



Seminarium dyplomowe magisterskie

Pomiar pojemności czujnika oparty na oscylatorach
relaksacyjnych i mikrokontrolerze ATmega32U4

Autor prezentacji: Arkadiusz Borowicki
Opiekun: dr hab. inż. Zbigniew Czaja

WETI, Gdańsk 2024



Plan prezentacji

- cel pracy dyplomowej
- zadania do wykonania
- koncepcja rozwiązania
- opis matematyczny
- szczegółowa symulacja układu
- schemat ideowy
- projekt PCB
- oprogramowanie
- nadchodzące wyzwania
- literatura
- dyskusja



Cel pracy dyplomowej

„Celem pracy jest opracowanie i realizacja stanowiska laboratoryjnego składającego się z oscylatorów relaksacyjnych opartych na komparatorach analogowych i z miernika częstotliwości bazującego na module Arduino Micro oraz przeprowadzenie pomiarów pojemności czujników pojemnościowych.”

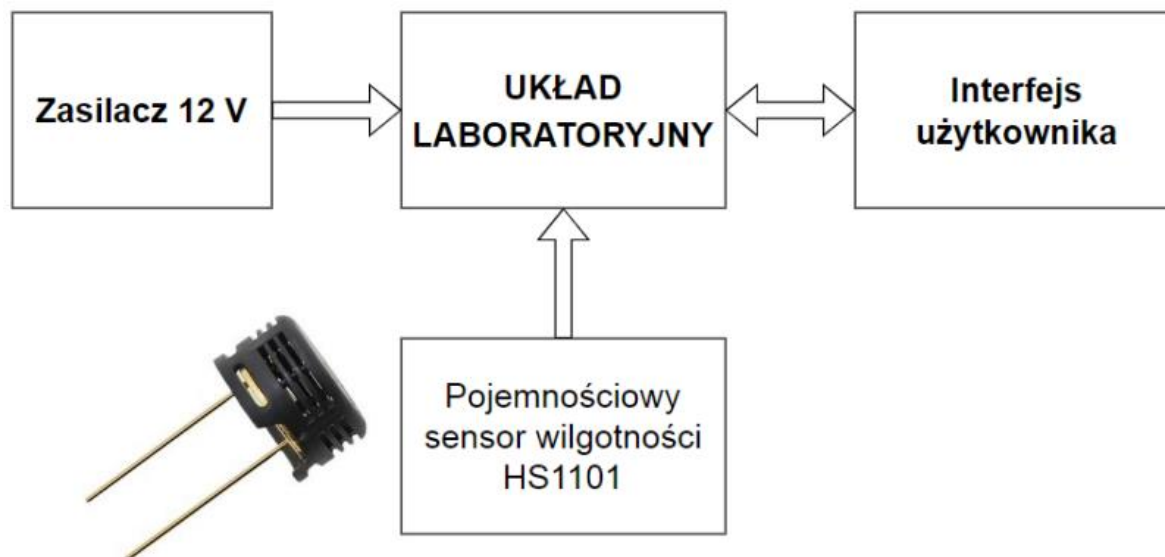


Zadania do wykonania

- Wyznaczenie opisu matematycznego badanego układu.
- Przeprowadzenie szczegółowej symulacji w programie LTSpice.
- Projekt układu kontrolera.
- Realizacja układu kontrolera.
- Utworzenie programu na mikrokontroler sterujący z wykorzystaniem sprzętowego modułu USB.
- Utworzenie aplikacji komputerowej służącej do sterowania układem pomiarowym i wizualizacji wyników w czasie rzeczywistym.
- Przeprowadzenie szczegółowych testów działania zrealizowanego układu, porównanie wyników pomiarowych wzorców matematycznych, symulacyjnych i rzeczywistych.
- Badanie wpływu pojemności wejściowych komparatorów na dokładność i precyzję pomiarów.
- Opracowanie dokumentacji technicznej układu sterownika i oprogramowania oraz instrukcji użytkownika.
- Implementacja funkcji migracji danych do programu Matlab, umożliwiając spersonalizowaną analizę danych.
- Zapewnienie w układzie PCB odpowiednich punktów pomiarowych na potrzeby edukacyjne.

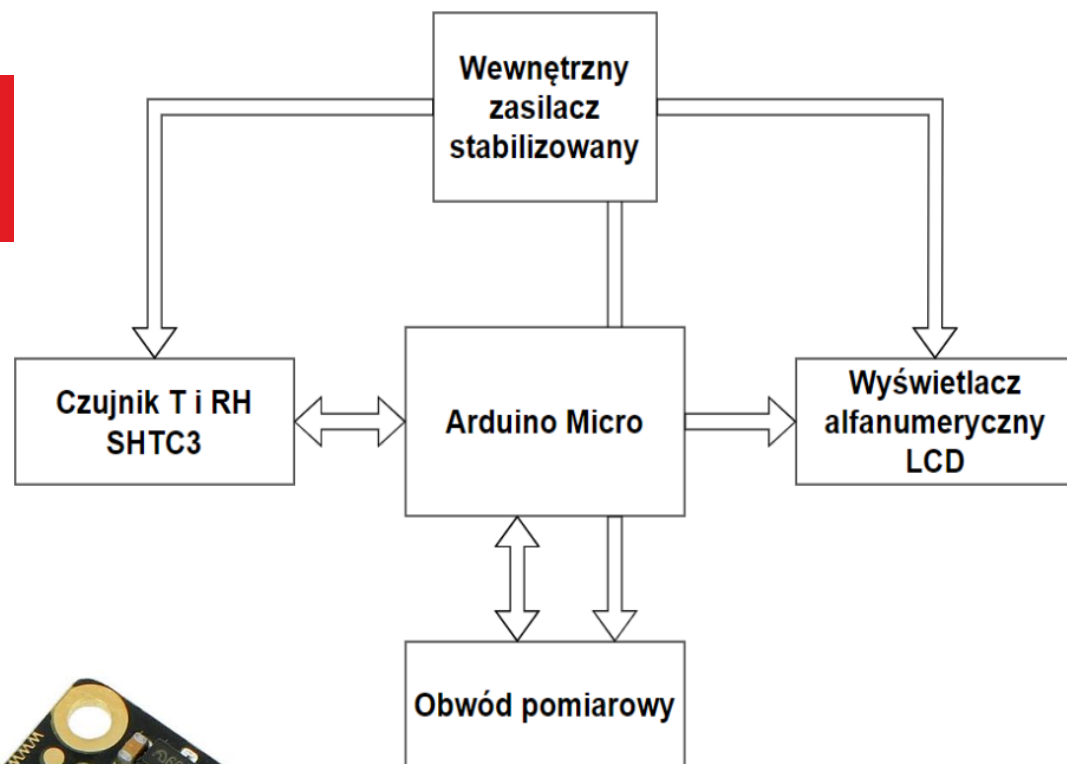
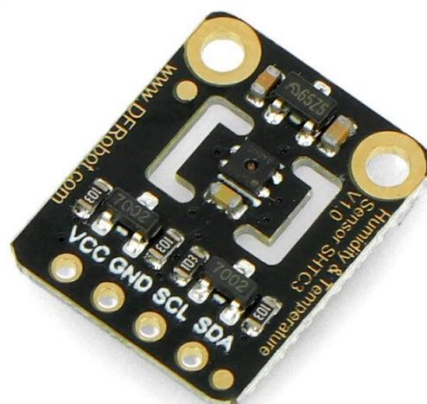
Koncepcja rozwiązania

- **Przebadanie wpływu pojemności wejściowych komparatorów na wyniki pomiarowe**
- **Wykorzystane komparatory do badań: LT1711, LT1713, LTC6752**
- **Kalibracja układu pomiarowego przy pomocy oprogramowania**
- **Możliwość pomiaru wilgotności względnej za pomocą czujnika pojemnościowego HS1101 (120 – 190 pF)**



