

# Dokumentacja projektu: Inteligentna donica

Julia Dobroszek 251504  
Aleksander Kaźmierczak 251544 (kierownik grupy)  
Malwina Wodnicka 251663

7 czerwca 2025

członek zespołu	funkcjonalność
Olek	i2c, light, pwm, adc
Malwina	gpio, audio, timer
Julka	SPI, oled, czujnik temperatury

Tabela 1: Zawartość zespołu

## 1 Instrukcja użytkownika

### 1.1 Uruchomienie urządzenia

Aby uruchomić inteligentną donicę, należy wykonać następujące kroki:

1. Podłączyć urządzenie do źródła zasilania za pomocą dołączonego przewodu.
2. Umieścić czujnik wilgotności (dwa metalowe druty) w glebie w doniczce. Czujnik powinien być umieszczony na głębokości około 3-5 cm, aby zapewnić prawidłowy pomiar wilgotności gleby.
3. Po podłączeniu zasilania, system automatycznie rozpocznie pracę i wyświetli informacje na ekranie OLED.

### 1.2 Interpretacja wskaźników

Inteligentna donica dostarcza użytkownikowi informacji o stanie rośliny poprzez:

1. **Wyświetlacz OLED** - Na ekranie prezentowane są aktualne statystyki dotyczące:
  - Poziomu wilgotności gleby:

- **sucho** - oznacza niski poziom wilgotności gleby (odczyt powyżej 2801), wskazujący na konieczność podlania rośliny
  - **w normie** - oznacza optymalny poziom wilgotności gleby (odczyt między 1601 a 2800), idealny dla wzrostu większości roślin
  - **mokro** - oznacza wysoki poziom wilgotności gleby (odczyt poniżej 1600), wskazujący na nadmiar wody, który może być szkodliwy dla rośliny
  - Temperatury otoczenia (w stopniach Celsjusza)
  - Natężenia światła - system interpretuje odczyt z czujnika i wyświetla jeden z trzech komunikatów:
    - "jasno gdy wartość odczytu przekracza 2000
    - "OK gdy wartość odczytu mieści się w przedziale od 350 do 2000
    - "ciemno gdy wartość odczytu jest mniejsza niż 350
  - Dodatkowych informacji o stanie systemu
2. **Dioda RGB** - W zależności od poziomu wilgotności gleby, dioda RGB świeci się różnymi kolorami:
- Kolor żółto-zielony (#c8ff1e) - oznacza stan **sucho** (odczyt powyżej 2801), sygnalizując potrzebę podlania rośliny
  - Kolor zielony (#1eff00) - oznacza stan **w normie** (odczyt między 1601 a 2800), sygnalizując optymalny poziom wilgotności
  - Kolor błękitny (#1effff) - oznacza stan **mokro** (odczyt poniżej 1600), sygnalizując nadmiar wody w glebie

### 1.3 Kalibracja i konserwacja

1. **Kalibracja** - System został skalibrowany fabrycznie na podstawie eksperymentów empirycznych. Urządzenie nie posiada możliwości zewnętrznej kalibracji przez użytkownika.
2. **Konserwacja** - Aby zapewnić prawidłowe działanie urządzenia:
  - Regularnie czyścić czujnik wilgotności z osadów mineralnych, które mogą gromadzić się na jego powierzchni
  - Utrzymywać wyświetlacz OLED w czystości, unikając bezpośredniego kontaktu z wodą
  - Sprawdzać okresowo stan połączeń elektrycznych
  - **Kategorycznie unikać kontaktu elektroniki z wodą** - Jedynym elementem, który może mieć bezpośredni kontakt z wilgocią, jest czujnik wilgotności (metalowe druty). Pozostałe elementy elektroniczne należy chronić przed zalaniem, zachlapaniem oraz nadmierną wilgotnością powietrza, gdyż może to prowadzić do trwałego uszkodzenia urządzenia i utraty gwarancji

## 2 Funkcjonalności

### 2.1 Magistrala I2C

1. Interfejs I2C jest używany do komunikacji z czujnikiem światła oraz innymi komponentami wymagającymi komunikacji szeregowej. Implementacja obejmuje inicjalizację magistrali I2C, konfigurację adresów urządzeń oraz obsługę błędów komunikacji.
2. Płytką LPC1769 posiada trzy magistrale I2C, w projekcie została użyta magistrala I2C2.
3. Czujnik światła jest podłączony do magistrali I2C2, a jego adres jest ustawiony na 0x44. Szczegóły konfiguracji znajdują się w sekcji ??.

#### 2.1.1 Omówienie rejestrów

Rejestry mikroprocesora zostały opisane w tabeli 384. I2C register map w dokumentacji płytki. Poniżej znajdują się opisane rejestry:

- **I2CONSET** - Rejestr ustawień kontrolnych I2C. Używany do ustawiania bitów w rejestrze kontrolnym I2CON. Pozwala ustawiać pojedyncze bity bez konieczności odczytywania i modyfikowania całego rejestru. Zapisanie '1' do bitu w tym rejestrze ustawia odpowiadający bit w rejestrze kontrolnym I2C. Poniżej zostały opisane flagi:
  1. Bity 0, 1 oraz 7:31 są zarezerwowane
  2. **AA** - Bit 2  
Gdy:  
AA = 1 urządzenie wyśle ACK (czyli ustawi linię SDA w stan niski w czasie impulsu zegarowego na linii SCL).  
AA = 0 urządzenie wyśle NACK (czyli pozostawi linię SDA w stanie wysokim).
  3. **SI** - Bit 3  
Flaga ta informuje o zmianie stanu magistrali np. zakończenie nadawania danych. Gdy:  
SI = 1, niski poziom sygnału SCL jest wydłużony. Transmisja zostaje wstrzymana.  
SI resetuje się poprzez zapisanie 1 do bitu SIC (SI Clear) w rejestrze I2CONCLR
  4. **STO** - Bit 4  
Flaga zakończenia transmisji danych. Jej działanie zależy od trybu, w jakim pracuje układ: master czy slave.  
W trybie master, ustawienie STO = 1 powoduje wysłanie warunku STOP na magistrali I2C, czyli SDA przechodzi z LOW na HIGH, gdy SCL jest HIGH. To kończy bieżącą transmisję i linia jest zwalniana. Gdy magistrala wykryje warunek STOP, flaga STO zostaje automatycznie wyczyszczona przez sprzęt.

