POLITECHNIKA WROCŁAWSKA
WYDZIAŁ ELEKTRONIKI

KIERUNEK: Automatyka i Robotyka (AIR)
SPECJALNOŚĆ: Robotyka (ARR)

PRACA DYPLOMOWA INŻYNIERSKA

Projekt systemu sensorycznego bazującego na protokole MQTT

Design a sensor system based on MQTT protocol

AUTOR:
Marcin Bober

PROWADZĄCY PRACĘ:
Dr inż., Mateusz Cholewiński, K29W04D02

WROCŁAW 2021

Spis treści

Rozdział 1

Wprowadzenie

Rozwój technologii powoduje zmiany w każdej dziedzinie życia. Dotyka to nie tylko nasze codzienne otoczenie, ale i przede wszystkim gałęzie przemysłu. To właśnie między innymi potrzeby przemysłu napędzają innowacje poprzez wciąż rosnące zapotrzebowanie na nowe, lepsze i wydajniejsze rozwiązania. Coraz to szybsze procesory oraz miniaturyzacja elektroniki sprawia że niegdyś ogromne i skomplikowane sterowniki silników odchodzą w zapomnienie.

Dzisiejsza technologia pozwala na bardzo precyzyjne sterowanie takim silnikami prądu stałego, a same sterowniki nie zajmują już połowy pokoju. Wręcz przeciwnie. Technika analogowa coraz to częściej musi ustępować tej mikroprocesorowej. Powodów takiego stanu rzeczy jest bardzo wiele. Od większej uniwersalności na łatwość poprawy ewentualnych błędów kończąc. Jeżeli chodzi jednak o przemysł i produkcję urządzeń na wielką skalę to jest jeden parametr który przyćmiewa wszystkie inne. Są to oczywiście koszty produkcji. Koszty zaprojektowania i wdrożenia produktu na rynek są również ważne, ale to koszty produkcji są powodem dla którego księgowi rwą po nocach włosy z głowy szukając oszczędności na każdym drobnym elemencie. W tym miejscu pojawiają się mikroprocesory. Układy o bardzo dużej wszechstronności które można w każdej chwili przeprogramować całkowicie zmieniając ich działanie. W rękach sprawnego programisty są bardzo wydajne, a jednocześnie niezwykle energooszczędne. Jednakże w mojej pracy energooszczędność nie jest najważniejszym celem.

Myślą przewodnią stojącą za powstaniem tego projektu jest zaprojektowanie systemu zdolnego do sterowania pracą silnika prądu stałego. Co więcej, sterowanie odbywać się będzie w sposób zdalny. Jeden sygnał z komputera i sterownik umieszczony nawet na innej półkuli w mgnieniu oka wysteruje silnik tak, jak sobie tego zażyczymy. Projekt dopełniać będzie miła dla oka aplikacja okienkowa, która pozwoli na łatwą obsługę i przejrzysty wgląd w najważniejsze parametry pracy silnika.

Dodatkowym celem dla projektu jest zachowanie jak najniższej ceny, co będzie później warunkowało wybór konkretnych elementów systemu. Ma to również wpływ na poziom trudności projektu, w szczególności regulatora napięcia elementu wykonawczego, ponieważ tanie elementy cechują znacznie gorsze parametry aniżeli drogie, markowe produkty.

1.1 Założenia

Zostały zdefiniowane ogólne założenia dotyczące każdego z elementów, których spełnienie definiuje kryterium sukcesu.

- System składa się z trzech głównych elementów, połączonych ze sobą:
  - urządzenia wykonawczego,
  - brokera MQTT,
  - aplikacji dostępowej.
- Komunikacja pomiędzy częściami składowymi odbywa się z poprzez sieć bezprzewodową wykonaną w technologii WiFi z wykorzystaniem protokołu MQTT.
- Urządzenie wykonawcze ma zadawać napięcia na silnik prądu stałego w taki sposób, aby uzyskać parametry jak najbardziej zbliżone do zadanych przez aplikację dostępową.
- Aplikacja dostępowa ma za zadanie stanowić prosty i przejrzysty interfejs do sterowania urządzeniem. Umożliwia ona:
  - zadawania prędkości obrotowej silnika,
  - odczytu aktualnej prędkości silnika,
  - zmiany nastaw regulatora PID,
  - odczytu napięcia zasilania urządzenia,
  - odczytu wypełnienia sygnału PWM.
- Broker MQTT on za zadanie być lekkim i szybkim pośrednikiem w komunikacji między aplikacją dostępową, a urządzeniem wykonawczym.

1.2 Zgrubny opis komponentów

1.2.1 Aplikacja dostępowa

W celu komfortowej obsługi sterownika silnika, została stworzona aplikacja dostępowa w języku C++, która będzie komunikowała się w protokole MQTT. W tym celu wykorzystano otwarto źródłową wersję narzędzia programistycznego jakim jest QT [**?**]. Biblioteki QT posiadają dobrze zdefiniowane warstwy abstrakcji oraz bardzo wylewną dokumentację, co sprawia że tworzenie zaawansowanych, przenośnych aplikacji okienkowych jest niezwykle łatwe i przyjemne.

1.2.2 Urządzenie wykonawcze

Urządzenie końcowe jest dedykowanym rozwiązaniem przygotowanym specjalnie na poczet tego projektu. Bazuje ono na układzie z rodziny ESP32. Łączy się ono do brokera MQTT. Znajdujące się tam dane wykorzystuje w procesie sterowania silnikiem, samemu publikując aktualny stan silnika.