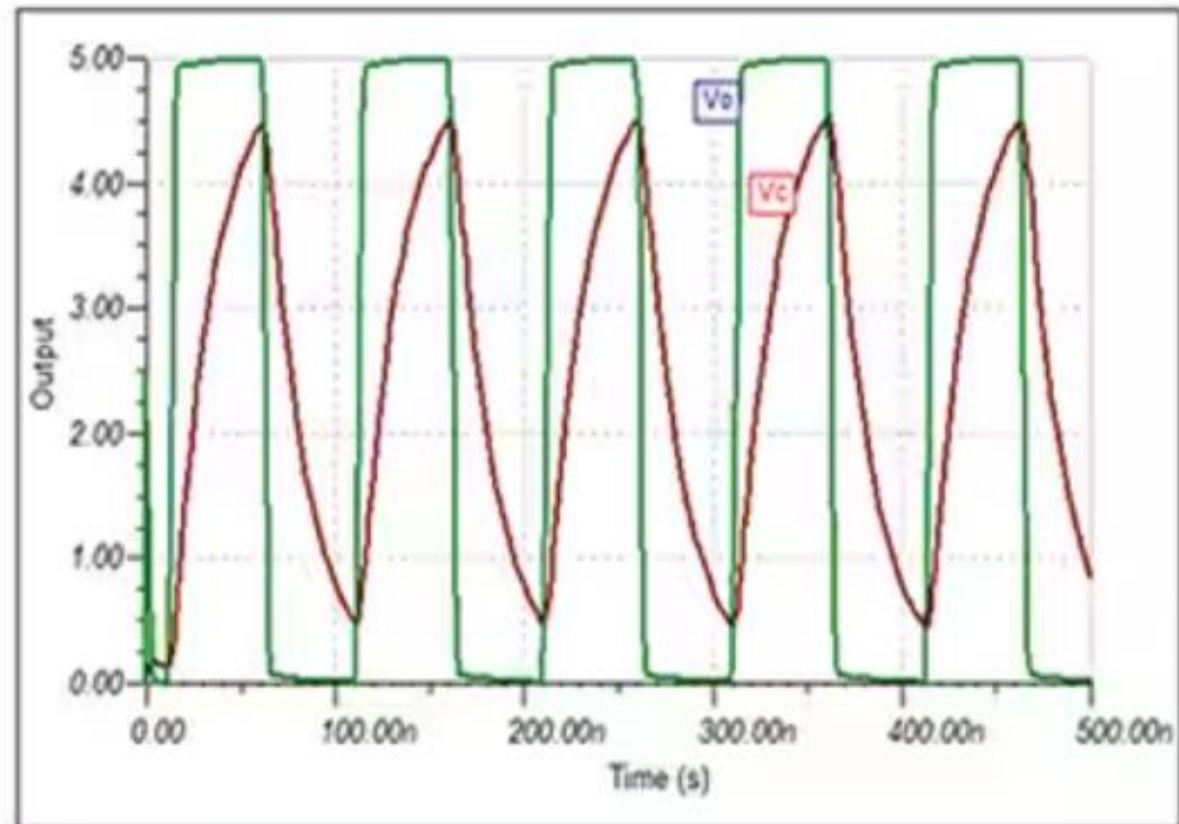
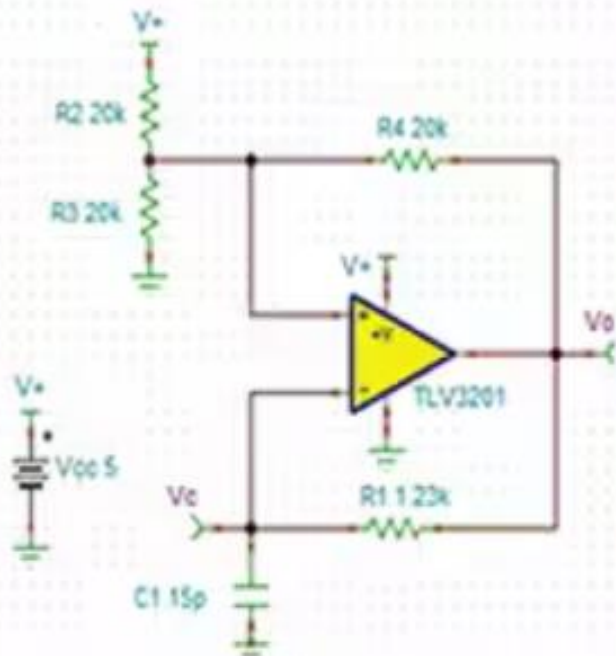