#### 5. **STA** - Bit 5

Służy do rozpoczęcia transmisji przez wysłanie warunku START

- Jeżeli interfejs I2C jest w trybie slave, to:
  - \* Interfejs przechodzi do trybu master
  - \* Jeśli magistrala jest wolna – natychmiast wysyła warunek START (SDA z HIGH do LOW przy SCL = HIGH).
  - \* Jeśli magistrala jest zajęta – czeka na warunek STOP, który „uwolni” magistralę, a potem wysyła START po pół okresie zegara wewnętrznego.
- Jeśli interfejs już jest w trybie master, to:
  - \* Ustawienie STA = 1 powoduje wysłanie repeated START – kolejnego warunku START bez wcześniejszego STOP.
- W przypadku, gdy STA oraz STO ustawimy jednocześnie na 1, to:
  - \* w trybie master zostanie sygnal STOP, następnie wysłany jest START (restart transmisji)
  - \* w trybie slave nastąpi zatrzymanie transmisji bez wysłania STOP na magistralę, a następnie, jeśli magistrala jest wolna, zostanie wysłany START

#### 6. **I2EN** - Bit 6

Flaga odpowiedzialna za włączenie lub wyłączenie interfejsu I2C.

Gdy:

I2EN = 0, interfejs I2C jest wyłączony

I2EN = 1, interfejs I2C jest włączony

- **I2CONCLR** - Rejestr kasowania ustawień kontrolnych. Używany do kasowania bitów w rejestrze kontrolnym I2C. Zapisanie '1' do bitu w tym rejestrze kasuje odpowiadający bit w rejestrze kontrolnym I2C.

1. Bity 0, 1, 4 oraz 7:31 są zarezerwowane
2. **AAC** - Bit 2 - służy do wyzerowania bitu AA (Assert Acknowledge) w rejestrze I2CON. Bit AA odpowiada za to, czy urządzenie I2C nada ACK (potwierdzenie) podczas komunikacji.
3. **SIC** - Bit 3 - służy do czyszczenia flagi przerwania I2C (Interrupt Clear).
4. **STAC** - Bit 5 - służy do czyszczenia flagi START (STA)
5. **I2CENC** - Bit 6 - wyłącza interfejs I2C

- **I2STAT** - Rejestr statusu I2C. Dostarcza szczegółowe kody statusu pokazujące aktualny stan interfejsu. Z tego rejestru można tylko odczytywać dane.

1. Bity 0:2 oraz 8:31 są zarezerwowane

2. Bity 7:3 - zawierają kod aktualnego stanu interfejsu I2C. Kod statusu możemy wyodrębnić dzięki masce 0xF8:

```
uint8_t status = I2STAT & 0xF8;
```

W rejestrze może wystąpić 26 kodów statusu. Kody, które mogą wystąpić znajdują się w dokumentacji LPC1769, w tabelach 399 oraz 402.

Jeśli jakikolwiek z powyższych kodów wystąpi, to oznacza, że na pewno bit SI zostanie ustawiony na 1.

- **I2DAT** - Rejestr danych. Podczas trybu nadawania lub odbioru, dane (8 bitów) są zapisywane lub odczytywane z tego rejestru.
- **I2SCLH** - Rejestr cyklu zegara SCL (wysoka połowa). Zawiera wysoką połowę cyklu zegara I2C.
- **I2SCLL** - Rejestr cyklu zegara SCL (niska połowa). Zawiera niską połowę cyklu zegara I2C.
- **MMCTRL** - Rejestr kontrolny trybu monitorowania. Używany do kontrolowania trybu monitorowania I2C.
- **I2DATA\_BUFFER** - Rejestr bufora danych I2C (Adres: 0x2C). Zawiera zawartość 8 najstarszych bitów rejestru przesuwne I2DAT.
- **I2ADR0, I2ADR1, I2ADR2, I2ADR3** - Rejestry adresowe I2C. Zawierają 7-bitowy adres slave do działania interfejsu I2C w trybie slave. W na bicie 0 można ustawić czy urządzenie ma odpowiadać na GC (General Call) lub tylko na określony adres.
- **I2MASK0, I2MASK1, I2MASK2, I2MASK3** - Rejestry maski I2C. Służą do określenia dopasowania adresu w trybie slave.

### 2.1.2 Inicjalizacja magistrali I2C2

Inicjalizacja magistrali I2C2 odbywa się poprzez wykonanie następujących kroków:

1. Ustawienie odpowiednich pinów  
Użyte zostały piny P0.10 i P0.11, które odpowiadają pinom SCL i SDA na magistrali I2C2.  
Dla powyższych pinów wybrane zostały funkcje nr. 2, ponieważ z dokumentacji LPC1769 wynika, że funkcja nr. 2 odpowiada pinom SCL i SDA.

2. Włączenie zasilania magistrali I2C2  
Z tabeli 46. w dokumentacji LPC1769 można odczytać, że bit 6 w rejestrze PCONP odpowiada za włączenie zasilania magistrali I2C2.

$$PCONP| = (1 << 26)$$

3. Ustawienie taktowania zegara  
Taktowanie zegara dla magistrali I2C2 ustawiamy poprzez wpisanie do rejestru I2SCLH i I2SCLL odpowiednich wartości. Wpierw pobieramy wartość rejestru PCLK; robimy to poprzez odczytanie danych z bitów 21:20 z adresu 0x400F C1AC przy użyciu maski. Stąd wiemy, że dzielnikiem zegara jest 2, więc

$$\begin{aligned} PCLK_{I2C2} &= \frac{CCLK}{2} \\ I2SCLH &= \frac{PCLK_{I2C2}}{2 \cdot target\_clock} \\ I2SCLL &= \frac{PCLK_{I2C2}}{target\_clock} - I2SCLH \end{aligned}$$

CCLK wynosi 100MHz. Mając powyższe wartości możemy wyliczyć taktowanie z poniższego wzoru:

$$I2C_{bitfrequency} = \frac{PCLK}{I2SCLH + I2SCLL}$$

Z Tabeli 395 w dokumentacji LPC1769 można odczytać, że standardowe taktowanie wynosi 100kHz, więc do rejestrów I2SCLH oraz I2SCLL wpisujemy 250

4. Wyzerowanie flag rejestru I2CON  
W celu resetowania flag AC, STA, I2EN ustawiamy w rejestrze I2CONCLR bity 2, 5,6, które zerują te flagi w rejestrze I2CON.
5. Włączenie magistrali I2C  
W celu włączenia magistrali I2C ustawiamy bit 6 w rejestrze I2CON.