1.2.3 Serwer

Ostatnim elementem projektu jest Broker MQTT. Jego zadaniem jest bycie łącznikiem pomiędzy urządzeniami. Pozwala on na łatwe subskrybowanie jak i publikowanie informacji. Ta rola przypadła dla otwarto źródłowego brokera Mosquitto wydanego przez fundację Eclipse. Jest to jeden z popularniejszych programów tego typu, a zawdzięcza to małym wymaganiom sprzętowym, skalowalności oraz dostępności na wielu architekturach sprzętowych. Co więcej, w celu wdrożenia przenośności projektu, oprogramowanie to zostało poddane konteneryzacji, dzięki czemu można łatwo transportować go i uruchamiać na innych komputerach wraz z całą konfiguracją przy użyciu programu Docker.

Rozdział 2

Schemat działania projektu

Do sprawnej wymiany informacji między urządzeniami potrzebne jest kilka tematów. Oprogramowanie służące do trzymania piecza nad tymi drogami komunikacji działa tak że w razie potrzeby automatycznie potrafi tworzyć niezbędne tematy, dzięki czemu niezależnie czy dany broker już wcześniej obsługiwał to urządzenia czy nie, system potrafi samodzielnie przygotować sobie środowisko pracy.

Tematy tworzone i zarządzane przez aplikację okienkową to:

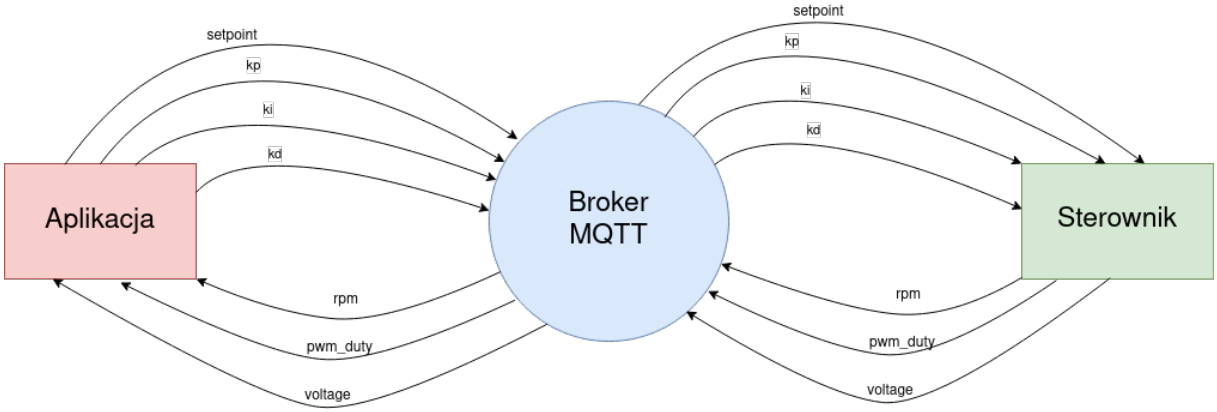
- kp - Wartość członu proporcjonalnego. Parametr sterujący pracą regulatora PID,
- ki - Wartość członu całkującego. Parametr sterujący pracą regulatora PID,
- kd - Wartość członu różniczkującego. Parametr sterujący pracą regulatora PID,
- setpoint - Wartość zadana dla regulatora. Wyrażona w obrotach na minutę.

Należy zauważyć że są to tylko i wyłącznie wartości zarządzające pracą regulatora PID. Dzięki udostępnieniu ich poza obszar programu istnieje możliwość dynamicznej zmiany parametrów regulatora, co sprawia że nawet osoba nie mająca dużego doświadczenia z regulatorami PID potrafi empirycznie wyznaczyć zadowalające wartości.

Poza tematami utworzonymi przez aplikację dostępową, potrzebne są jeszcze trzy dodatkowe tematy:

- rpm - ilość obrotów odczytana z silnika przy pomocy enkodera. Wyrażona w obrotach na minutę. Służy jedynie w celach kontrolnych. Daje możliwość zorientować się z jaką prędkością obraca się silnik w rzeczywistości i porównać wynik z wartością zadaną.
- pwm_duty - wartość wypełnienia PWM, wyrażona w procentach. Obrazuje stopień wykorzystania silnika.
- voltage - Napięcie zasilania urządzenia. Według specyfikacji L298 napięcie dostarczane do silników jest niższe o 1.8V - 3.2V w zależności od obciążenia. [**?**]

Obaj klienci brokera MQTT subskrybują nawzajem swoje tematy. Schemat wymiany danych został przedstawiony na rysunku **??**. Obrazuje on sposób komunikacji i zależności.



Rysunek 2.1: Schemat wymiany danych w systemie

Rozdział 3

Szczegółowy opis sterownika

Przygotowanie urządzenia wykonawczego pochłonęło lwią część czasu przeznaczonego na rozwój projektu. Wynika to z wielu części składowych niezbędnych do przygotowania kompleksowego produktu. Składa się na to między innymi projekt płytki drukowanej, czy projekt oprogramowania. Warto zaznaczyć że do skonstruowania w pełni autorskiego rozwiązania niezbędna jest szczegółowa wiedza z wielu dziedzin. Poczynając od elektroniki na programowaniu systemów wbudowanych kończąc.

3.1 Mikrokontroler

Jednostka obliczeniowa wybrana do przeprowadzania obliczeń mieści się w ogromnie popularnym SoC (z angielskiego System on a chip) o oznaczeniu ESP32-WROOM-32UE. Jest to układ chińskiej firmy Espressif Systems. Został on wybrany ze względu na zintegrowany moduł WiFi oraz bardzo niską cenę wynoszącą poniżej 2$ za sztukę, co perfekcyjnie wpisuje się w założenia projektu. Ponadto znajduje się w nim wiele ciekawych komponentów takich jak:

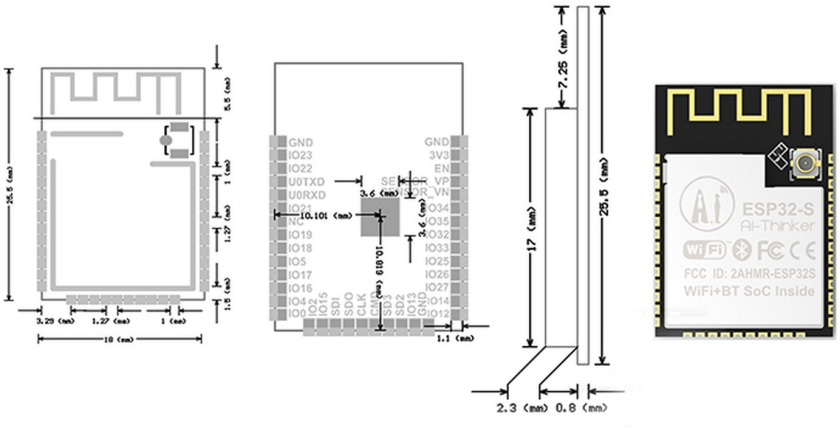
- dwurdzeniowy procesor o taktowaniu do 240MHz,
- 520 KiB RAM, 448 KiB ROM, 4 MB FLASH
- Bluetooth w standardzie 4.2 oraz BLE,
- 34 wyprowadzenia GPIO.

Użycie gotowego SoC znacznie upraszcza konstrukcję i gwarantuje poprawną współpracę zawartych w nim układów. Zainstalowany w nim mikrokontroler to ESP32-D0WD-V3.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że wybrana jednostka obliczeniowa posiada dość imponujące parametry jak na tak tani produkt. Pozwoli to na zadowalającą wydajność całego systemu bez obaw o niewystarczające zasoby lub kiepską optymalizację.

3.2 System operacyjny

Jednym z wielu wyzwań stawianych przed programistą systemów wbudowanych jest stworzenie rozbudowanego programu wykonującego wiele zadań na pojedynczej jednostce obliczeniowej. Powoduje to konieczność wykorzystywania rozbudowanych maszyn stanów i bardzo skomplikowanej logiki. Z pomocą przychodzą systemy operacyjne, które umożliwiają tworzenie programów wielowątkowych i uprzyjemniają korzystanie z procesorów



Rysunek 3.1: Schemat wykorzystanej jednostki centralnej

rdzeniowych. Ze względu na to że użyty w projekcie procesor ma dwa rdzenie logiczne oraz że program ten powinien wykonywać wiele czynności jednocześnie, błędem byłoby nie skorzystać dobrodziejstw oferowanych przez systemu operacyjne. Program wykonuje się więc pod kontrolą otwarto źródłowego systemu czasu rzeczywistego FreeRTOS [**?**]. Jest on znany z dużej szybkości działania. Implementuje on wszystkie elementy niezbędne do pracy z wieloma procesami takie jak muteksy, semafory czy kolejki priorytetowe. Bez niego obsługa WiFi czy protokołu MQTT byłaby niewyobrażalnie skomplikowana i czasochłonna.

Mówiąc o zaletach systemów operacyjnych warto też wspomnieć o ich wadach. Najważniejszą z nich jest narzut obliczeniowy wynikający między innymi z pracy planisty. Z tego powodu część czasu procesora poświęcana jest na pracę samego systemu i nie bierze udziału w wykonywaniu obliczeń na rzecz programu. Jest to jednak niska cena za tak potężne narzędzie znacznie ułatwiające tworzenie programu.

3.3 Framework

Przy opracowywaniu kodu źródłowego sterownika został użyty framework ESP-IDF [**?**] przygotowany przez producenta procesora. Na stronie dostawcy tego rozwiązania można znaleźć także obszerną dokumentację tłumaczącą wykorzystanie frameworka w praktyce wraz z wieloma przykładami użycia. Zastosowanie gotowej abstrakcji zdejmuje z dewelopera obowiązek implementacji wielu skomplikowanych aspektów programu. W tym projekcie szczególnie przydatna jest implementacja stosu TCP/IP i protokołu MQTT.

3.4 Schemat funkcjonowania

Największą zaletą posiadania systemu operacyjnego jest możliwość tworzenia osobnego procesu dla każdego zadania. To znowu pozwala dokładnie kontrolować czasy wywołań i częstotliwości odpowiednich wydarzeń. Główne zadania stawiane temu sterownikowi to:

- obsługa silnika wraz z liczeniem PID,
- pomiary napięcia zasilania,
- wysyłanie danych przez MQTT,

- obsługa WiFi, odbieranie danych z MQTT, planista i obsługa przerwań

W ten sposób kształtują się cztery główne procesy, które biorą udział w pracy systemu:

Pierwszy Proces ten wykonuje się dokładnie co 10ms. Każde odchylenie w czasie tego procesu powodowałoby niedokładną pracę regulatora PID, co skutkowałoby niestabilnym zachowaniem się silnika. Z tego też powodu, ten proces został na stałe przypięty do pierwszego rdzenia procesora oraz otrzymał bardzo wysoki priorytet. Jego schemat działania został zamieszczony na rys. **??**

Drugi Ten proces odpowiedzialny jest za pomiary zasilania. Wykonuje się co około 20ms, ale ze względu na ustawiony bardzo niski priorytet ustępuje każdemu innemu zadaniu. Wykonuje się więc tylko gdy procesor nic innego nie robi. Nie stanowi to żadnego problemu, ponieważ opóźnienia w wykonywaniu tego procesu nie wpływają z znacznym stopniu na prawidłową pracę systemu. Informacja przez niego generowana trafia wyłącznie na panel kontrolny użytkownika i jest wyświetlana w aplikacji dostępowej, gdzie aktualizowana jest z częstotliwością około 5Hz. Drobne odchyły w czasie aktualizacji są więc niewykrywalne. Proces ten został przypięty do rdzenia numer 2.