Koncepcja rozwiązania

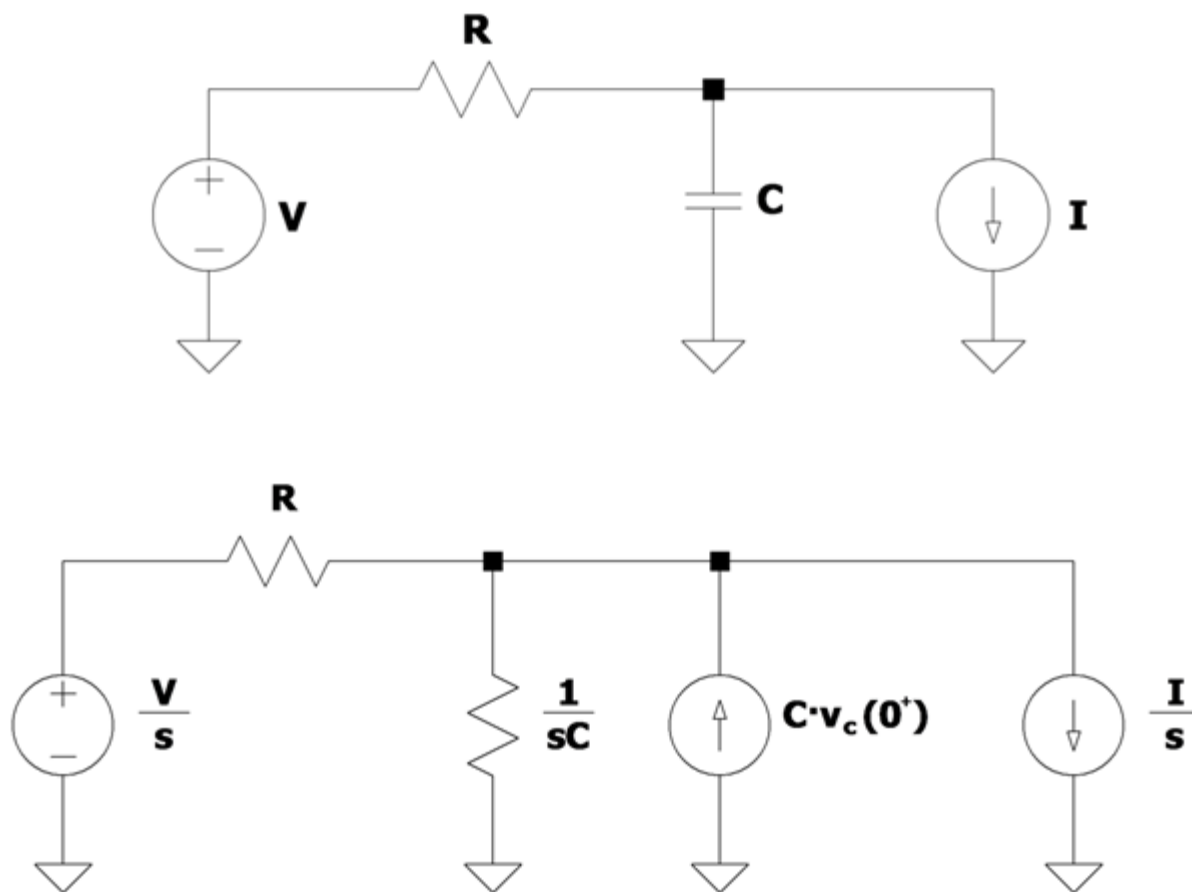




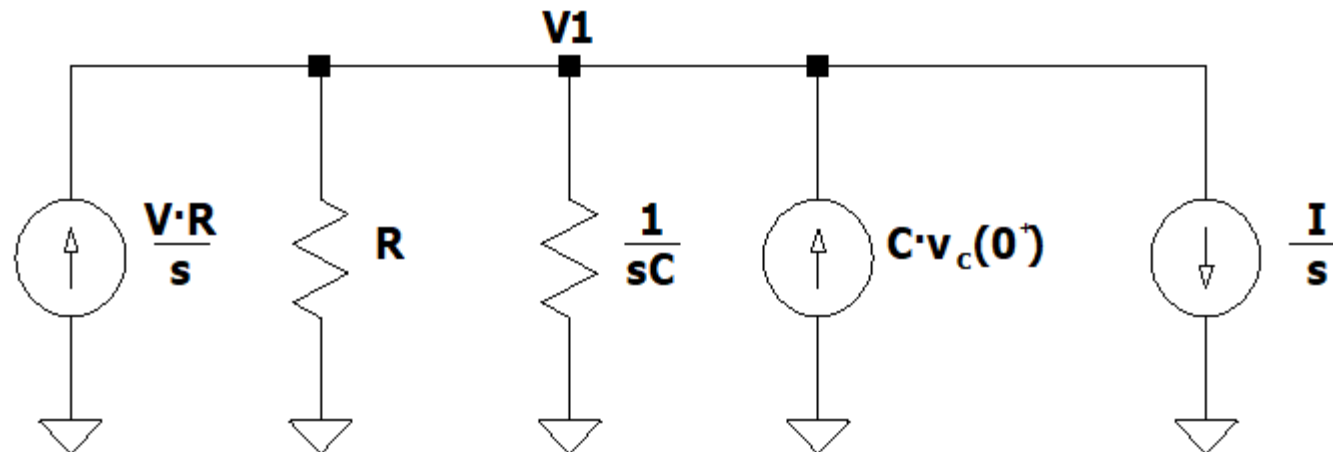
Koncepcja rozwiązania



Opis matematyczny badanego układu



Opis matematyczny badanego układu



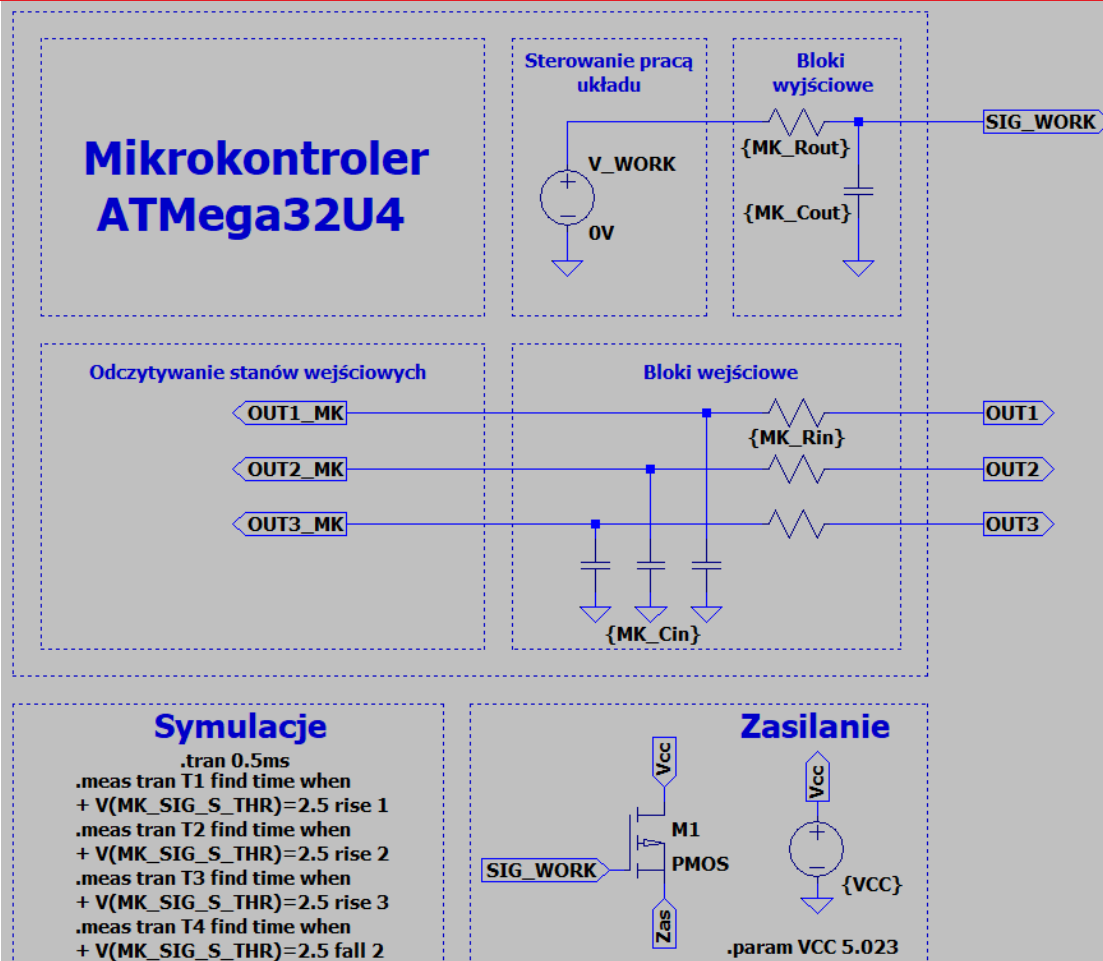
$$V1 = \frac{V \cdot \frac{R}{s} + C \cdot v_c(0^+) - \frac{I}{s}}{\frac{1}{R} + s \cdot C}$$

$$V1 = V + \exp\left(-\frac{t}{R \cdot C}\right) \cdot \left(v_c(0^+) - V + \frac{I}{R}\right) - I \cdot R$$

$$t = -C \cdot R \cdot \log\left(\frac{V1 - V + I \cdot R}{v_c(0^+) - V + I \cdot R}\right)$$