### 2.1.3 Wykorzystanie magistrali I2C2

1. Początkowe ustawienia  
Rozpoczęcie transmisji odbywa się poprzez ustawienie flagi START w rejestrze I2CON (bit 5) na 1 oraz flagi SI (przerwanie) w rejestrze I2CON (5 bit) na 0. Później master czeka na zmianę flagi SI na 1, która oznacza, że transmisja została rozpoczęta. Następnie sprawdzany jest rejestr stanu I2STAT, aby sprawdzić, czy warunek START został wysłany (0x08). Ustawiamy SI na 0.
2. Wysyłanie danych

- (a) Wysyłanie adresu urządzenia. Adres urządzenia jest 7-bitowy. W rejestrze I2DAT należy wpisać adres urządzenia, a następnie ustawić pierwszy bit na 0, aby wskazać, że wysyłamy adres. Następnie ustawiamy flagę SI w rejestrze I2CON na 0.
- (b) Master oczekuje na potwierdzenie (ACK) od slave - (z Tabeli 400) w rejestrze I2STAT powinna znajdować się wartość 0x18. Gdy znajduje się tam inna wartość, to adres jest ponownie wysyłany.
- (c) Po otrzymaniu ACK, master ustawia bit 5 w rejestrze I2CON (STA) na 0.
- (d) Następnie master wysyła dane. W rejestrze I2DAT należy wpisać dane, które chcemy wysłać. Następnie ustawiamy flagę SI w rejestrze I2CON na 0.
- (e) Oczekiwanie na ustawienie SI rejestru I2CON na 1
- (f) Master oczekuje na potwierdzenie (ACK) od slave w rejestrze I2STAT powinna znajdować się wartość 0x28. Gdy otrzymano ACK, to przechodzi do wysłania kolejnych danych.

### 3. Odbieranie danych

- (a) Żeby wskazać adres urządzenia z którego będziemy odbierać dane należy wpisać 7-bitowy adres slave do rejestru I2DAT. Ponadto należy ustawić pierwszy bit na 1, aby wskazać, że odbieramy dane. Następnie ustawiamy flagę SI w rejestrze I2CON na 0.
- (b) Master oczekuje na potwierdzenie (ACK) od slave - (z Tabeli 400) w rejestrze I2STAT powinna znajdować się wartość 0x40. Gdy znajduje się tam inna wartość, to adres jest ponownie wysyłany.
- (c) Po otrzymaniu ACK, master ustawia bit 5 w rejestrze I2CON (STA) na 0.
- (d) Master ustawia bit 2 w rejestrze I2CON (AA) na 1, aby ustawić ACK. I odbiera bajty danych:
  - i. W rejestrze I2CON ustawiamy bit 3 (SI) na 0.
  - ii. Master czeka na zmianę flagi SI w rejestrze I2STAT
  - iii. Odczyt danych z I2DAT (8 bitów)
  - iv. przed ostatnim bajtem danych master ustawia bit 2 w rejestrze I2CON (AA) na 0, aby wyłączyć ACK.

### 4. Zmiana i odczyt rejestrów urządzeń slave

- (a) Wysyłamy adres rejestru, który chcemy odczytać lub zmodyfikować.
- (b) Jeśli chcemy modyfikować rejestr, należy wysłać nową wartość rejestru.

(c) Jeśli chcemy odczytać, należy zacząć odbierać dane

#### 5. Koniec transmisji

(a) W celu zakończenia transmisji należy ustawić bit 4 (STO) w rejestrze I2CON na 1.

(b) Zmiana wartości flagi SI w rejestrze I2CON na 0.

## 2.2 Sterowanie GPIO

System wykorzystuje piny GPIO mikrokontrolera do sterowania różnymi elementami wykonawczymi donicy. Funkcjonalność ta obejmuje konfigurację kierunku pinów (wejście/wyjście), ustawianie stanów logicznych oraz obsługę przerw sprzętowych. GPIO jest wykorzystywane między innymi do sterowania diodami sygnalizacyjnymi, wykrywania poziomu wody oraz obsługi przycisków interfejsu użytkownika.

## 2.3 Czujnik światła

Inteligentna donica wykorzystuje czujnik światła oparty na protokole komunikacyjnym I2C. Implementacja tego elementu obejmuje trzy kluczowe funkcjonalności: ISL29003 to zintegrowany czujnik światła z 16-bitowym przetwornikiem ADC. Wewnętrzny przetwornik ADC zapewnia 16-bitową rozdzielczość, jednocześnie odrzucając migotanie 50 Hz i 60 Hz spowodowane sztucznymi źródłami światła. Ogólne zasady działania ADC zostały przedstawione w rozdziale ??.

1. **Inicjalizacja i konfiguracja czujnika ISL29003** - Proces inicjalizacji obejmuje ustawienie adresu urządzenia na magistrali I2C, konfigurację rejestrów czujnika oraz określenie parametrów pomiaru, takich jak czułość i częstotliwość próbkowania.
2. **Odczyt danych z czujnika** - Funkcjonalność ta odpowiada za komunikację z czujnikiem poprzez protokół I2C, wysyłanie komend odczytu do odpowiednich rejestrów oraz interpretację otrzymanych danych. Implementacja uwzględnia obsługę błędów komunikacji oraz weryfikację poprawności odczytanych wartości.
3. **Przetwarzanie i analiza danych** - Po odczytaniu surowych danych z czujnika, system przetwarza je na użyteczne informacje o poziomie natężenia światła. Funkcjonalność ta obejmuje kalibrację, filtrowanie zakłóceń oraz konwersję wartości na jednostki zrozumiałe dla użytkownika (np. luxy).



### 2.3.1 Inicjalizacja czujnika ISL29003

Aby zainicjować czujnik ISL29003, należy ustawić wartość 1 na 7. bicie rejestru Command (0x00). Sposób wysyłania zawartości rejestrów do urządzeń podrzędnych został opisany w poprzednim podrozdziale ??.