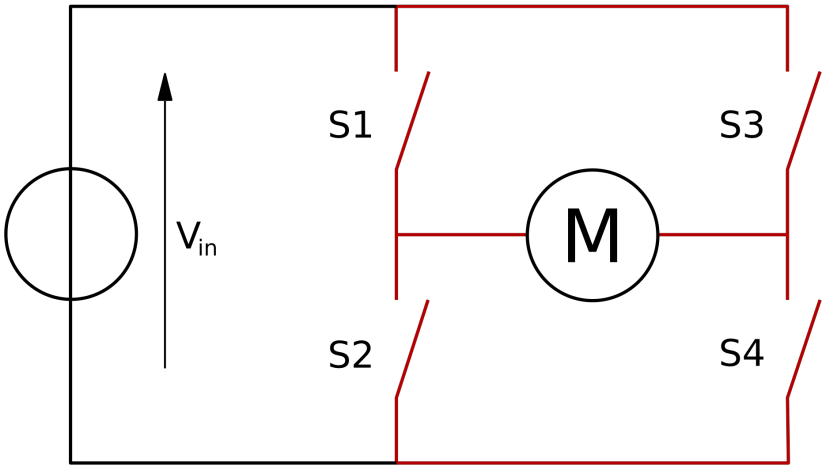
Trzeci Zadaniem tego procesu jest odbieranie danych z kolejek priorytetowych FIFO i wysyłanie ich poprzez protokół MQTT do brokera. Otrzymał on średni priorytet. Wykonuje się w momencie gdy, w którejś z kolejek pojawiają się jakieś nowe dane. On również został przypisany do rdzenia numer 2. Jako jedyny z tych procesów zaczyna swoją pracę dopiero po nawiązaniu poprawnego połączenia z serwerem MQTT. Wraz z zerwaniem połączenia jest on usuwany.

Czwarty Ostatni proces jest głównym procesem w systemie. Odpowiada on za początkową konfigurację peryferiów przy starcie systemu. Z niego wywodzi się także reszta procesów. Po poprawnym starcie oraz inicjalizacji peryferiów zostaje on zawieszony.

W systemie istnieją także inne procesy zajmujące się między innymi obsługą połączenia z siecią, klientem MQTT, przerwaniami oraz planistą systemu.

3.5 Mostek H

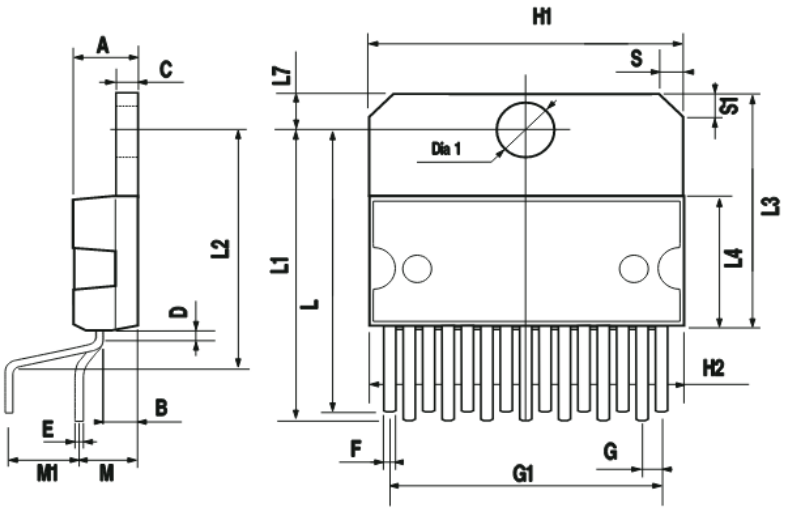
Głównym zadaniem mikrokontrolerów jest zbieranie danych z czujników, wykonywanie obliczeń i podejmowanie decyzji. Nie zostały jednak stworzone do sterowania elementami o wyższym napięciu czy dużych prądach. Wyjścia mikrokontrolerów potrafią dostarczyć zazwyczaj około kilkudziesięciu miliamperów prądu. W przypadku mikrokontrolera użytego w projekcie dokumentacja [**?**] informuje o bardzo wysokim prądzie wyjściowym dochodzącym nawet do 40mA w sprzyjających warunkach. Jest to wystarczająca ilość do zasilenia diody LED (ok. 20mA) czy sterowania tranzystorem. Z drugiej strony jest to wielokrotnie za mało, aby sterować silnikiem prądu stałego. Takie silniki zazwyczaj nie dość że działają na wyższych napięciach aniżeli 3.3V to często potrafią zużyć ponad 2A prądu podczas obciążenia. Jednym ze sposobów kontrolowania prędkości obrotowej takiego jest zastosowanie wcześniej wspomnianego tranzystora lub przekaźnika. Minusem takiego rozwiązania jest brak możliwości zmiany kierunku obrotów. Rozwiązaniem, które pozwoli na sterowanie silnikiem w obu kierunkach najczęściej jest użycie mostka H. Jego schemat przedstawiono na rys. **??**



