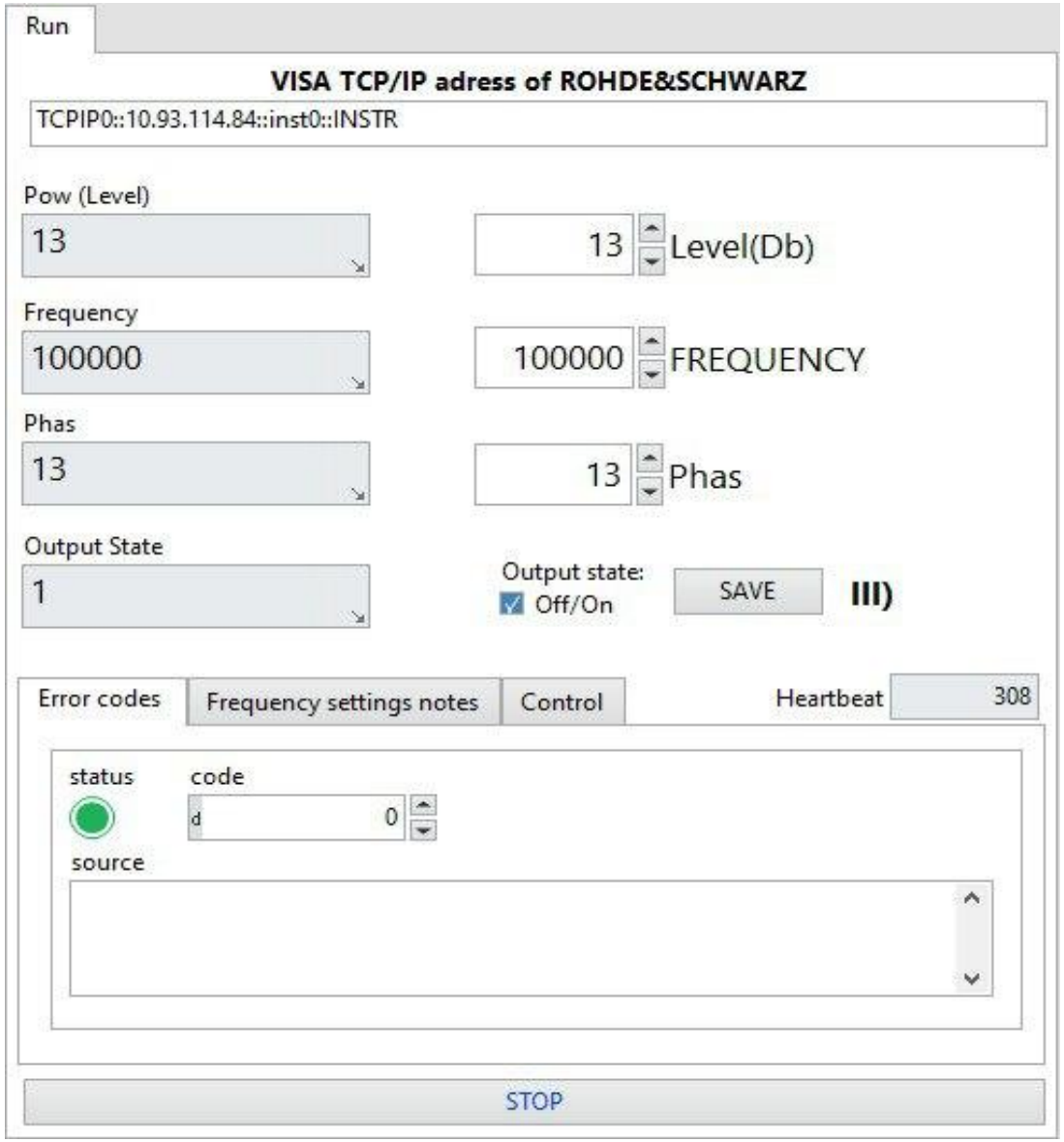
Power supply
for using with following polarization cells:

- MFT
- WFT



Gwinstek PSB 1400M Multi-Range DC PS

Software client for Rohde&Schwarz SMB100A configuration



LabVIEW software client for control and monitoring Rohde&Schwarz SMB100A

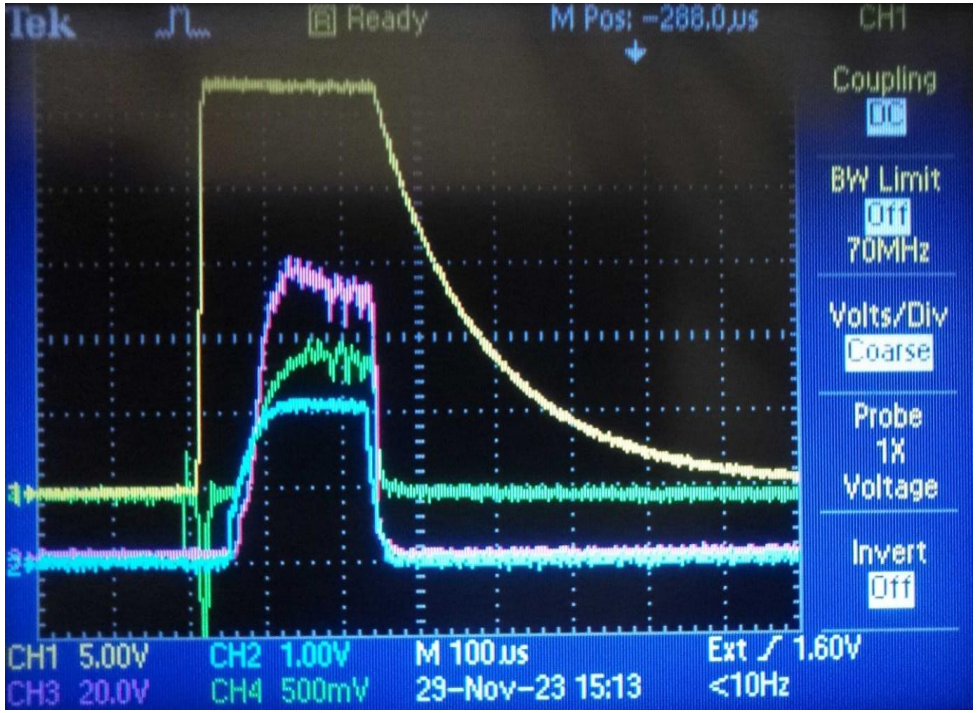
Frequency generator for polarization cells:

- SFT



Rohde&Schwarz SMB100A generator

Feedback control using ADC/DAC modules



Feedback signals for polarization control

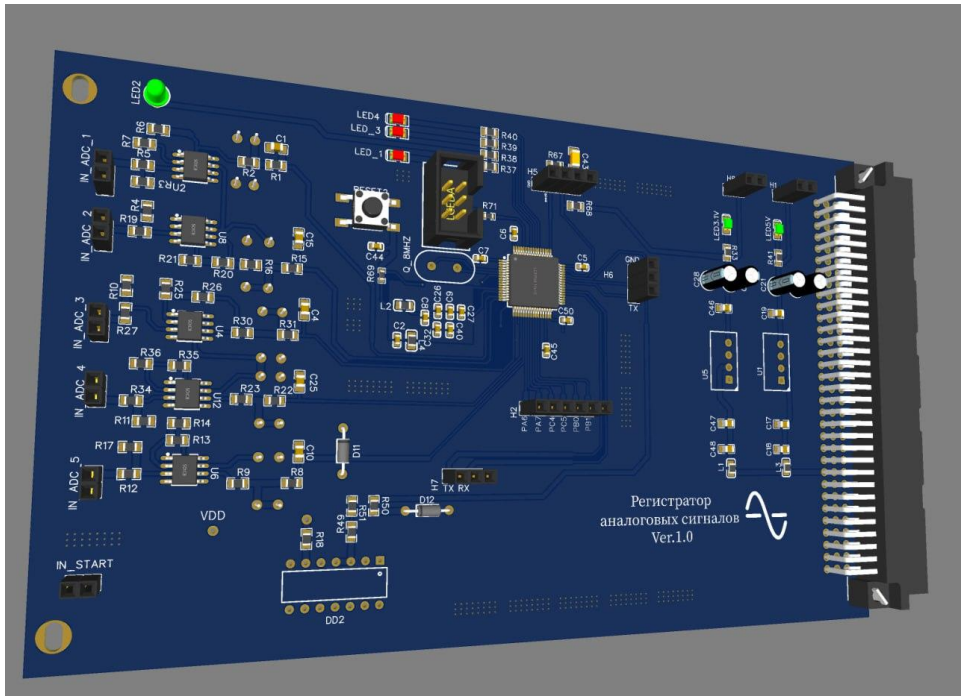
Yellow – high voltage on the first electrode of the extraction system;