Wysyłanie adresu urządzenia - Wysyłanie adresu urządzenia ISL29003 na magistrali I2C. Adres urządzenia to 0x44. Informacje na temat rejestrów i ich wartości znajdują się w dokumentacji ISL29003, w tabeli 1.

Kolejnym etapem przygotowania czujnika do pracy jest zdefiniowanie zakresu. Stałe te będą używane do przeliczania danych wyjściowych czujnika. W naszym programie ustawiamy zakres na 3892, co oznacza skalę od 0 do 3892 lux. Aby ustawić wybrane przez nas wartości zakresu (range) należy ustawić bity 3:2 (tabela 9.) w rejestrze Control (0x01) na 0:1

Bits 3:2	k	RANGE (k)
0:0	1	973
0:1	2	3892
1:0	3	15,568
1:1	4	62,272

Tabela 2: Zakresy skali lux

Ustawiamy także liczbę cykli zegara na konwersację analogowo cyfrową poprzez umieszczenie wartości 0:0 na bitach 1:0 w rejestrze Command (0x00) (tabela 7.)

BITS 1:0	NUMBER OF CLOCK CYCLES
0:0	$2^{16} = 65,536$
0:1	$2^{12} = 4,096$
1:0	$2^8 = 256$
1:1	$2^4 = 16$

Tabela 3: Liczby cykli zegara

### 2.3.2 Odczyt danych z czujnika

Dane z ISL29003 odczytujemy przy pomocy protokołu I2C. Dane wyjściowe przechowywane są w dwóch rejestrach, ponieważ odczyt jest liczbą 16-bitową. W rejestrze o adresie 0x04 znajduje się najniższy bajt danych, a w rejestrze 0x05 najwyższy bajt. Sposób odczytywania danych został opisany w podrozdziale ??.

### 2.3.3 Przetwarzanie i analiza danych

Po odczytaniu danych z czujnika, system przetwarza je na użyteczne informacje o poziomie natężenia światła. Aby uzyskać wartość w luxach, należy zastosować poniższy wzór (ten wzór obowiązuje tylko gdy mamy zewnętrzny rezystor

100kΩ):

$$E = \frac{FSR \cdot DATA}{2^n}$$

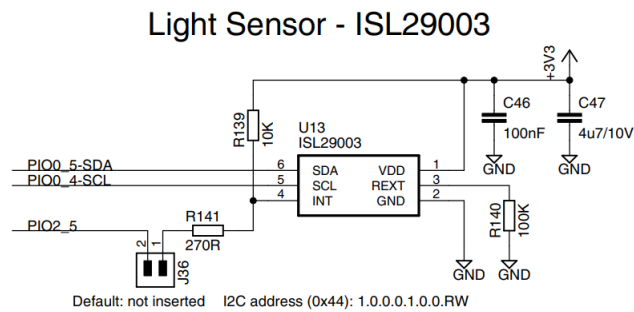
Gdzie:

E - wartość w luxach

FSR - zakres skali (FSR = 3892 lux)

DATA - odczytana wartość z rejestru

n - liczba bitów w rejestrze (16 bitów)



Rysunek 1: Schemat podłączenia czujnika ISL29003

## 2.4 Czujnik temperatury

Czujnik MAX6576 zapewnia pomiar temperatury otoczenia rośliny.

Implementacja obejmuje:

1. **Inicjalizacja czujnika temperatury** - Proces inicjalizacji obejmuje konfigurację czujnika z wykorzystaniem funkcji czasowych (getTicks) oraz ustawienie parametrów pomiaru.
2. **Cykliczny odczyt temperatury** - Funkcjonalność ta odpowiada za regularne pobieranie danych z czujnika oraz konwersję odczytanych wartości na format zrozumiały dla użytkownika.
3. **Wykorzystanie danych temperaturowych** - Informacja o temperaturze jest wyświetlana na ekranie OLED i może wpływać na decyzje systemu dotyczące nawadniania lub doświetlania rośliny.

## 2.5 Magistrala SPI

System wykorzystuje magistralę SPI z interfejsem SSP1 do komunikacji z wyświetlaczem OLED. Piny SPI:

- **P0.7** - SCK1 (Serial Clock for SSP1); generowany przez mastera sygnał zegarowy służący do synchronizacji przesyłu danych.
- **P0.8** - MISO1 (Main In, Sub Out); służy do przesyłu danych od slave'a do mastera; SPI używamy tylko dla OLED więc MISO nie jest używany;
- **P0.9** - MOSI1 (Main Out, Sub In); służy do przesyłu danych od mastera do slave'a;
- **P2.2** - **SSEL** (Slave Select); umożliwia wybór slave'a do transmisji, jest aktywowany stanem niskim; sterowany przez GPIO;

Rejestry magistrali SPI:

- **S0SPCR** - SPI Control Register; rejestr sterujący pracą interfejsu SPI, pozwala m.in. na ustawienie trybu pracy, włączenie SPI i przerwań.

Tabela 4: Opis bitów rejestru S0SPCR.

Bit	Symbol	Opis
0–1	—	Zarezerwowane.
2	BitEnable	0 – transmisja zawsze 8-bitowa, 1 – długość słowa określona przez bity 11:8 (BITS).
3	CPHA	Faza zegara: 0 – dane próbkowane na pierwszym zboczu, 1 – na drugim zboczu.
4	CPOL	Polaryzacja zegara: 0 – SCK aktywny wysoki, 1 – SCK aktywny niski.
5	MSTR	Tryb pracy SPI: 0 – tryb Slave, 1 – tryb Master.
6	LSBF	Kolejność bitów: 0 – MSB pierwszy, 1 – LSB pierwszy.
7	SPIE	Przerwania SPI: 0 – wyłączone, 1 – włączone (na zdarzenia SPIF lub MODF).
8–11	BITS	Liczba bitów przesyłanych w jednym transferze (aktywny tylko gdy BitEnable = 1). Patrz tabela poniżej.
12–31	—	Zarezerwowane.

1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111	0000
8	9	10	11	12	13	14	15	16

- **S0SPSR** - SPI Status Register; rejestr stanu, zawiera flagi informujące o gotowości transmisji, zakończeniu przesyłu i błędach.

Tabela 5: Opis bitów rejestru S0SPSR.