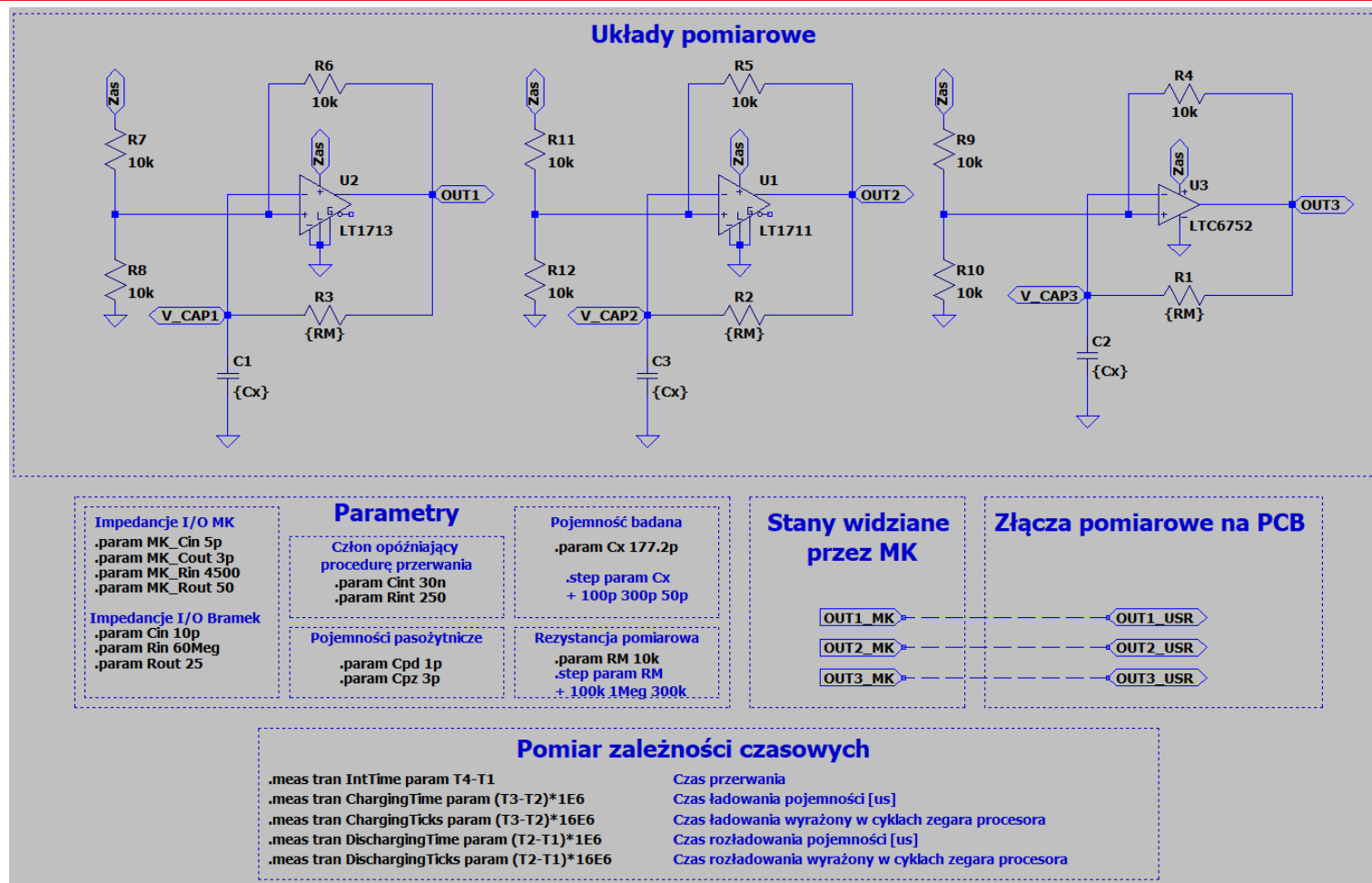


Symulacja układu pomiarowego



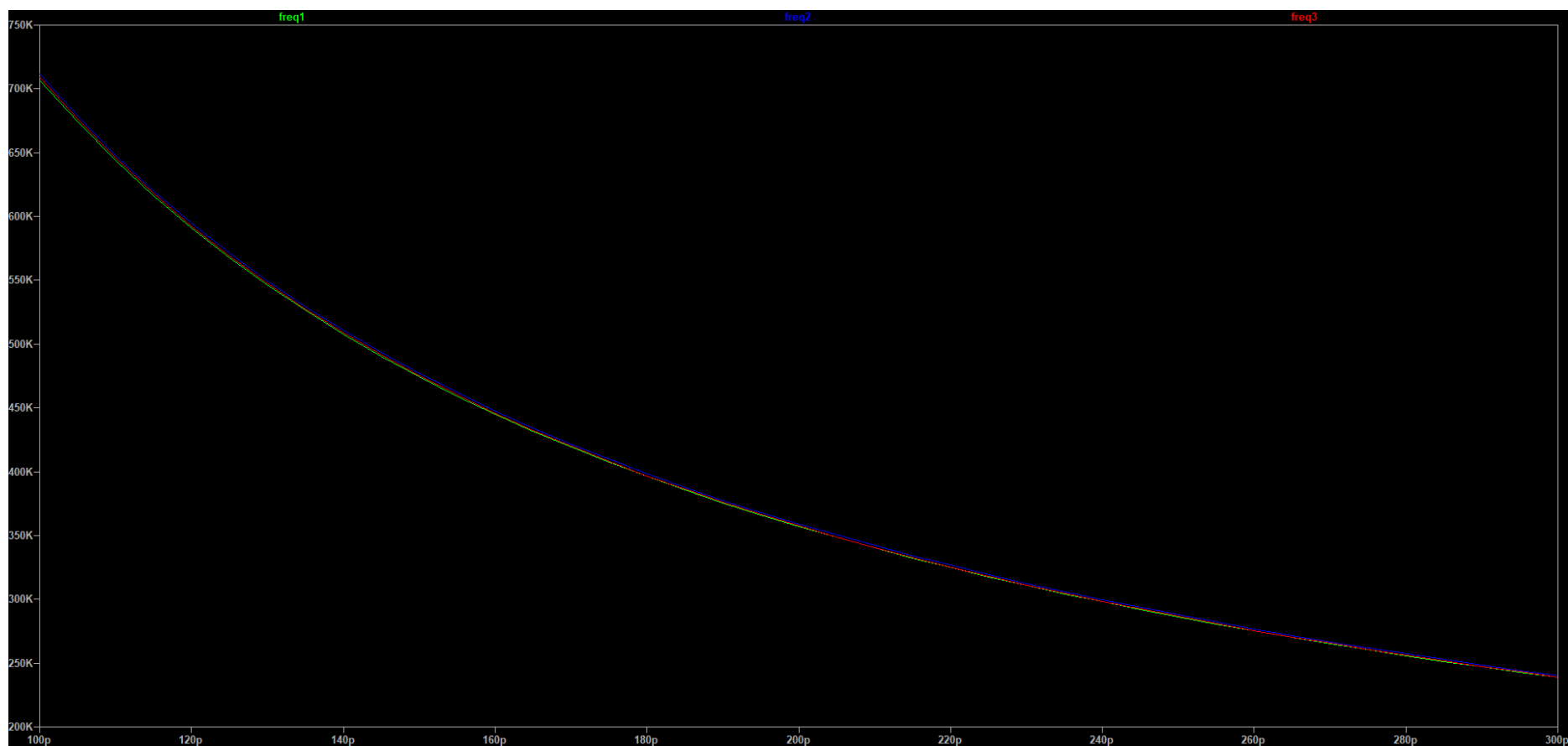


Symulacja układu pomiarowego



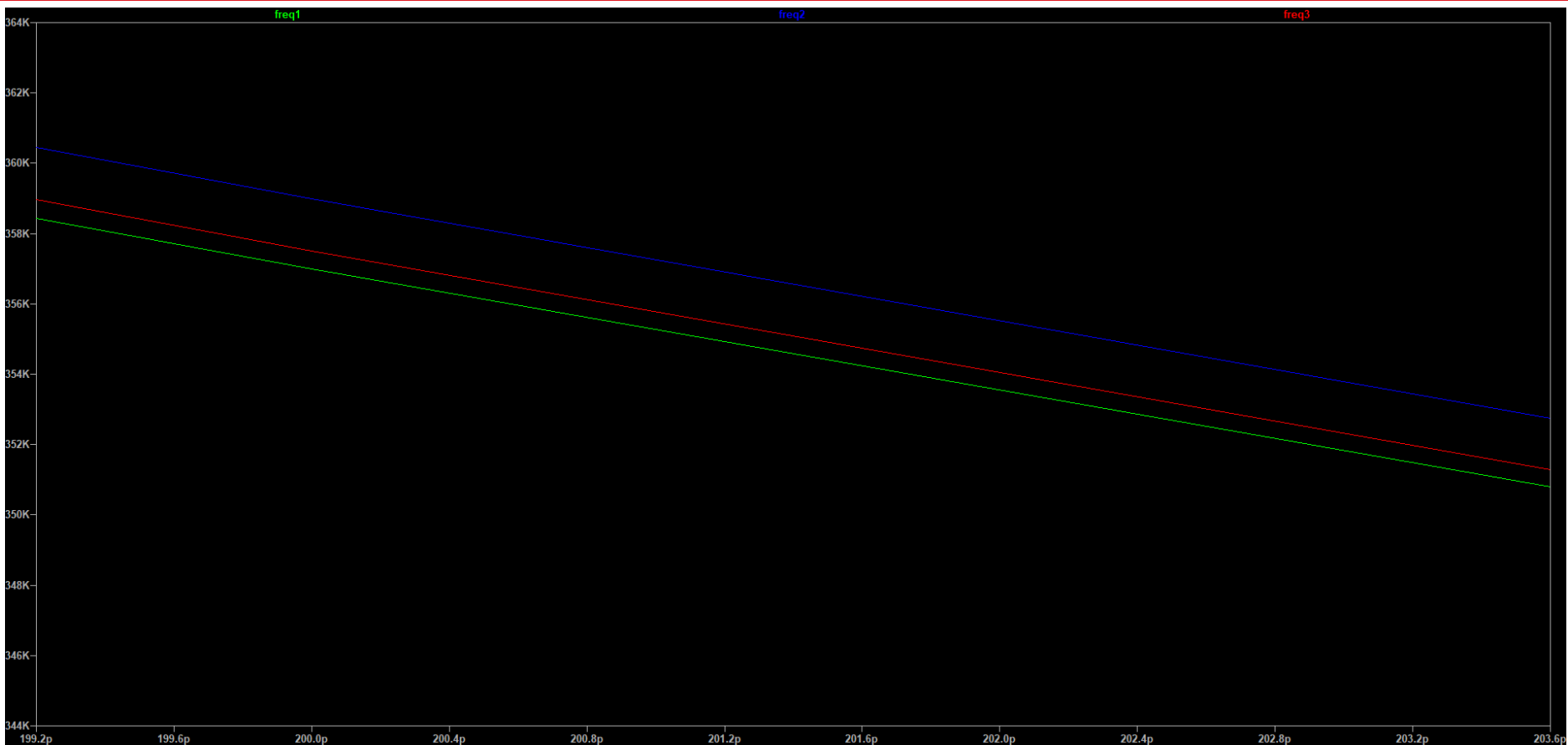


Symulacja układu pomiarowego pojemności 100 – 300 pF



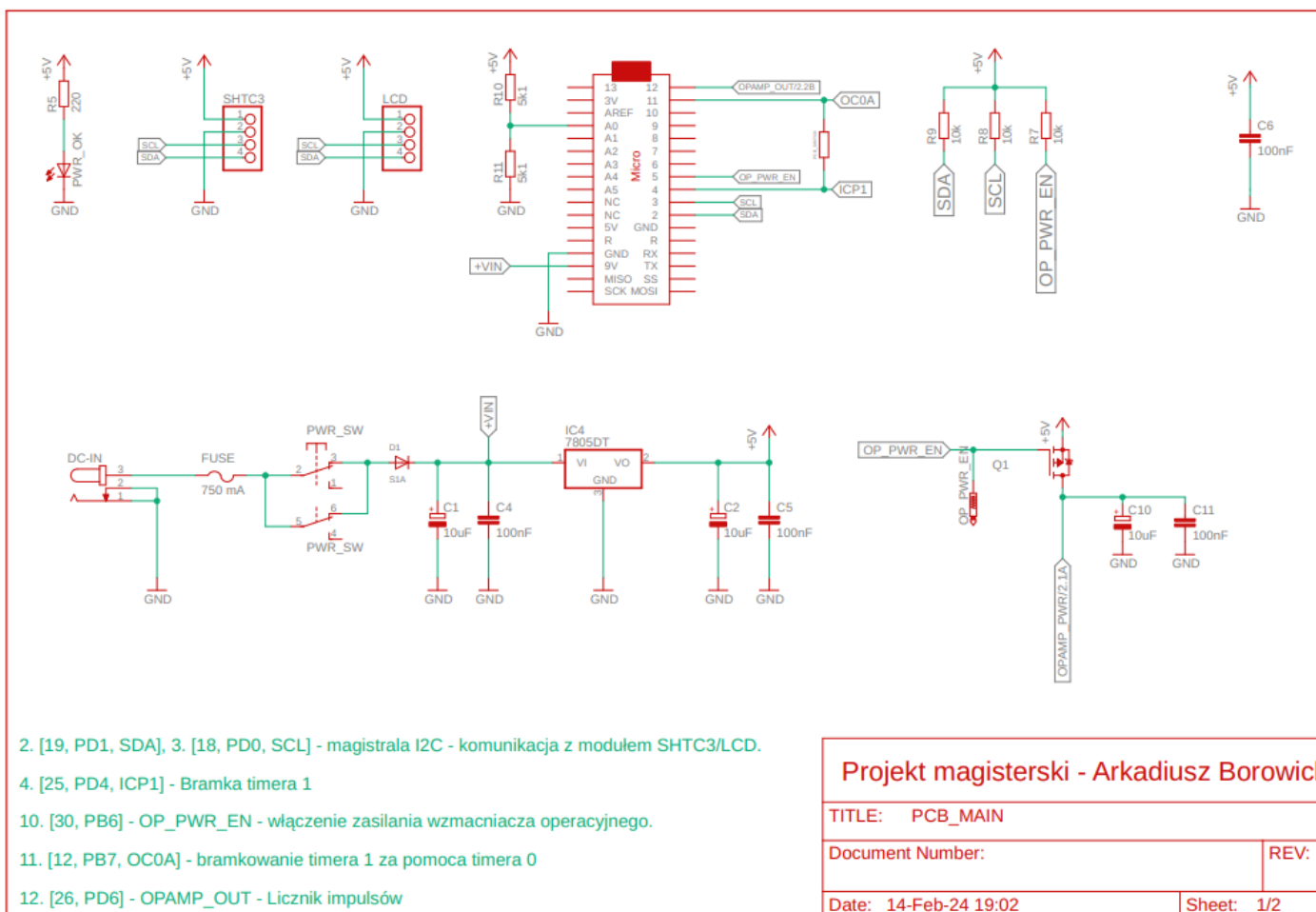