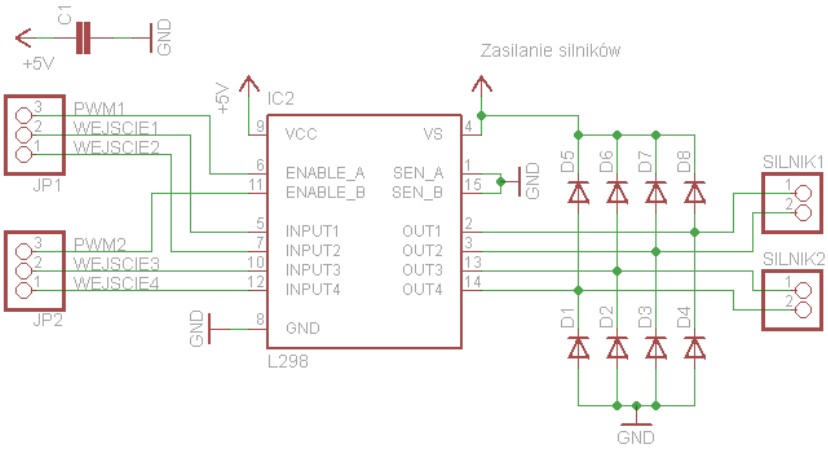
Rysunek 3.2: Ogólny schemat mostka H

W roli mostka H został wyselekcjonowany bardzo popularny układ scalony L298N w obudowie Multiwatt15. Nie jest to nowy układ scalony, ale jest on przetestowany i zdecydowanie wystarczający dla tego zastosowania. Może się on poszczycić napięciem zasilania silników do 46V i prądem szczytowym na poziomie 2A. W rzeczywistości posiada on dwa osobne kanały co sprawia że z jego pomocą możliwe jest jednoczesne sterowanie dwoma silnikami, jednakże projekt ten zakłada wykorzystanie tylko jednego silnika, więc drugi kanał pozostanie nieaktywny. Może to spowodować wolniejsze nagrzewanie się układu, co z pewnością przełoży się na jego stabilniejszą pracę.

Układ scalony tego typu został przedstawiony na rys. **??**. Redukuje on znacząco poziom skomplikowania urządzenia ponieważ w celu uruchomienia go wystarczą cztery diody redukujące prądy indukowane na cewkach silników podczas ich pracy oraz kondensator filtrujący zasilanie [**?**]. Przykładowe podłączenie jest zaprezentowane na rys. **??**.



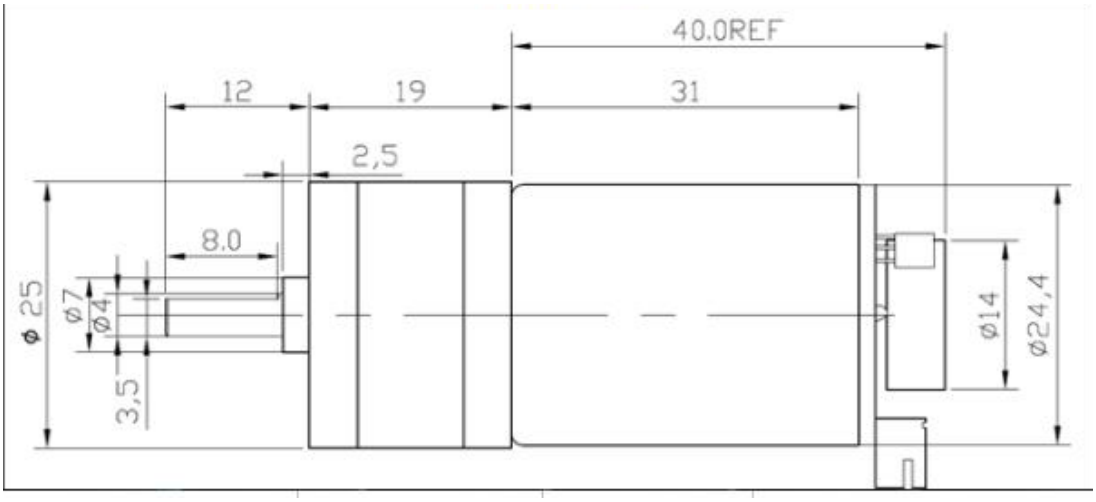
Rysunek 3.3: Schemat wykorzystanego mostka H



Rysunek 3.4: Schemat podłączenia mostka H

3.6 Silnik

Silnik jest to bardzo konkurencyjnie wyceniany produkt firmy DFROBOT. Został on wybrany w głównej mierze ze względu na swoją niską cenę i parametry, które w zupełności wystarczą do zrealizowania tego projektu. Jest on wyposażony w metalową przekładnię zapewniającą przełożenie napędu w proporcji 20:1. Ponadto, na końcu silnika znajduje się fabrycznie zamontowany enkoder kwadraturowy, który produkuje 11 impulsów na każdy obrót wałka głównego. Schemat silnika wraz z enkoderem umieszczony został na rys. **??**



Rysunek 3.5: Schemat wykorzystanego silnika

3.7 Płytka drukowana

3.7.1 Opis

Urządzenie wykonawcze zawiera mikrokontroler, mostek H oraz element wykonawczy w postaci silnika prądu stałego wyposażonego w enkoder kwadraturowy. Poza możliwością zadawania napięcia na silnik, urządzenie dysponuje funkcją pomiaru napięcia zasilania. Poza wymienionymi jednostkami na płytce drukowanej znajdują się także wszystkie ele-