Bity	Symbol	Opis
0–2	—	Zarezerwowane.
3	ABRT	Przerwanie transmisji w trybie Slave: 1 – wystąpiło przerwanie; bit czyszczony przez odczytanie tego rejestru.
4	MODF	Błąd trybu: 1 – wystąpił błąd trybu. Bit czyszczony przez odczytanie tego rejestru i zapis do rejestru kontrolnego SPI.
5	ROVR	Nadpisanie przy odczycie: 1 – wystąpił błąd przepełnienia przy odbiorze. Bit czyszczony przez odczytanie tego rejestru.
6	WCOL	Kolizja zapisu: 1 – wystąpiła kolizja przy zapisie. Bit czyszczony przez odczytanie tego rejestru i dostęp do rejestru danych SPI.
7	SPIF	Flaga zakończenia transmisji SPI: 1 – zakończono transmisję. Dla Mastera: ustawiana na końcu ostatniego cyklu; dla Slave’a: przy ostatnim zboczu próbkującym SCK. Bit czyszczony przez odczytanie tego rejestru i dostęp do rejestru danych SPI.
8–31	—	Zarezerwowane.

- **S0SPDR** - SPI Data Register; dwukierunkowy rejestr danych, zapis do niego inicjuje transmisję, odczyt zwraca dane odebrane przez SPI.

Tabela 6: Opis bitów rejestru S0SPDR.

Bity	Symbol	Opis
0–7	DataLow	Dwukierunkowy port danych SPI. Służy do odczytu danych odebranych lub zapisu danych do wysłania. Wartość domyślna: 0x00.
8–15	DataHigh	Dodatkowe bity transmisji/odbioru, gdy bit 2 rejestru SPCR (BitEnable) = 1 i bity 11:8 SPCR są różne od 1000 (czyli liczba bitów > 8). Gdy liczba bitów < 16, bardziej znaczące bity przy odczycie mają wartość zero. Wartość domyślna: 0x00.
16–31	—	Zarezerwowane.

- **S0SPCCR** - SPI Clock Counter Register; ustala częstotliwość zegara SPI (SCK) poprzez wartość dzielnika.

Tabela 7: Opis bitów rejestru S0SPCCR.

Bity	Symbol	Opis
0–7	Counter	<p>Ustawienie licznika zegara SPI0. Wartość musi być parzysta i większa lub równa 8. Określa częstotliwość zegara SPI:</p> $SCK_{\text{freq}} = \frac{PCLK}{\text{Counter}}$ <p>Wartość domyślna: 0x00.</p>
8–31	—	Zarezerwowane.

- **S0SPINT** - SPI Interrupt Flag; flaga informująca o wystąpieniu przerwania SPI; może być programowo wyczyszczona.

Tabela 8: Opis bitów rejestru S0SPINT

Bity	Symbol	Opis
0	SPIF	<p>Flaga przerwania SPI. Ustawiana przez interfejs SPI w celu wygenerowania przerwania. Zerowana przez zapisanie jedynki do tego bitu.</p>
1–7	—	Zarezerwowane.
8–31	—	Zarezerwowane.

Rejestry SSP:

- **CR0** – Control Register 0; ustala rozmiar słowa danych, tryb protokołu SPI oraz współczynnik dzielnika zegara.
- **CR1** – Control Register 1; konfiguruje tryb master/slave i inne ustawienia pracy kontrolera SSP.
- **DR** – Data Register; rejestr danych – zapis wypełnia FIFO nadawcze, odczyt opróżnia FIFO odbiorcze.
- **SR** – Status Register; rejestr stanu – zawiera flagi informujące o stanie transmisji i buforów FIFO.
- **CPSR** – Clock Prescale Register; dzielnik preskalera zegara – ustala podstawową częstotliwość SSP.
- **IMSC** – Interrupt Mask Set and Clear Register; umożliwia maskowanie (włączanie/wyłączanie) poszczególnych źródeł przerw.

- **RIS** – Raw Interrupt Status Register; pokazuje status aktywnych przerwań niezależnie od ustawienia masek.
- **MIS** – Masked Interrupt Status Register; pokazuje status przerwań uwzględniający ustawienia masek.
- **ICR** – Interrupt Clear Register (SSPICR); służy do ręcznego kasowania wybranych flag przerwań.
- **DMACR** – DMA Control Register; umożliwia włączenie transmisji danych za pomocą kontrolera DMA.

## 2.6 Wyświetlacz OLED

Wyświetlacz OLED model UG-9664HSWAG01 (oznaczenie na schemacie OLED1) komunikuje się przez interfejs SPI. Wyświetlacz bazuje na sterowniku SSD1305 132 x 64 Dot Matrix OLED/PLED Segment/Common Driver with Controller. Wyświetlacz służy jako interfejs użytkownika, prezentując dane w czytelnej formie graficznej.

### 2.6.1 Konfiguracja

Piny sterujące wyświetlaczem OLED:

- **P0.6** – CS (Chip Select); aktywny w stanie niskim;
- **P2.7** – D/C (Data/Command); w stanie wysokim dane są traktowane jako dane, w stanie niskim przesyłane do rejestru komend.
- **P2.1** - RES (reset); w stanie niskim wywołuje reset i inicjalizację, w trakcie normalnej pracy należy utrzymywać go w stanie wysokim;

Inicjalizacja:

1. Ustawiamy piny 2.1, 2.7 oraz 0.6 w tryb wyjścia za pomocą rejestrów GPIO.
2. Ustawiamy pin 2.1 w tryb niskiego stanu aby upewnić się, że wyświetlacz jest wyłączony.
3. Wysyłamy instrukcje inicjalizujące do wyświetlacza OLED.
4. Oczekujemy krótki czas przed włączeniem wyświetlacza.
5. Ustawiamy pin 2.1 w tryb wysokiego stanu aby włączyć wyświetlacz.

Przesyłanie danych:

1. Ustawienie pinu CS w stan niski.
2. Ustawienie pinu D/C w stan wysoki w trybie danych lub w stan niski w trybie komendy.
3. Ustawienie pinu CS w stan wysoki.