Pink – ion current signal on the corner collector (Faraday cup) after the bending magnet (and the separating magnet performs separation of the beam into components such as H_2^+ ...);

Green – current in the power supply circuit of the high-voltage source;

Blue – plasma source current pulse;

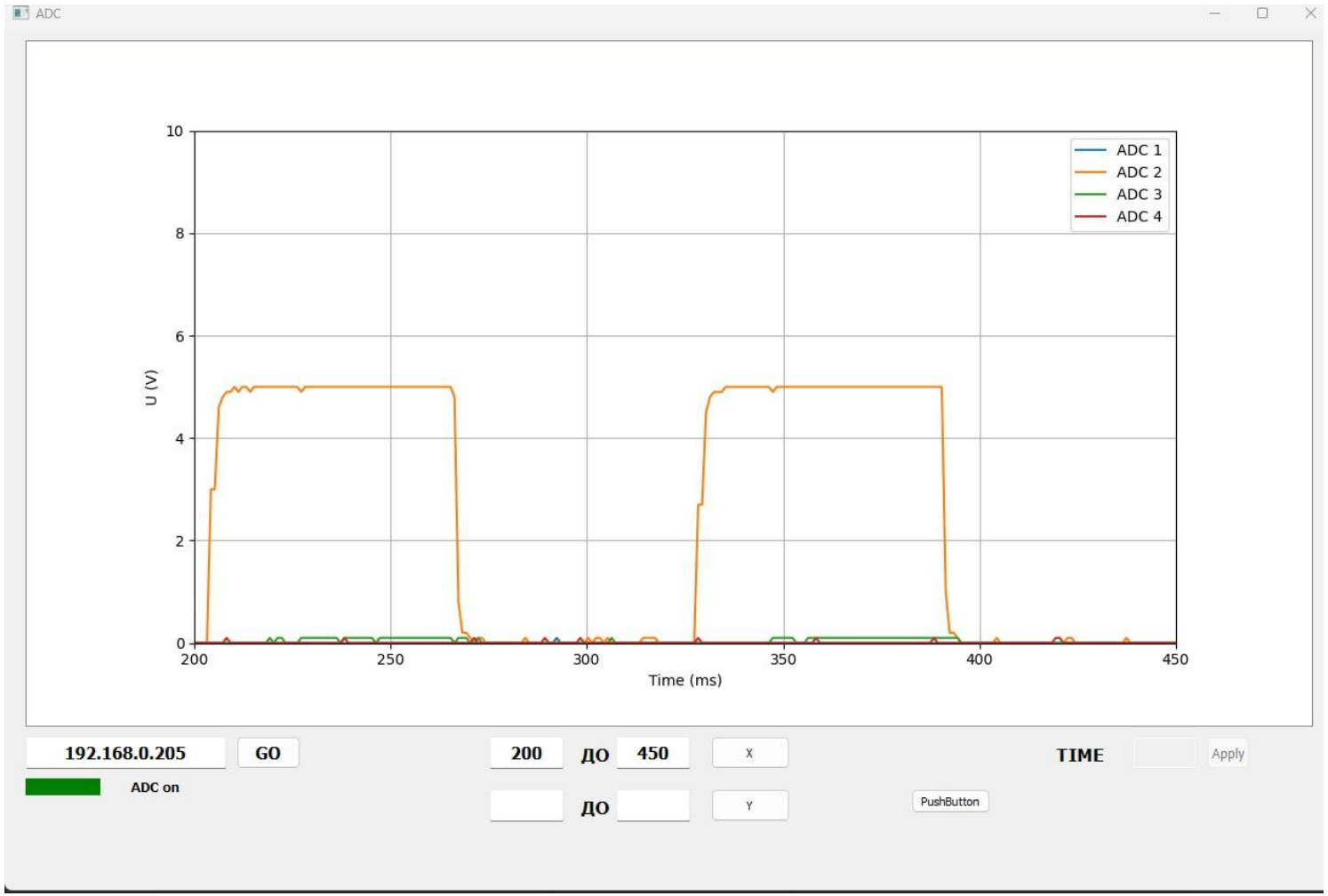
The oscillogram is used to assess the correct operation of the SPI, specifically for the absence of breakdowns.