Symulacja układu pomiarowego pojemności 200 – 205 pF

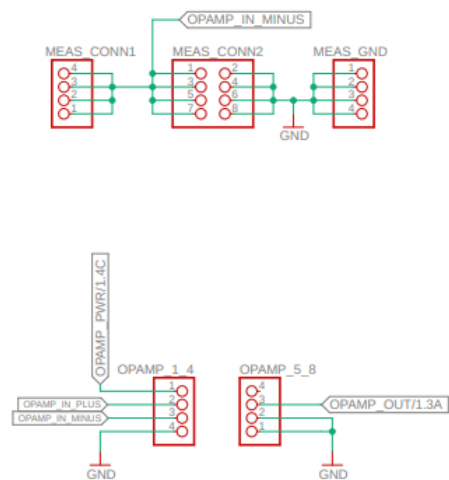
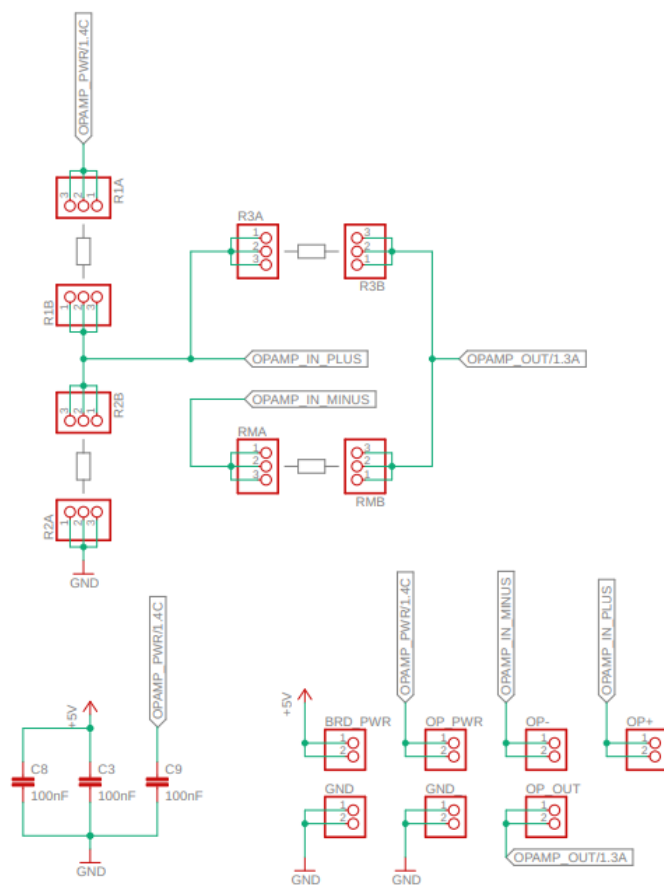




Schemat ideowy układu pomiarowego



Schemat ideowy układu pomiarowego



Projekt magisterski - Arkadiusz Borowicki

TITLE: PCB_MAIN

Document Number:

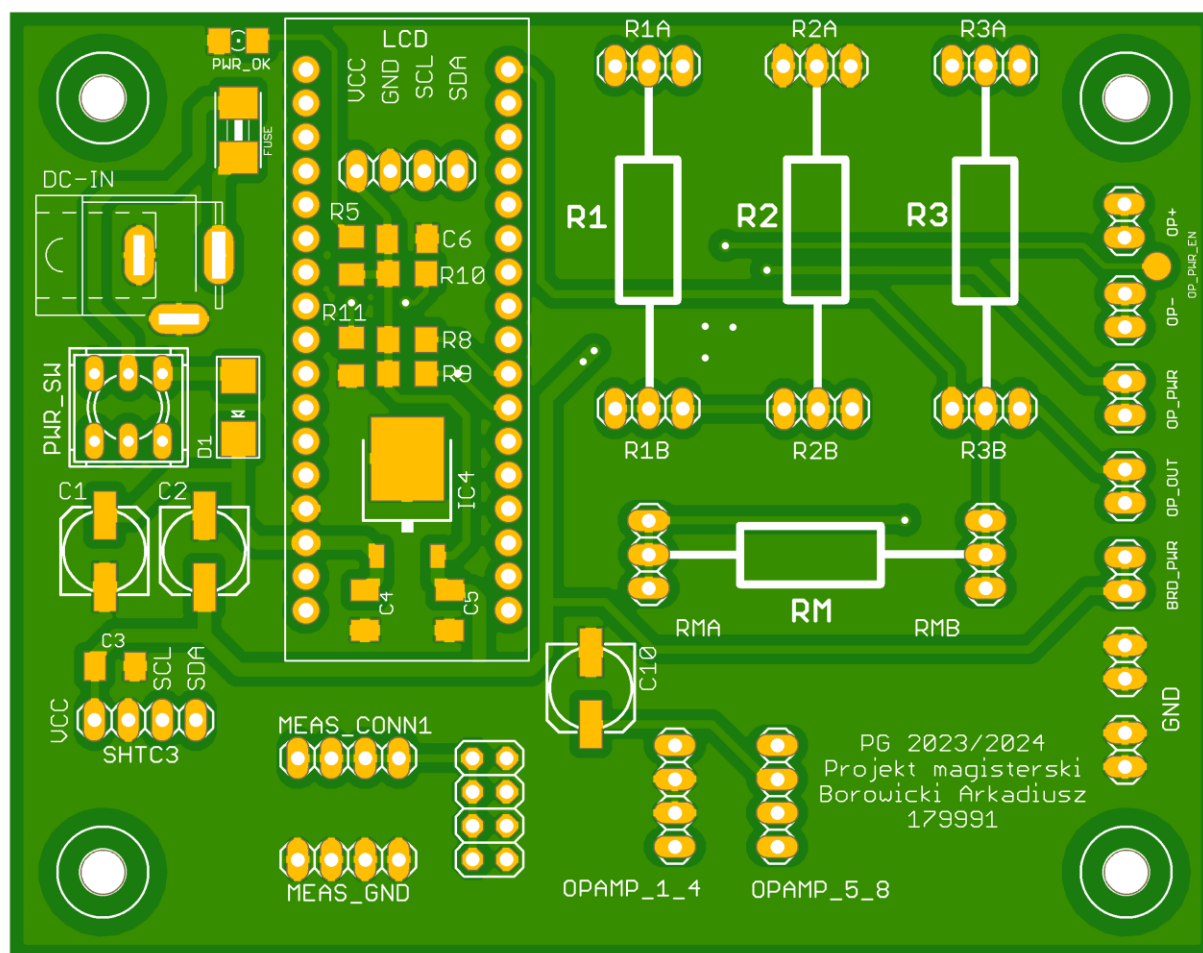
REV:

Date: 14-Feb-24 19:02

Sheet: 2/2

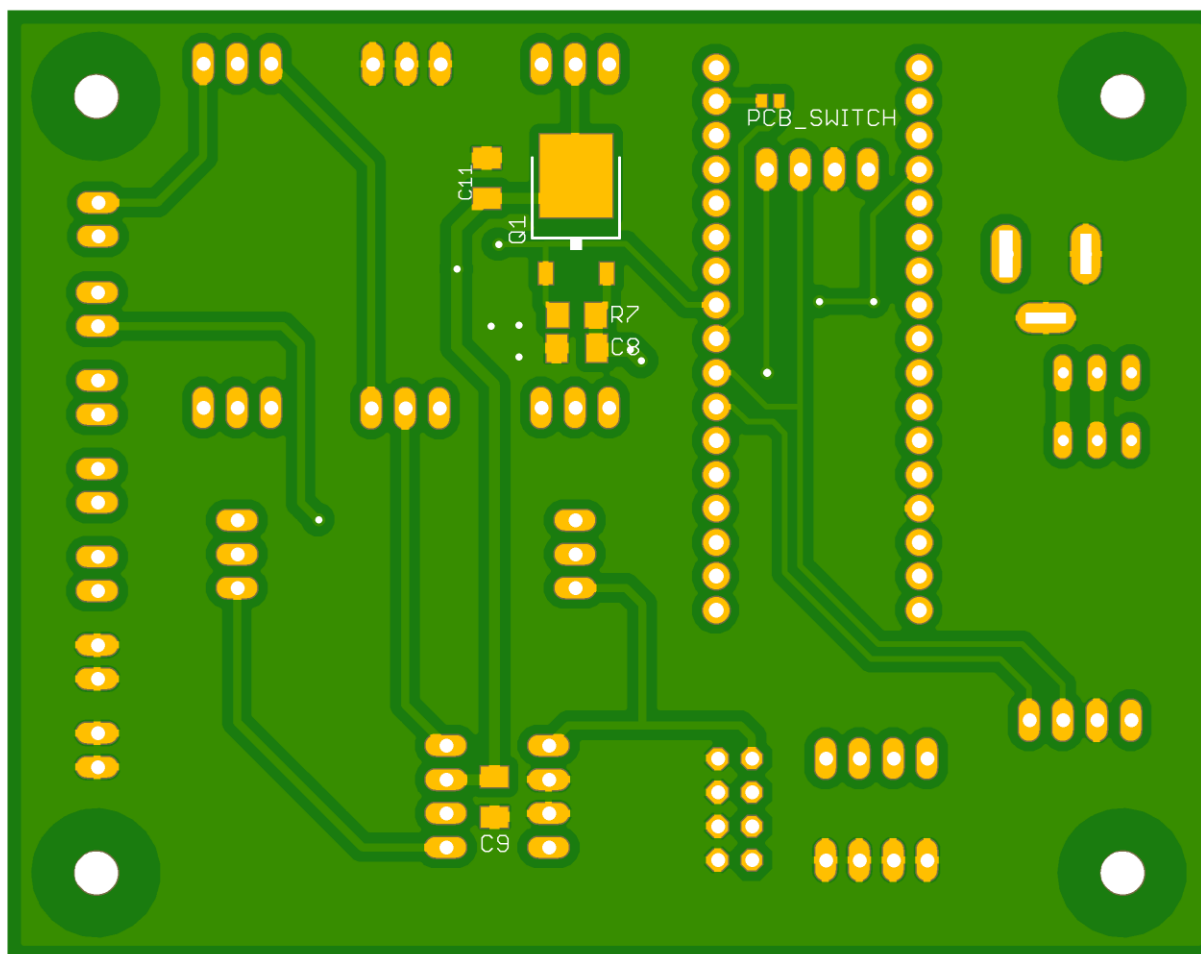


Projekt PCB



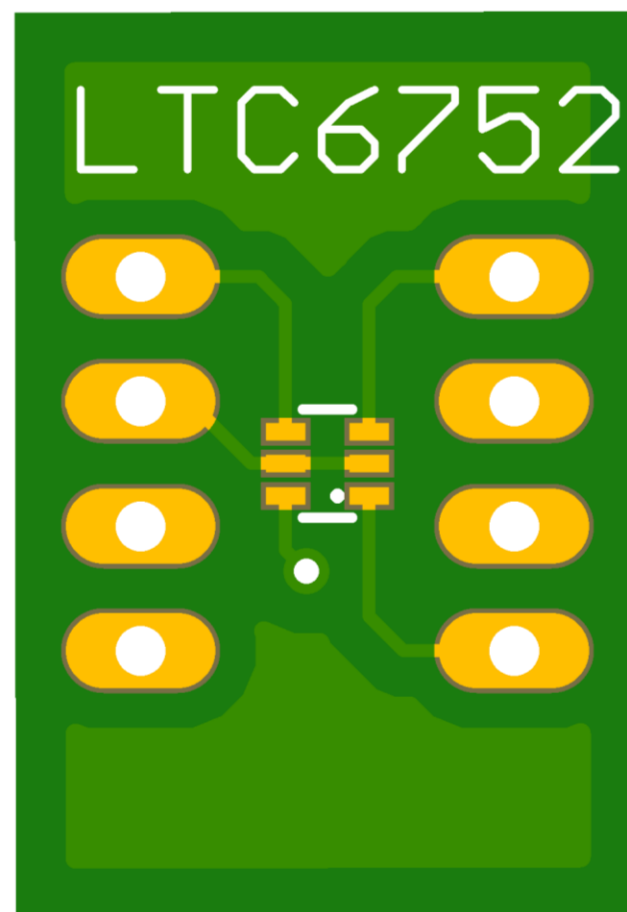
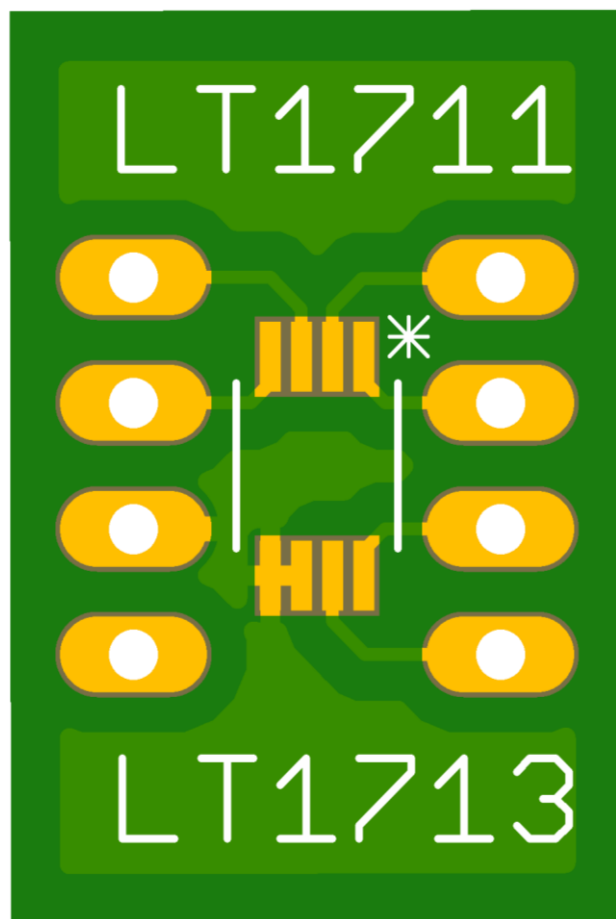