## 2.7 System audio

System audio inteligentnej donicy składa się z głośnika (oznaczenie na schemacie SP1) oraz układu sterowania LM4811MM (oznaczenie na schemacie U10). Układ ten umożliwia generowanie sygnałów dźwiękowych informujących użytkownika o stanie rośliny. Implementacja obejmuje inicjalizację układu sterowania, konfigurację parametrów dźwięku oraz bibliotekę funkcji do odtwarzania różnych melodii w zależności od poziomu wilgotności gleby.

## 2.8 Timer

System wykorzystuje timery sprzętowe mikrokontrolera do precyzyjnego odmierzenia czasu i wykonywania cyklicznych zadań. W przeciwieństwie do PWM, który służy do generowania sygnałów o zmiennym wypełnieniu, timery są wykorzystywane do wywoływania przerw w określonych odstępach czasu. Funkcjonalność ta obejmuje konfigurację preskalerów, rejestrów porównania oraz obsługę przerw. Timery są używane do planowania pomiarów, kontroli cykli nawadniania oraz implementacji funkcji oszczędzania energii.

## 2.9 Modulacja szerokości impulsu (PWM)

Implementacja PWM umożliwia precyzyjne sterowanie elementami wykonawczymi wymagającymi sygnału analogowego, takimi jak silniki czy regulacja jasności diody LED. Funkcjonalność obejmuje konfigurację częstotliwości sygnału PWM, ustawianie wypełnienia impulsu (duty cycle) oraz dynamiczną zmianę parametrów w zależności od warunków środowiskowych. PWM jest wykorzystywane do regulacji intensywności świecenia diod LED w diodzie RGB LED3 [schemat]. W projekcie został wykorzystany PWM1.

### 2.9.1 Inicjalizacja PWM1

1. Konfigurację rozpoczynamy od włączenia zasilania. W tym celu ustawiamy 6 bit w rejestrze PCONP (tabela 46.)
2. Piny na których chcemy sterować impulsami to P2.0, P2.1, P2.2. Chcemy je ustawić jako PWM1.1, PWM1.2, PWM1.3, dlatego w rejestrze PINSEL4 ustawiamy bity 1:0, 3:2, 5:4 na 01 - funkcja PWM1.X
3. Opis rejestrów PWM1:
  - (a) **IR** - rejestr ten służy do zarządzania przerwami. Przerwania
    - i. **PWMMR0 Interrupt** - bit 0, flaga przerwania na kanale 0
    - ii. **PWMMR1 Interrupt** - bit 1, flaga przerwania na kanale 1
    - iii. **PWMMR2 Interrupt** - bit 2, flaga przerwania na kanale 2
    - iv. **PWMMR3 Interrupt** - bit 3, flaga przerwania na kanale 3

- v. **PWMCAP0 Interrupt** - bit 4, flaga przerwania dla zerowego wejścia przechwytyjącego (capture input); capture oznacza przechwycenie aktualnej wartości licznika (timer'a), np. w momencie zbocza sygnału (narastającego lub opadającego) na pinie wejściowym. Umożliwia to np. pomiar czasu trwania impulsów, okresów czy częstotliwości.
  - vi. **PWMCAP1 Interrupt** - bit 5, flaga przerwania dla pierwszego wejścia przechwytyjącego
  - vii. Bity 7:6 - zarezerwowane
  - viii. **PWMMR4 Interrupt** - bit 8, flaga przerwania na kanale 4
  - ix. **PWMMR5 Interrupt** - bit 9, flaga przerwania na kanale 5
  - x. **PWMMR6 Interrupt** - bit 10, flaga przerwania na kanale 6
  - xi. Bity 31:11 - zarezerwowane
- (b) **PWM1TCR**
- i. **Counter Enable** - bit 0, włączanie i wyłączanie licznika timera oraz preskalera
  - ii. **Counter Reset** - bit 1, resetowanie licznika timera, synchronizacja z kolejnym zboczem narastającym PCLK, tak długo, aż wartość tego bitu będzie równa 1
  - iii. Bit 2 - zarezerwowany
  - iv. **PWM Enable** - gdy wartość bitu jest równa 1 - **tryb PWM**, licznik resetuje się do 1, aktywuje shadow registry. Gdy wartość bitu jest równa 0 - **tryb timer**, licznik resetuje się do 0, bez PWM - działa jak zwykły timer.
  - v. Bit 4:31 - zarezerwowane
- (c) **PWM1CTCR** - rejestr służy do wyboru trybu licznika - timer lub jako licznik zliczający impulsy z zewnętrznego źródła.
- i. **Counter/Timer Mode** - bity 0:1, wartości i odpowiadające im działanie zostały opisane w poniższej tabeli.

Wartość	Opis
00	Timer mode: Timer Counter (TC) wykorzystuje Prescale Counter (PC) oraz Prescale Register (P)
01	Counter Mode: TC zlicza impulsy przychodzące (inkrementacja przy każdym zboczach nar
10	Counter Mode: TC zlicza impulsy przychodzące (inkrementacja przy każdym zboczach op
11	Counter Mode: TC zlicza impulsy przychodzące (inkrementacja przy na obu zboczach i

Tabela 9: Rodzaje pracy w trybie Timer/Counter

- ii. **Count Input Select** - bity 3:2 - ta część rejestru odpowiada za wybór pinu PCAP z którego będą zliczane impulsy.



Wartość	Opis
00	Timer mode: Timer Counter (TC) wykorzystuje Prescale Counter (PC) oraz Prescale Register (PSC)
01	Counter Mode: TC zlicza impulsy przychodzące (inkrementacja przy każdym zboczu narastającym)
10	Counter Mode: TC zlicza impulsy przychodzące (inkrementacja przy każdym zboczu opadającym)
11	Counter Mode: TC zlicza impulsy przychodzące (inkrementacja przy obu zboczach)

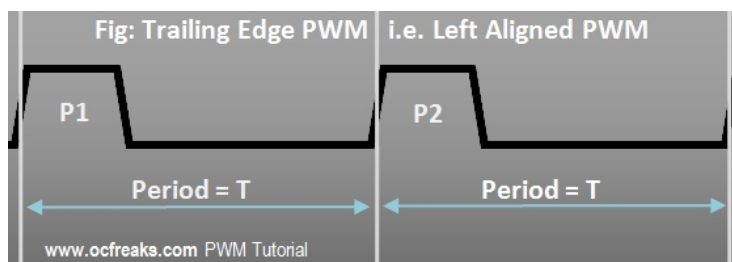
Tabela 10: Rodzaje pracy w trybie Timer/Counter