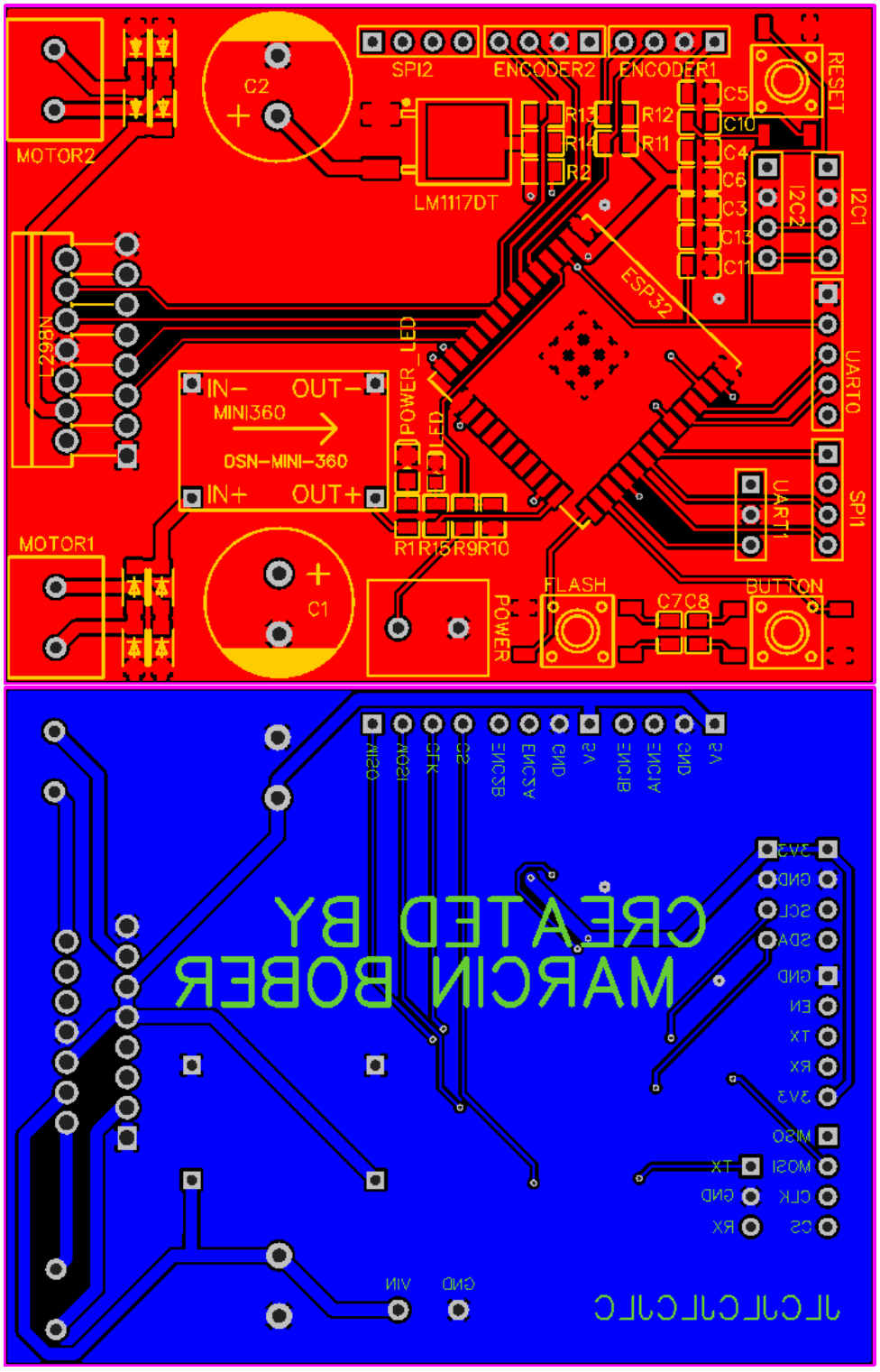
menty niezbędne do prawidłowej pracy procesora takie jak kondensatory i rezystory. Obie strony płytki zarówno górną jak i dolną zostały dołączone do projektu.

3.7.2 Wygląd

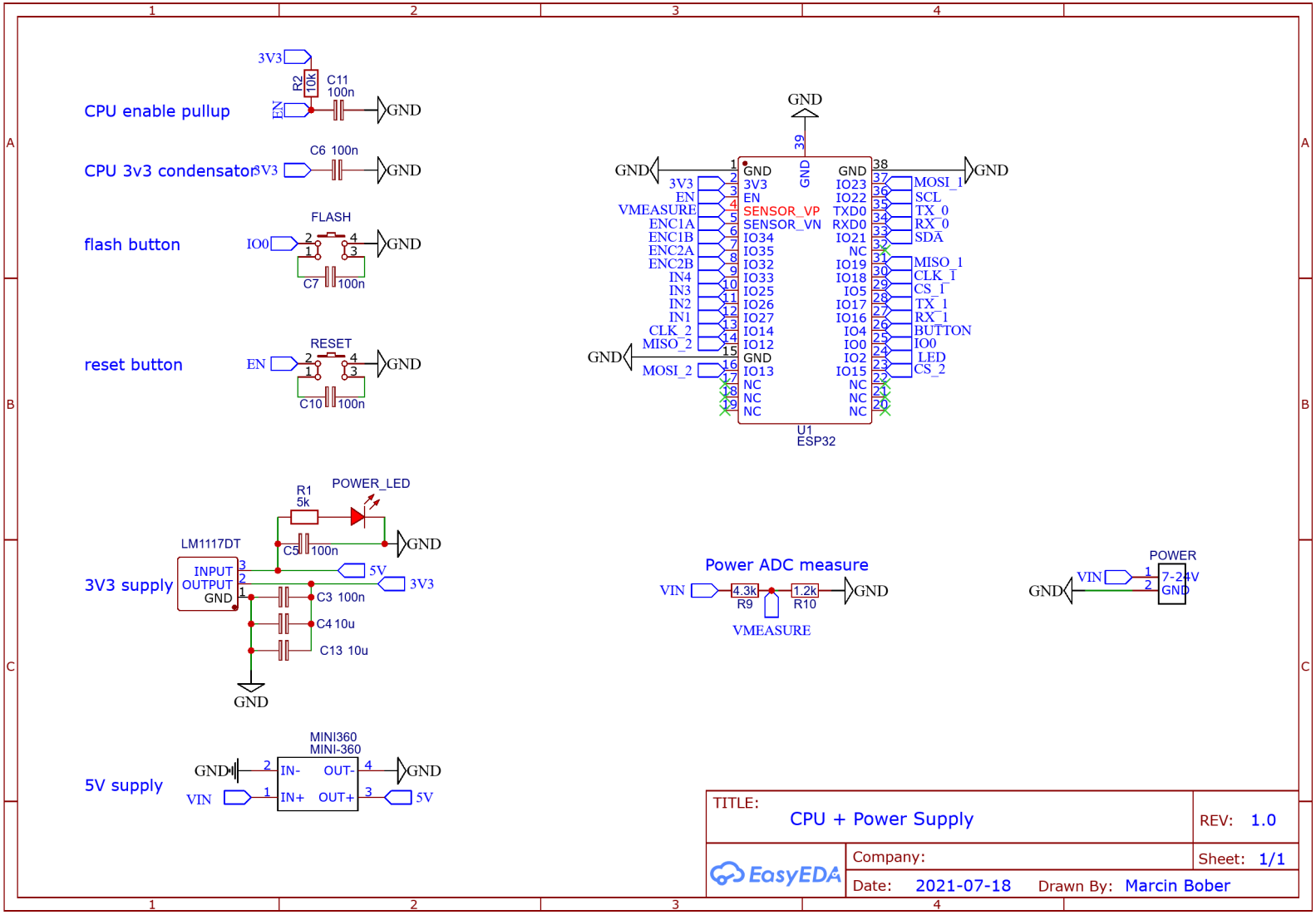
Przygotowany wzór płytki drukowanej z rozlokowanymi elementami i poprowadzonymi ścieżkami został złączony do tego dokumentu. Obie strony płytki zarówno górna jak i dolna dostępne są jako rysunek **??**.