Projekt PCB



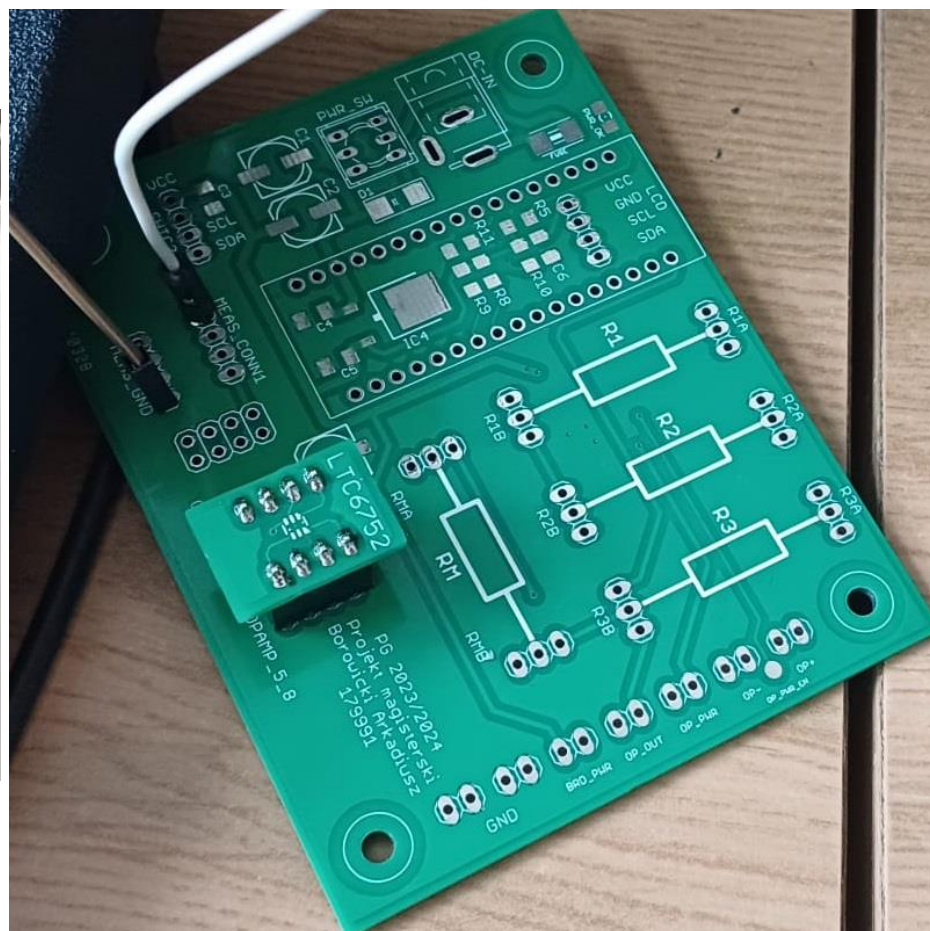


Projekt PCB



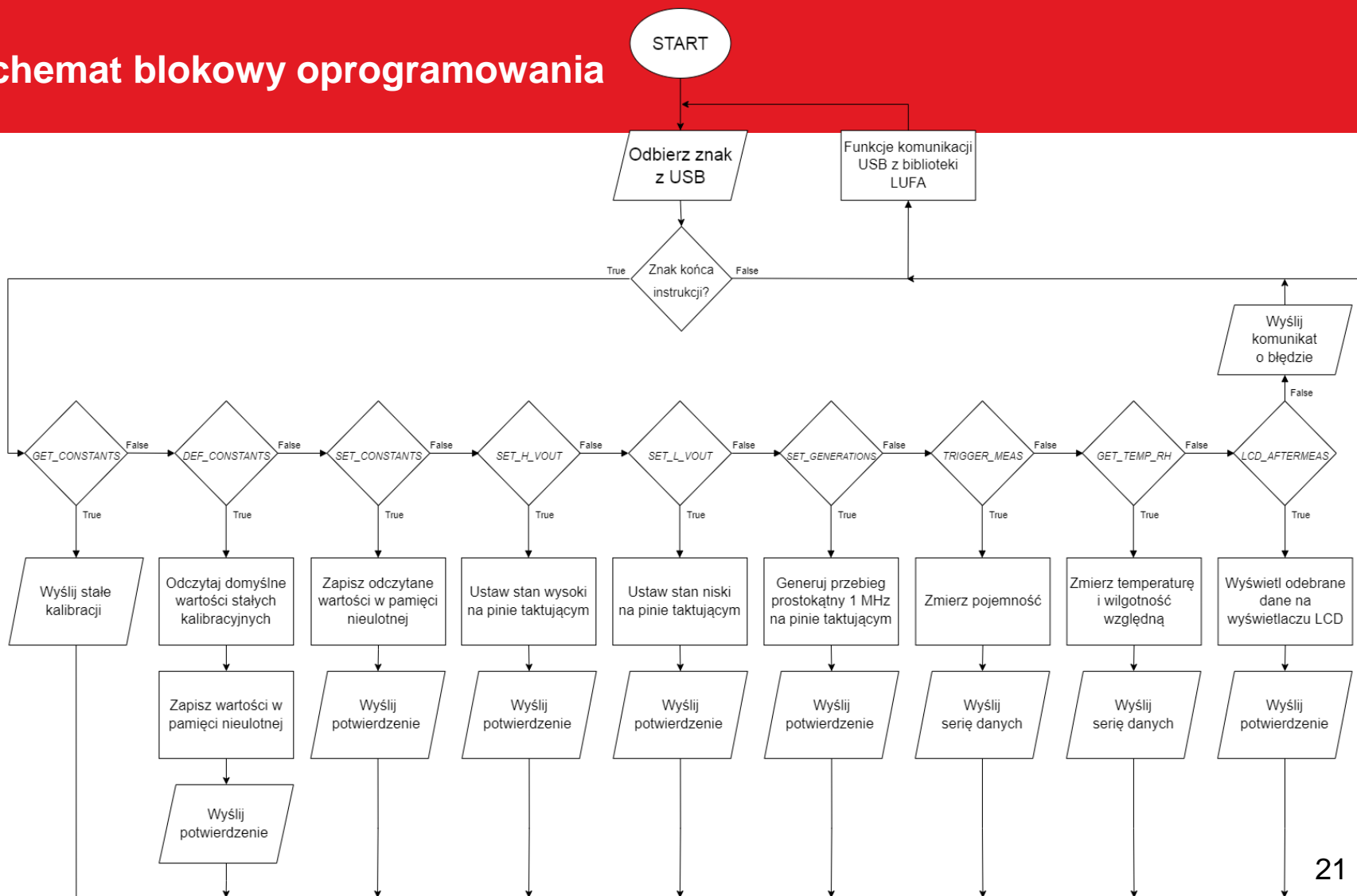


Pomiar pojemności pasożytniczej obwodu pomiarowego

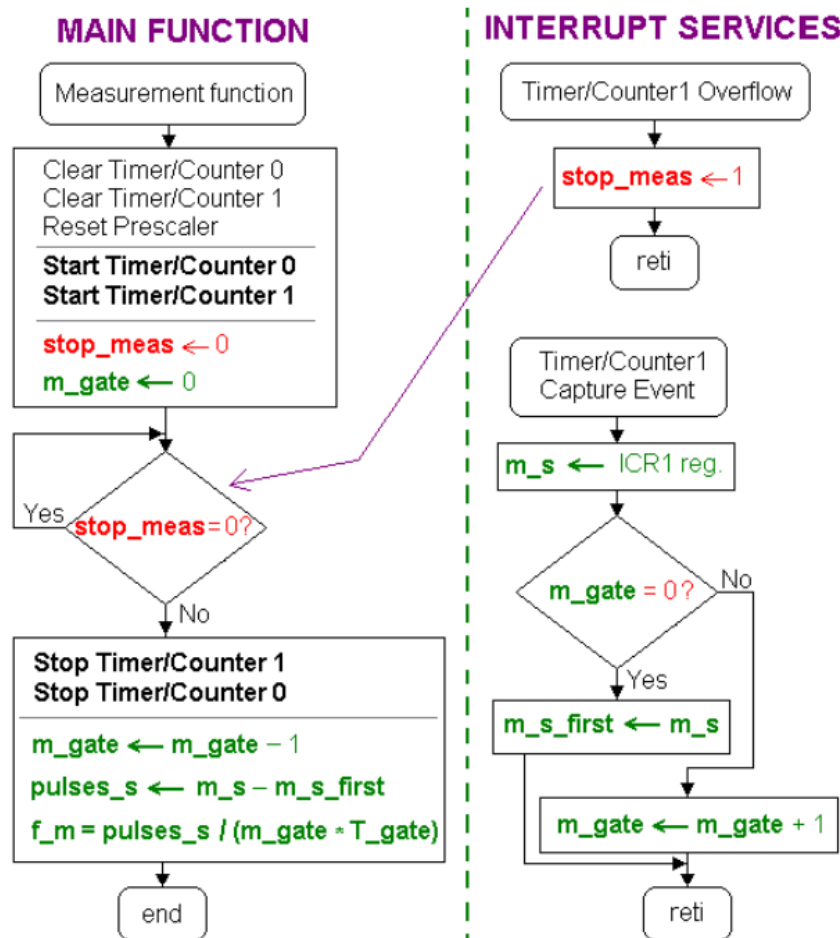




Schemat blokowy oprogramowania

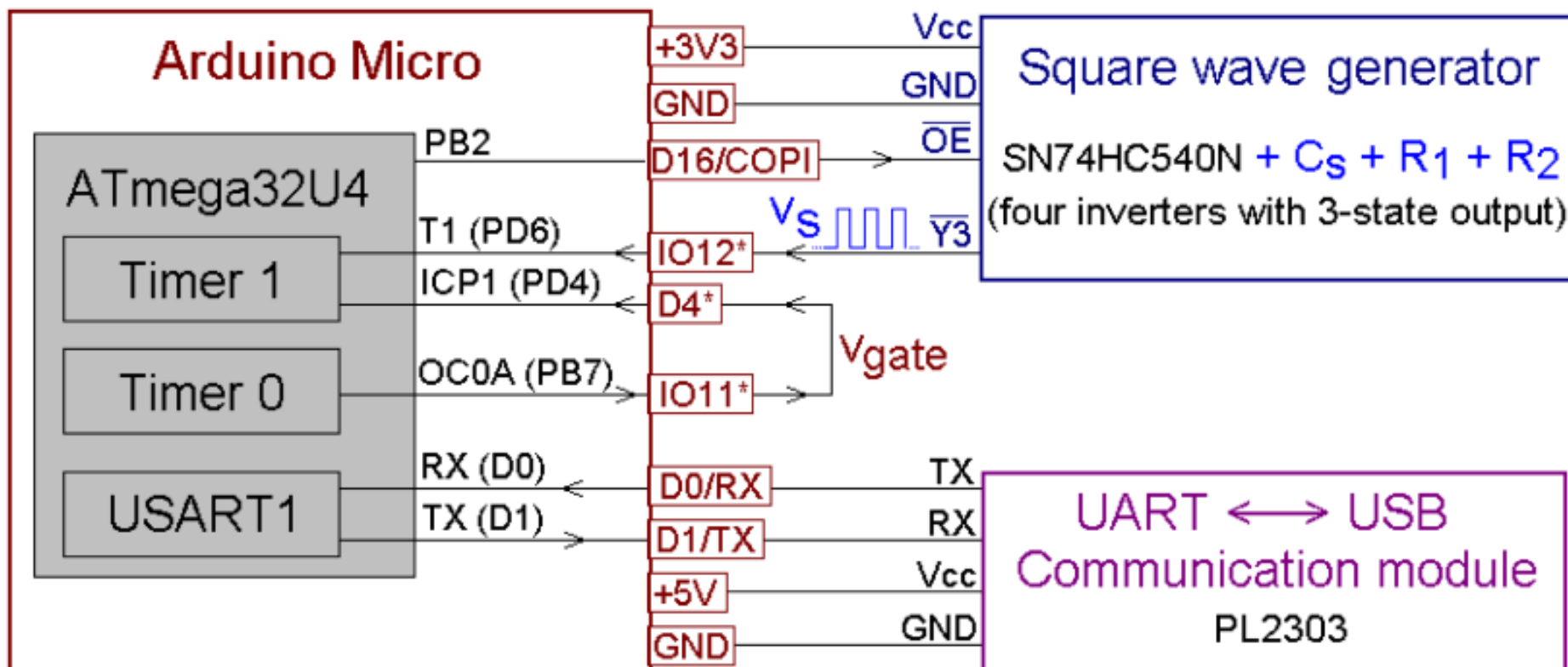


Koncepcja rozwiązania – schemat blokowy oprogramowania





Oprogramowanie – struktura wewnętrzna układów peryferyjnych





Oprogramowanie z wykorzystaniem frameworku LUFA USB

```
void Init_USB(void)
{
    /* USB initialization */
    cbi(MCUSR, WDRF);
    wdt_disable();
    clock_prescale_set(clock_div_1);
    USB_Init();
    CDC_Device_CreateStream(&VirtualSerial_CDC_Interface, &USB_Stream);
}
```

```
/* Main Function */
int main(void)
{
    /* App Initialization */
    InitApp();
    GlobalInterruptEnable();

    while (true)
    {
        /* Check & Accumulate Available Data from USB */
        USB_ReceiveData();
        /* Parse Received Commands from Host */
        CMD_Parse();
        /* USB Communication Required Tasks */
        CDC_Device_USBTask(&VirtualSerial_CDC_Interface);
        USB_USBTask();
    }

    return 0;
}
```



Oprogramowanie z wykorzystaniem frameworku LUFA USB

```
// Timer/Counter1 Capture Event
ISR (TIMER1_CAPT_vect)
{
    n_ts = ICR1;                //
    if (m_gate == 0) n_ts_first = n_ts;
    if (n_ts > MAX_ts) stop_meas = 1;
    else m_gate++;
}

// Timer/Counter1 Overflow
ISR (TIMER1_OVF_vect)
{
    timer_ovf = 1;
    stop_meas = 1;
}
```

```
// Measurement of the number of pulses at T1 input during the gate opening (m_gate* T_gate)
void pulses_measurement(void)
{
    TCNT0 = 0x00;                // Clear Timer/Counter0
    TCNT1 = 0x00;                // Clear Timer/Counter1
    GTCCR = 0x01;                // Prescaler Reset for Synchronous Timer/Counters
    TCCR0B = 0x05;                // Start Timer0 - clk/1024 (from prescaler)
    TCCR1B = 0xC7;                // Input Capture Noise Canceler, rising edge, start Timer1

    timer_ovf = 0;
    stop_meas = 0;
    m_gate = 0;

    // In this time:
    // TIMER1_CAPT interrupt service saves the number of measured impulses m_ts at T1 input
    // if m_ts > 2^15 the measurement is finished
    // or TIMER1_OVF interrupt service stops measurement

    while(stop_meas == 0) {};

    pulses_ts = n_ts - n_ts_first;

    m_gate--;                    // decrement the number of the open gate interval

    TCCR1B = 0xC0;                // Input Capture Noise Canceler, rising edge, stop Timer1
    TCCR0B = 0x00;                // Stop Timer0
}
```




Oprogramowanie z wykorzystaniem frameworku LUFA USB

```
/** Manufacturer descriptor string. This is a Unicode string containing the manufacturer's details in human readable
 * form, and is read out upon request by the host when the appropriate string ID is requested, listed in the Device
 * Descriptor.
 */
const USB_Descriptor_String_t PROGMEM ManufacturerString = USB_STRING_DESCRIPTOR(L"S179991 Borowicki Arkadiusz PG");

/** Product descriptor string. This is a Unicode string containing the product's details in human readable form,
 * and is read out upon request by the host when the appropriate string ID is requested, listed in the Device
 * Descriptor.
 */
const USB_Descriptor_String_t PROGMEM ProductString = USB_STRING_DESCRIPTOR(L"CapacitySensor_PG_2023/2024");
```



Sterownik Windows układu laboratoryjnego

```
;-----  
; Vendor and Product ID Definitions  
;-----  
; When developing your USB device, the VID and PID used in the PC side  
; application program and the firmware on the microcontroller must match.  