- iii. **PWM1MCR** - steruje reakcjami układu PWM, gdy zawartość rejestru licznika czasowego PWM Timer Counter (TC) jest równa jednej z wartości w rejestrach dopasowania PWM Match Registers (MR0–MR6). Ustawienie jedynki na poniższych bitach powoduje włączenie danej funkcji.
  - A. **PWMMR0I** - bit 0, gdy rejestr licznika PWM (PWM Timer Counter) osiągnie wartość ustawioną w Match Register 0 – PWMMR0, może wystąpić przerwanie - jeśli wartość ustawiona na tym bicie to 1
  - B. **PWMMR0R** - bit 1, gdy zawartość licznika PWMTC jest równa wartości PWMMR0 nastąpi reset PWMTC; Pozwala to tworzyć cykliczny sygnał PWM – licznik odlicza od 0 do wartości w PWMMR0, potem reset.
  - C. **PWMMR0S** - bit 3, zatrzymuje licznik, gdy wartość w rejestrze PWMTC jest równa wartości zapisanej w PWMMR0
  - D. funkcjonalności kolejnych bitów tego rejestru są cyklicznie powtarzane dla PWMMR1f, PWMMR2f, PWMMR3f, PWMMR4f, PWMMR5f, PWMMR6f (gdzie 'f' oznacza numer rejestru PWMMR)
 Bity 21:31 są zarezerwowane.
- iv. **PWM1CCR** - rejestr pozwala skonfigurować zdarzenia przechwytywania (capture events) na wejściach CAPn.x, czyli kiedy wartość licznika zostanie zapisana do rejestru przechwytywania (CRn), gdzie n jest numerem Timera - 0 lub 1. Warto zaznaczyć, że jeśli CAP input jest skonfigurowane jako źródło zliczania (Counter Mode w CTCR), to jego bity w PWM1CCR muszą mieć wartość 000. Poniższe funkcje są dostępne przy ustawieniu flagi na 1 we wskazanym bicie.
  - A. **Capture on CAPn.0 rising edge** - bit 0, jeśli zostanie wykryte zbocze narastające, to do rejestru przechwytywania CR0 zostanie wpisana zawartość TC
  - B. **Capture on CAPn.0 falling edge** - bit 1, jeśli zostanie wykryte zbocze opadające, to do rejestru przechwytywania CR0 zostanie wpisana zawartość TC
  - C. **Interrupt on CAPn.0 event** - bit 3, jeśli zostanie wykryte zdarzenie przechwycenia, to zawartość TC zostanie wpisana do CR0 oraz zostanie wygenerowane przerwanie

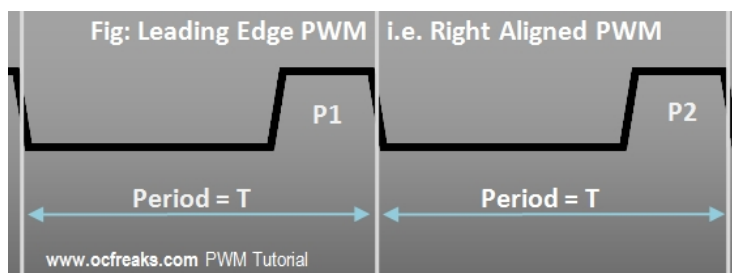
- D. Takie same funkcje mają bity 5:3, ale dla CAPn.1 i zapis do CR1.
- E. Bity 31:6 są zarezerwowane.
- v. **PWM1PCR** - rejestr służy do włączania PWM oraz wybierania trybu działania kanału.
- A. **PWMSELx** - wybór trybu pracy dla kanału PWMx, gdzie x to numery 2-6.
- Poniższa tabela opisuje generowany impuls w zależności od ustawionego bitu.
- Bity 0:1 są nieużywane, zawsze mają wartość 0.
- Bity 7:8 - są zarezerwowane.
- Zatem bity ustawiające tryby pracy to 6:2.

Wartość	Tryb	Opis
0	Single-edge	Generowany jest impuls z jedną krawędzią opadającą ??, ponieważ z dokumentacji
1	Double-edge	Generowany jest impuls z dwiema (umo

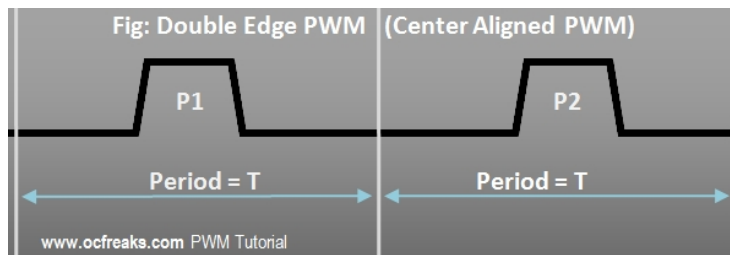
Tabela 11: Rodzaje pracy w trybie Timer/Counter



Rysunek 2: Przedstawienie trybu single-edge PWM, lewy impuls



Rysunek 3: Przedstawienie trybu single-edge PWM, prawy impuls



Rysunek 4: Przedstawienie trybu double-edge PWM

- B. **PWMENAx** - służy do włączania lub wyłączania wyjścia PWM, gdzie x to numer kanału PWM (1-6). Ustawianie tych funkcji odbywa się na bitach 14:9. Wartość 1 włącza wyjście, a wartość 0 wyłącza. Bity 15:31 są nieużywane i mają wartość 0.

## 2.10 Przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC)

System wykorzystuje przetwornik analogowo-cyfrowy do odczytu analogowego wejścia czujnika określanego jako "czujnik wilgotności". Należy zaznaczyć, że termin "wilgotność" jest w tym przypadku skrótem myślowym, ponieważ w rzeczywistości nie mierzymy bezpośrednio wilgotności gleby, a jej przewodność elektryczną, która jest skorelowana z zawartością wody w glebie. Implementacja obejmuje: Wbudowany przetwornik ADC jest przetwornikiem 12-bitowym, co oznacza, że może zwracać wartość z zakresu 0-4095. Przetwornik ten działa przy użyciu metody SAR (Successive Approximation Register), która polega na sekwencyjnym przybliżaniu wartości.