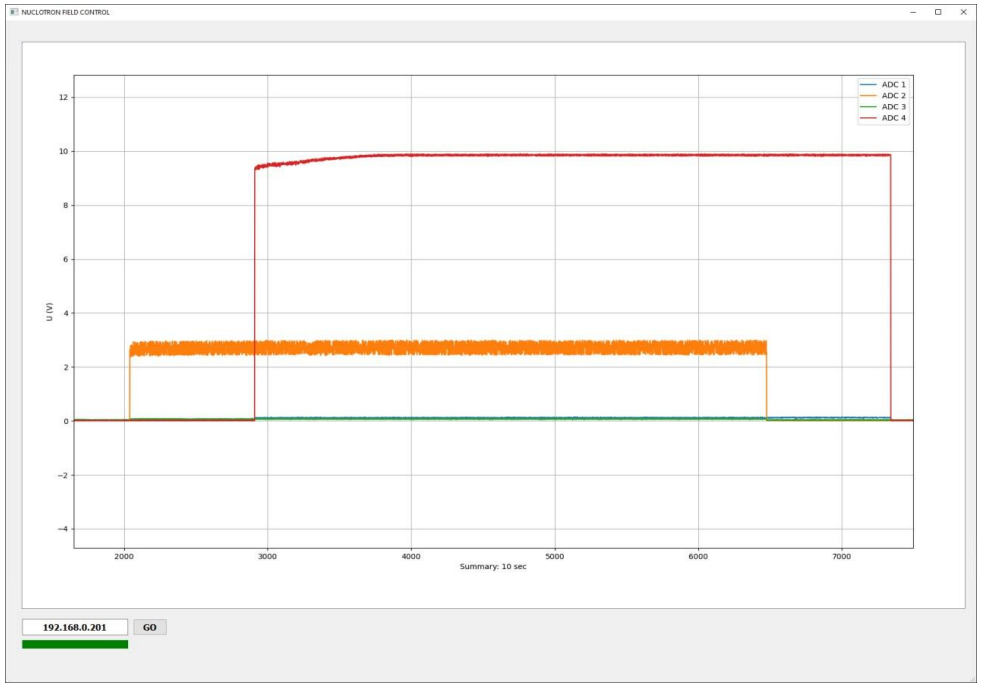
3d PCB model for custom Signal Registrator module based on STM32 (Euromechanics Crate)

Developers: Karpuk A. , Yablochkin M.

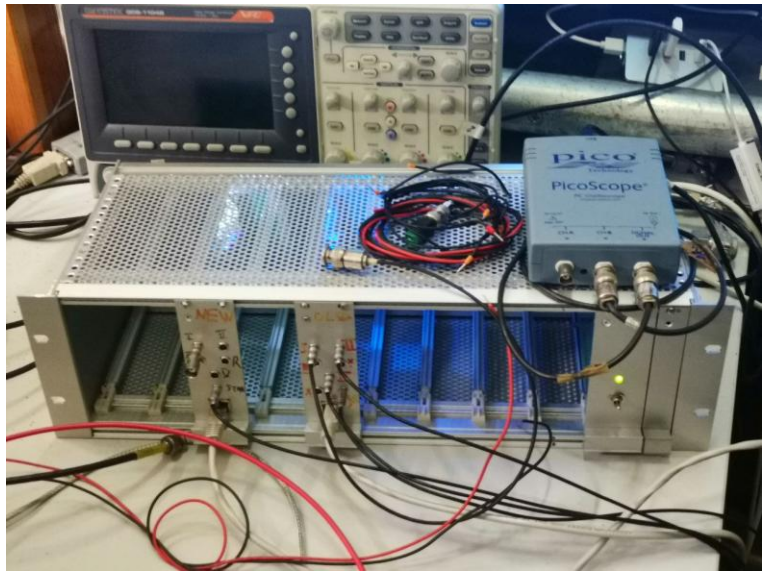
ADC/DAC modules software clients based on PyQT



PyQt software client for monitoring a four-channel ADC based on STM32
Measurement of millisecond signals