3.7.3 Schemat

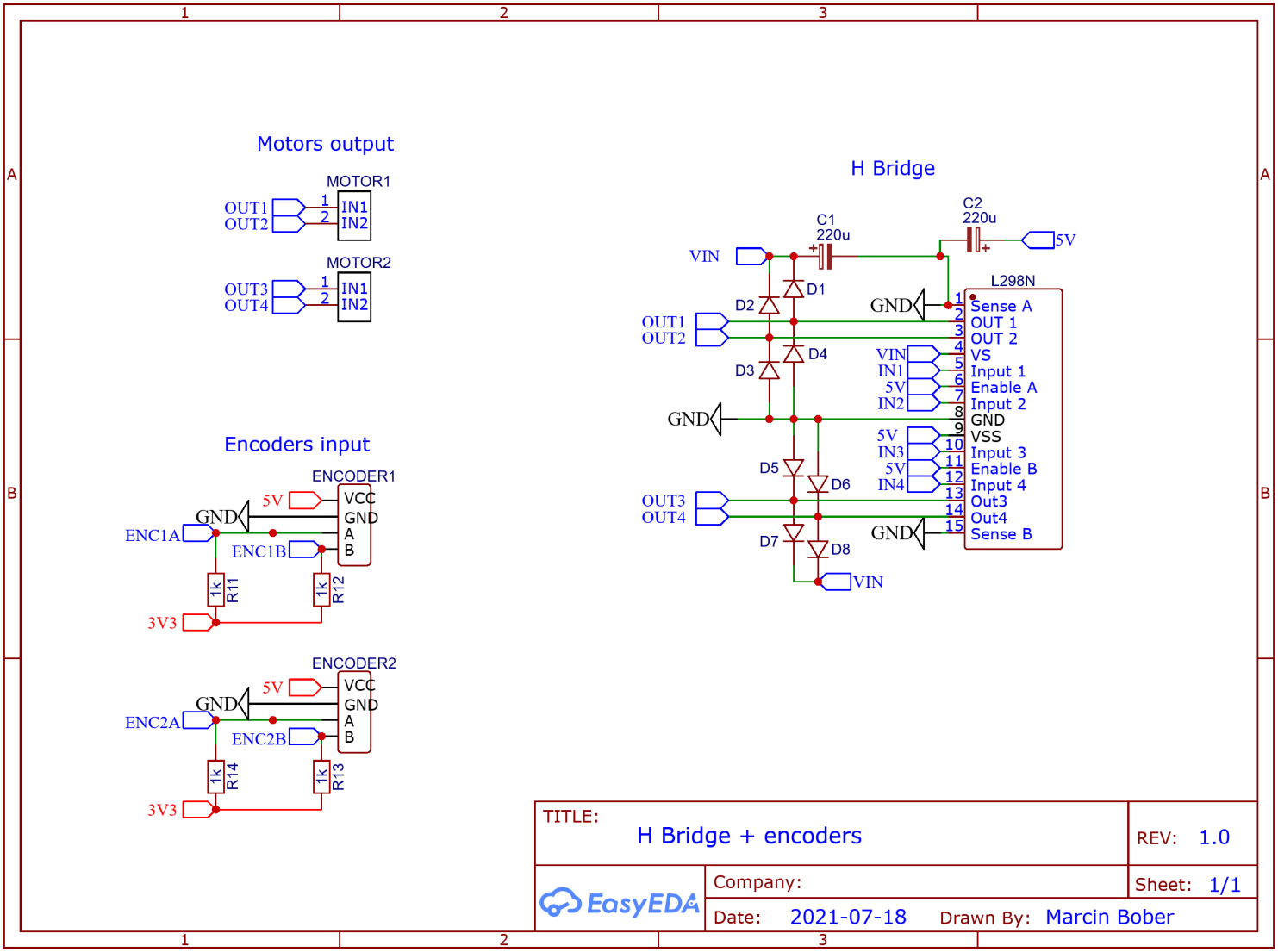
Schemat składa się z trzech stron. Pierwsza strona (rys. **??**) dotyczy sekcji zasilania oraz połączeń z SoC wraz z elementami niezbędnymi do jego prawidłowej pracy. Druga strona (rys. **??**) opisuje połączenia enkoderów oraz mostka H. Trzecia strona (rys. **??**) są to jednie wyprowadzenia interfejsów.