1. **Inicjalizacja i konfiguracja przetwornika ADC** - Proces inicjalizacji obejmuje konfigurację rejestrów mikrokontrolera, ustawienie częstotliwości próbkowania, wybór kanału pomiarowego oraz określenie napięcia referencyjnego. ADC może wykonać do 200 000 konwersji na sekundę (200 kHz), przy pełnej 12-bitowej rozdzielczości. To znaczy, że maksymalnie co 5 mikrosekund może być gotowy nowy wynik pomiaru.
2. **Odczyt wartości analogowej** - Funkcjonalność ta odpowiada za uruchomienie konwersji analogowo-cyfrowej, odczyt wyniku konwersji oraz obsługę ewentualnych błędów pomiaru.
3. **Interpretacja danych pomiarowych** - System przetwarza odczytane wartości na względny poziom wilgotności gleby. Proces ten obejmuje kalibrację czujnika (określenie wartości dla suchej i mokrej gleby), filtrowanie zakłóceń oraz konwersję surowych danych na format zrozumiały dla użytkownika.

### 2.10.1 Inicjalizacja przetwornika ADC

1. Na początku ustawiono piny do pracy w trybie analogowym. Dla pinu 23 na porcie 0 ustawiono funkcję nr. 1, co jest odpowiednikiem funkcji analogowej (Tabela 81.)  
Aby ustawić wybraną funkcję, należy ustawić bity 15:14 w rejestrze PINSEL1 na 01.
2. Następnie ustawiono 12. bit w rejestrze PCONP o adresie 0x400F C0C4 na 1, aby włączyć zasilanie dla przetwornika ADC.
3. Kolejnym krokiem jest odczytanie dzielnika zapisanego w rejestrze PCLKSEL0 o adresie 0x400F C1A8 na bitach 25:24 (Tabela 40.). Domyślnie dzielnik ten wynosi 4 (w rejestrze pod podanymi bitami znajduje się 00). Wtedy obowiązuje wzór na PCLK:

$$PCLK = \frac{CCLK}{4}$$

Gdzie:

CCLK - takt zegara układu; CCLK = 100MHz

PCLK - takt zegara przetwornika ADC

### 2.10.2 Obliczanie masek do odczytu wartości rejestrów

Aby móc zmieniać stan przetwarzania potrzebna jest maska, która pozwoli wybrać tylko interesujące nas bity z rejestru AD0CR.

1. W rejestrze AD0CR (0x4003 4000) na bicie 21 znajduje się informacja o stanie przetwornika:
  - 0 - przetwornik jest gotowy do pracy;
  - 1 - przetwornik jest wyłączony
2. Zatem potrzebujemy maski (1<<21)

### 2.10.3 Ustawianie wartości AD0CR

W rejestrze AD0CR (0x4003 4000) na bitach 15:8 znajduje się wartość przez jaką dzielony jest PCLK, by uzyskać częstotliwość próbkowania. Zatem potrzebujemy maski

$$(0xCLKDIV << 8)OR(1 << 21)$$

Gdzie:

$$\text{CLKDIV} = \frac{2 \cdot PCLK + \text{CLKDIV}}{2 \cdot \text{CLKDIV}} - 1$$
$$\text{CLKDIV} = \text{rate} \cdot 65$$

rate = 0,2MHz

Aby ustawić wartość AD0CR, należy wykonać następujące kroki:

1. Wczytaj aktualną wartość rejestru AD0CR (0x4003 4000) do zmiennej.
2. Wykonaj operację OR na tej zmiennej oraz masce.
3. Zapisz zmienną z wynikiem do rejestru AD0CR

W opisywanym projekcie przetwornik ADC nie korzysta z przerwań.

#### 2.10.4 Przeliczanie odczytu na dane liczbowe

Jak napisano na początku podrozdziału, przetwornik ADC korzysta z metody SAR (Successive Approximation Register). SAR jest realizowany sprzętowo. Sposób działania przetwornika jest następujący:

Dla uproszczenia przyjmujemy, że ADC ma 3 bity. Zakres wartości cyfrowych to 0-7. W rzeczywistości przetwornik ma 12 bitów.

Zakładamy, że:

$$V_{\text{ref}} = 3.3 \text{ V}$$
$$V_{\text{in}} = 2.0 \text{ V}$$

Każdy krok, to

$$\frac{3.3 \text{ V}}{8} = 0.4125 \text{ V}$$

1. Ustawiamy najbardziej znaczący bit na 1, więc liczba wynoch 100.
2. Następnie sprawdzamy, czy:

$$V_{\text{in}} \geq \frac{4}{8} \cdot V_{\text{ref}}$$
$$2.0 \text{ V} \geq 1.65 \text{ V}$$

3. Tak, więc zachowujemy najstarszy bit i ustawiamy kolejny bit na 1, czyli 110.

4. Następnie sprawdzamy, czy:

$$V_{\text{in}} \geq \frac{6}{8} \cdot V_{\text{ref}}$$
$$2.0 \text{ V} \geq 2.475 \text{ V}$$

5. Nie, więc zmieniamy bit na 0, czyli 101. Ustawiamy kolejny bit na 1, czyli 101.

6. Ponownie sprawdzamy, czy:

$$V_{\text{in}} \geq \frac{5}{8} \cdot V_{\text{ref}}$$
$$2.0 \text{ V} \geq 2.06 \text{ V}$$

7. Nie, więc zmieniamy bit na 0, czyli 100. Wartość cyfrowa wynosi 100, czyli 4 w systemie dziesiętnym, co odpowiada lekko ponad połowie zakresu odczytu ( $\frac{4}{7} \approx 0.57$ , a stosunek  $\frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{ref}}} \approx 0.60$ ).

Uzyskany pomiar służy do określenia wilgotności gleby i wypisanie na wyświetlacz odpowiedniego komunikatu, zostało to opisane w sekcji ??.

## 2.11 Komparator LM393

Przeszukując sieć w poszukiwaniu dokumentacji komparatora LM393 nie mogliśmy znaleźć idealnie odpowiadającego opisu. Mimo, iż oznaczenia na układzie scalonym się pokrywają (dokumentacja dotyczy LM393), to wyprowadzenia nie są identyczne. W związku z tym nie udało się znaleźć dokładnego opisu, ale zasada działania przetwornika jest taka sama.