Measurement of millisecond signals



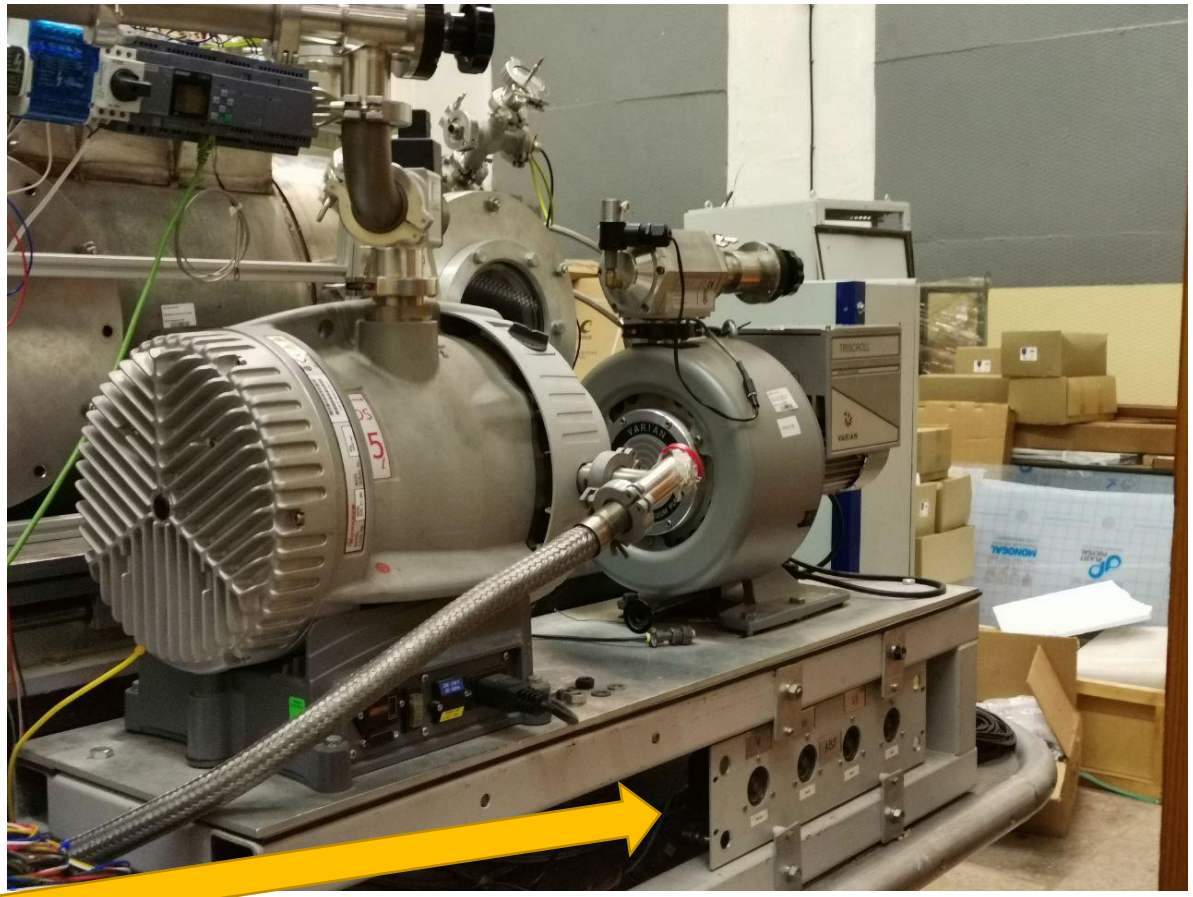
Developers: Karpuk A. , Yablochkin M.