; Modify the below line to use your VID and PID. Use the format as shown below.  
; Note: One INF file can be used for multiple devices with different VID and PIDs.  
; For each supported device, append ",USB\VID_xxxx&PID_yyyy" to the end of the line.  
;-----  
[DeviceList]  
%DESCRIPTION%=DriverInstall, USB\VID_03EB&PID_2044  
  
[DeviceList.NTx86]  
%DESCRIPTION%=DriverInstall, USB\VID_03EB&PID_2044  
  
[DeviceList.NTamd64]  
%DESCRIPTION%=DriverInstall, USB\VID_03EB&PID_2044  
  
[DeviceList.NTia64]  
%DESCRIPTION%=DriverInstall, USB\VID_03EB&PID_2044  
  
;-----  
; String Definitions  
;-----  
;Modify these strings to customize your device  
;-----  
[Strings]  
MFGNAME="S179991 Borowicki Arkadiusz PG"  
DESCRIPTION="CapacitySensor_PG_2023/2024"
```



Nadchodzące wyzwania

- Montaż komponentów na PCB kontrolera.
- Przygotowanie aplikacji z graficznym interfejsem użytkownika.
- Testy zgodności z założeniami projektowymi.
- Badania.



Literatura

- Meng Y., Dean R. N.: A Technique for Improving the Linear Operating Range for a Relative Phase Delay Capacitive Sensor Interface Circuit. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement Vol. 65 (3), 2016
- Czaja Z.: A New Approach to Capacitive Sensor Measurements Based on a Microcontroller and a Three-Gate Stable RC Oscillator. Measurement Vol. 72, 2023.
- Czaja Z.: A measurement method for capacitive sensors based on a versatile direct sensor-to-microcontroller interface circuit. Measurement Vol. 155, 107547, 2020
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107547>
- Czaja Z.: A measurement method for lossy capacitive relative humidity sensors based on a direct sensor-to-microcontroller interface circuit. Measurement Vol. 170, 108702, 2021
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108702>
- Czaja Z.: Measurement method for capacitive sensors for microcontrollers based on a phase shifter. Measurement Vol. 192, 110890, 2022
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110890>
- Meng Y., Dean R. N.: Improving the phase delay capacitive interface circuit technique using MOSFET switches. Measurement Science and Technology Vol. 31, 025107, 2019
<https://doi.org/10.1088/1361-6501/ab4a66>
- Skiba A., Tiliouine H.: Stany nieustalone w obwodach elektrycznych. Przykłady i zadania. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2022.
- Kardaś M.: Mikrokontrolery AVR. Język C. Podstawy programowania. Wyd. ATNEL, Szczecin 2011.
- Baranowski R.: Mikrokontrolery AVR ATmega w praktyce. Wyd. BTC, Warszawa 2005.
- Sells C.: Windows Forms Programming in C#. Wyd. Addison-Wesley Professional, 2003.



Literatura

- Nota katalogowa biblioteki LUFA USB (wersja oprogramowania: 210130)
<http://www.fourwalledcubicle.com/LUFA.php>
- Nota katalogowa czujnika wilgotności HS1101 (data dostępu: 17.02.2024 r.)
<https://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/2082901.pdf>
- Nota katalogowa mikrokontrolera ATmega32U4 (data dostępu: 10.02.2024 r.)
https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-7766-8-bit-avr-atmega16u4-32u4_datasheet.pdf
- Nota katalogowa modułu Arduino Micro (data dostępu: 10.02.2024 r.)
<https://docs.arduino.cc/hardware/micro>
- Nota katalogowa modułu SHTC3 (data dostępu: 1.02.2024 r.)
https://sensirion.com/media/documents/643F9C8E/6164081E/Sensirion_Humidity_Sensors_SHTC3_Datasheet.pdf
- Nota katalogowa stabilizatora monolitycznego 7805 (data dostępu: 10.02.2024 r.)
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm340.pdf>
- Noty katalogowe komparatorów LT1711, LT1713, LTC6752 (data dostępu: 10.02.2024 r.)



Dyskusja

Zachęcam do zadawania pytań!





HISTORIA MĄDROŚCIĄ
PRZYSZŁOŚĆ WYZWANIEM