Water monitoring for SPI

Proteus 100 series flow switches (8 DI)



https://www.proteusind.com/product/100-series-flow-switch/

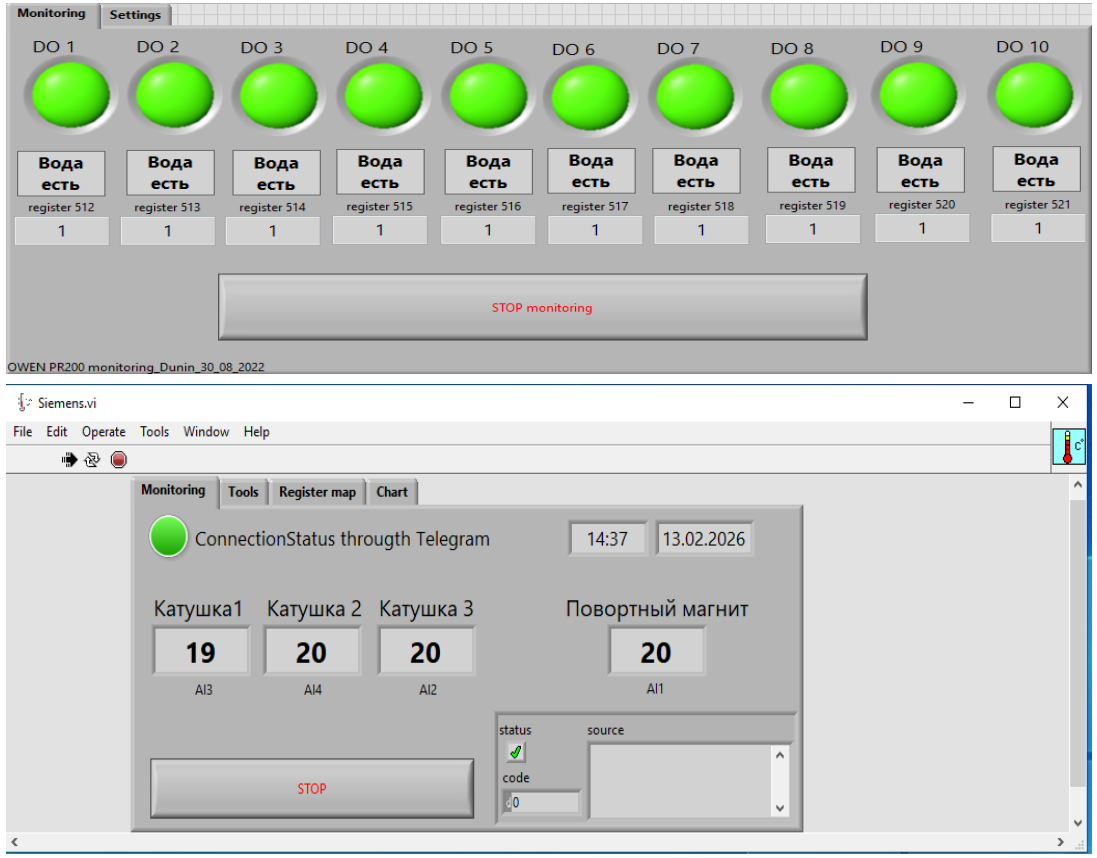


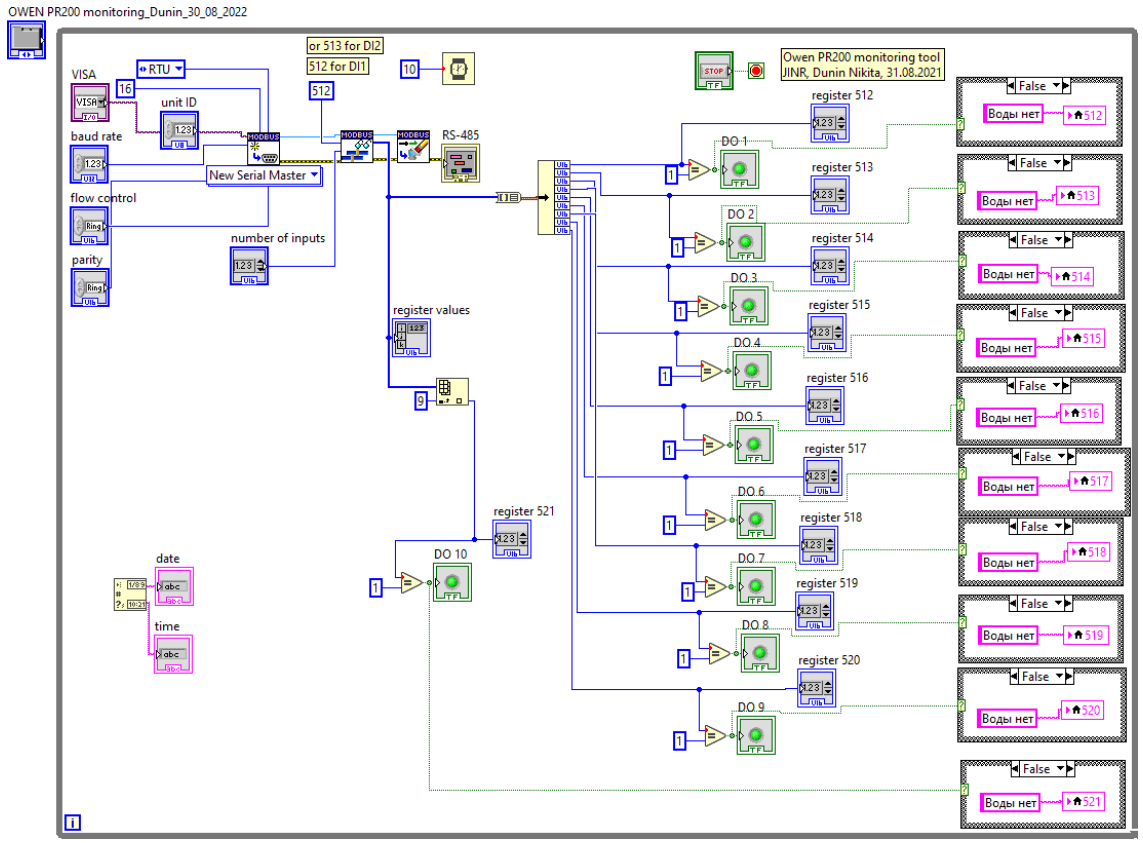
Coolant loop monitoring (water)

8 channels digital (24 V) input for Siemens PLC

8 channels water monitoring for SPI

Features:





- Modbus protocol implementation
- Possibility to control different signals two pt100 temperature sensors ,

  more digital input (24 V) up to 16channels

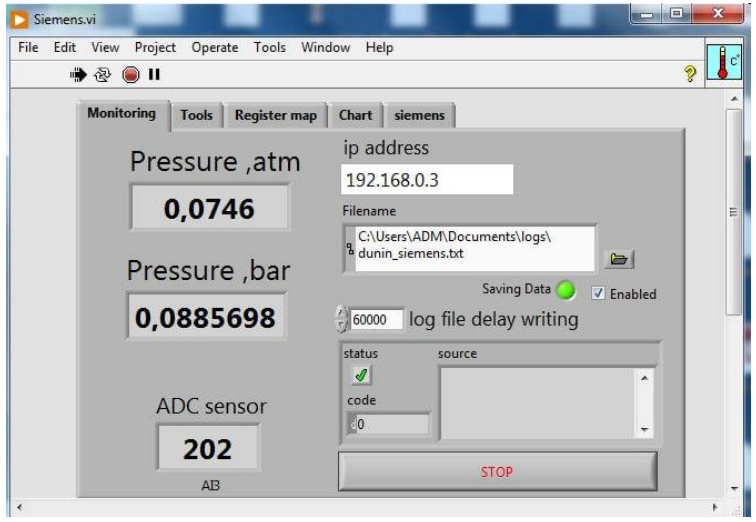
Results:

- A set of software modules has been developed in the LabVIEW 2020 and Python QT environment for the complete control and monitoring cycle of the experimental setup.
- Integration with heterogeneous equipment via standard interfaces (UART, TCP/IP, Modbus TCP/IP) has been ensured.
- An event-driven architecture has been applied to increase reliability.

Present time:
Operation in the SPI setup
(Source of Polarized Ions).

Future prospects:
Future application in the new ApOL setup
(Absolute Polarimeter for SPD)."

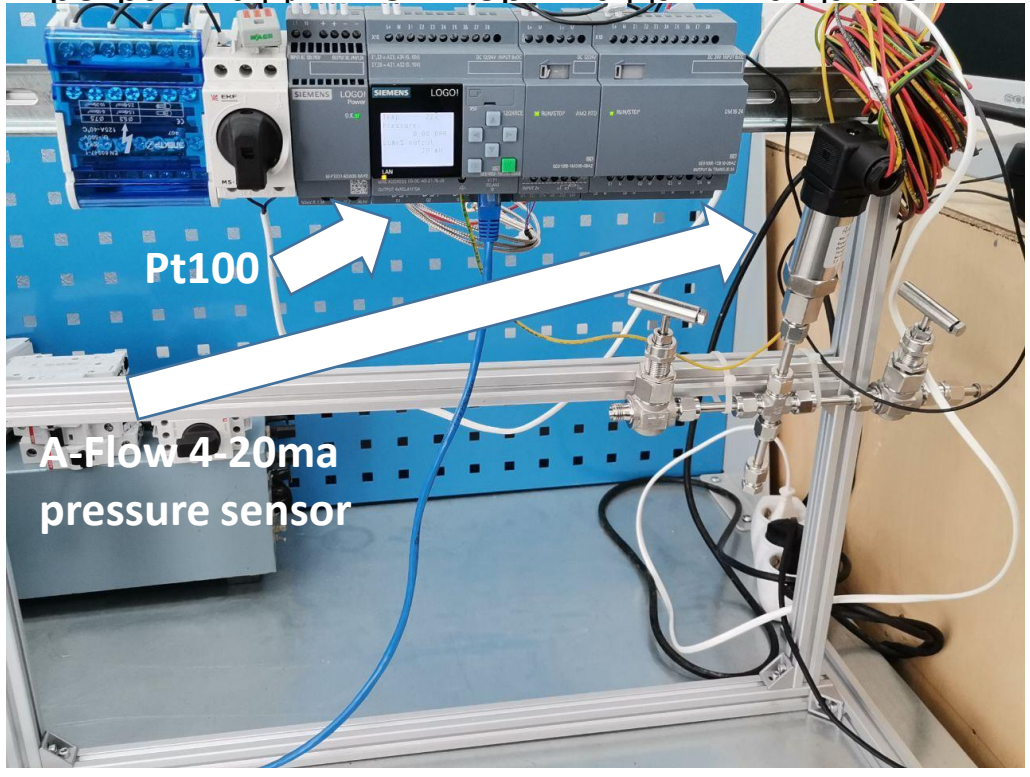
Автоматизация измерений калибровочного объёма



Программа для мониторинга датчика давления

Siemens LOGO controller





Система измерения интенсивности и профиля атомного пучка

$$\frac{\partial N_{D_2}}{\partial t} = \frac{V_{cal} \cdot \mu_{D_2}}{m_{D_2} \cdot R \cdot T_{cal}} \cdot \frac{\partial P_{cal}}{\partial t}$$

Формула для расчета



Двухосевой манипулятор



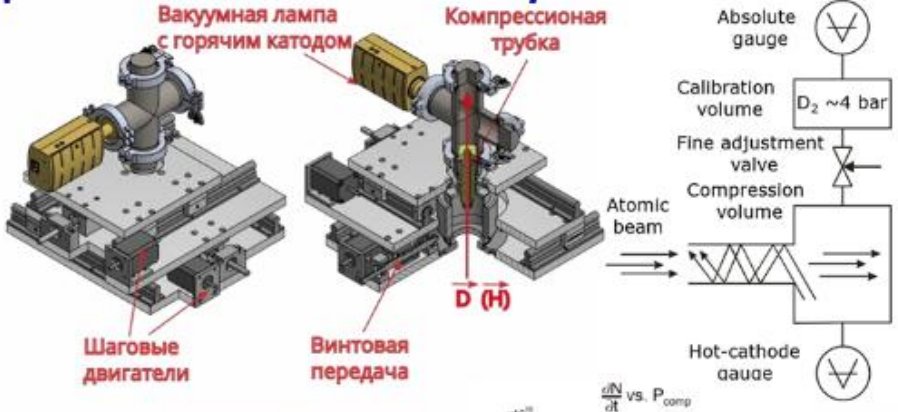
Контроллер B-RAX 3400

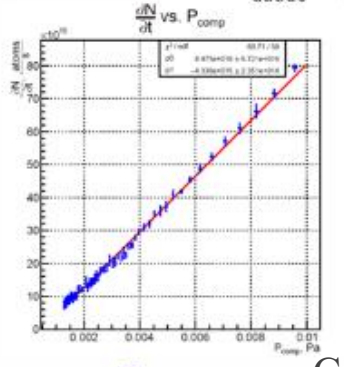


BA 601



Калибровочный объем





Пример калибровочной кривой