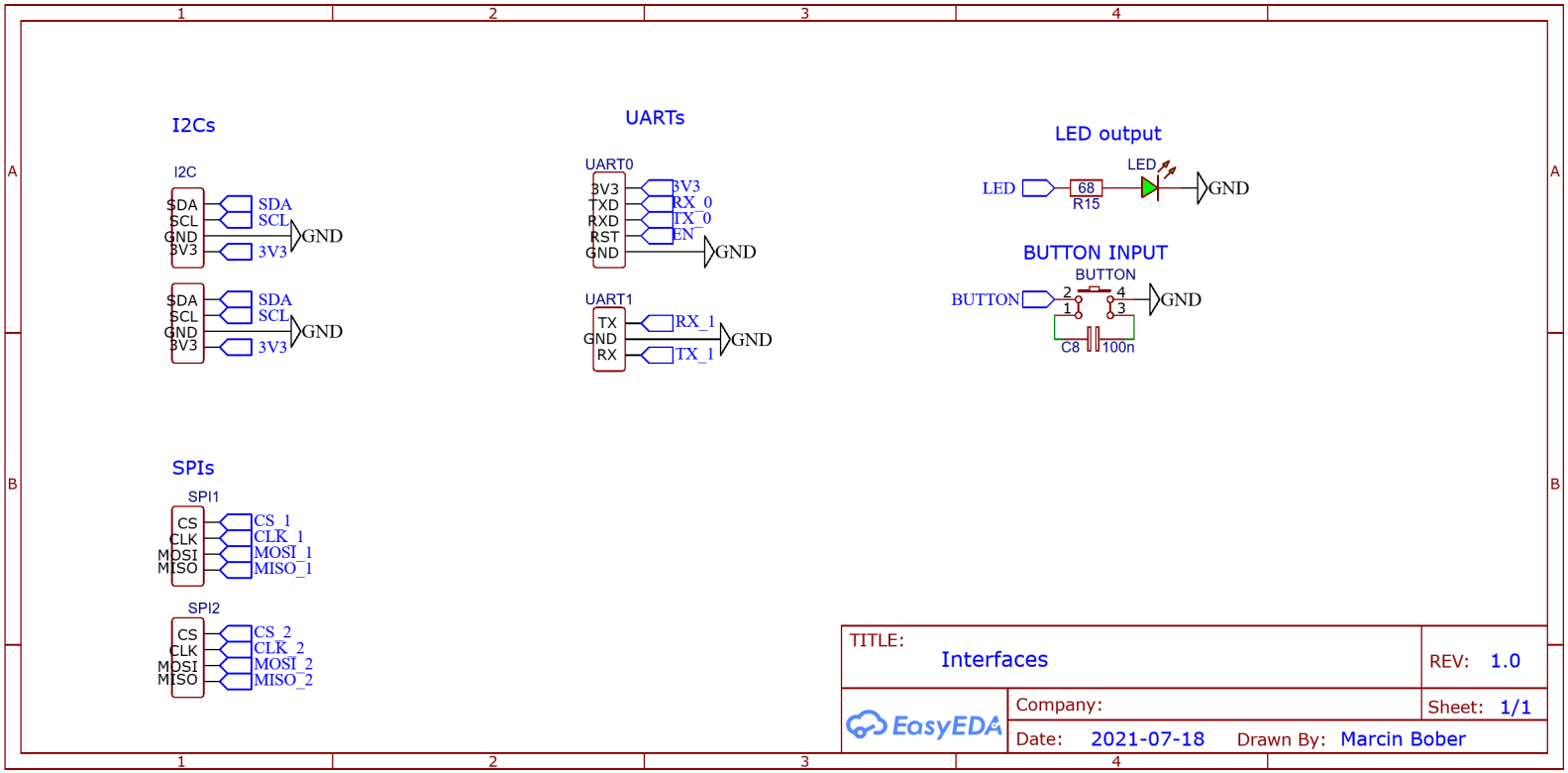
Rysunek 3.6: Wygląd PCB



Rysunek 3.7: Schemat płytki PCB (CPU+PSU)



Rysunek 3.8: Schemat płytki PCB (mostek + enkodery)



Rysunek 3.9: Schemat płytki PCB (interfejsy)

3.8 Licznik impulsów

3.8.1 Opis

Licznik impulsów (Pulse Counter) jest peryferium, które znakomicie ułatwia obsługę enkoderów. Procesory bez takich udogodnień są skazane na odczytywanie przerwania za każdym razem jak enkoder wyśle impuls, aby następnie za pomocą kodu Graya rozpoznawać kierunek obrotu [**?**]. W takim zastosowaniu użycie enkodera jako pokrętła jest zrozumiałe. Zmieniając enkoder ręczny na taki zamontowany na silniku znacznie zwiększamy częstość generowania impulsów, a co za tym idzie również przerwań, odbieranych w sekundzie pracy procesora. W przypadku użytego w tym projekcie silnika prędkość obrotowa silnika przed przekładnią równa jest:

$$V = \frac{n \cdot k}{t_n} = \frac{300 \cdot 20.4}{60s} = 102$$

Gdzie:

- n - ilość obrotów silnika za przekładnią w ciągu minuty pracy,
- k - współczynnik redukcji przekładni,
- t_n - okres czasu z którego brane są impulsy.

Wiedząc że zintegrowany enkoder wytwarza 11 impulsów na każdy obrót, nietrudno jest wyliczyć że procesor zostanie zasypany ilością 1122 przerwań w ciągu zaledwie jednej sekundy pracy. Taka kolej rzeczy z pewnością odbiłaby się na wydajności urządzenia. W ekstremalnym przypadku użycie większego silnika lub dokładniejszego enkodera mogłoby doprowadzić do sytuacji, gdzie procesor nie byłby w stanie obsłużyć takiego natłoku przerwań. Rozwiązaniem tego problemu jest użycie liczników impulsów, które odciążają mikrokontrolery z takich wyzwań. Posiadają one swoją pamięć w której gromadzą dane na temat zliczonych sygnałów. W takiej sytuacji zadaniem procesora jest jedynie czytanie z tej pamięci. ESP32 posiada aż 8 takich liczników, co stwarza ogromne możliwość wykorzystania tego układu.

Producent układu w dokumentacji procesora informuje że minimalny okres pomiędzy impulsami, który gwarantuje nie pominięcia żadnego odczytu nie może być mniejszy jak $12.5ns$. Wykorzystany w projekcie silnik obraca się z prędkością 100 obrotów na sekundę, a przy każdym obrocie enkoder produkuje 11 impulsów. Częstotliwość występowania impulsów jest następująca:

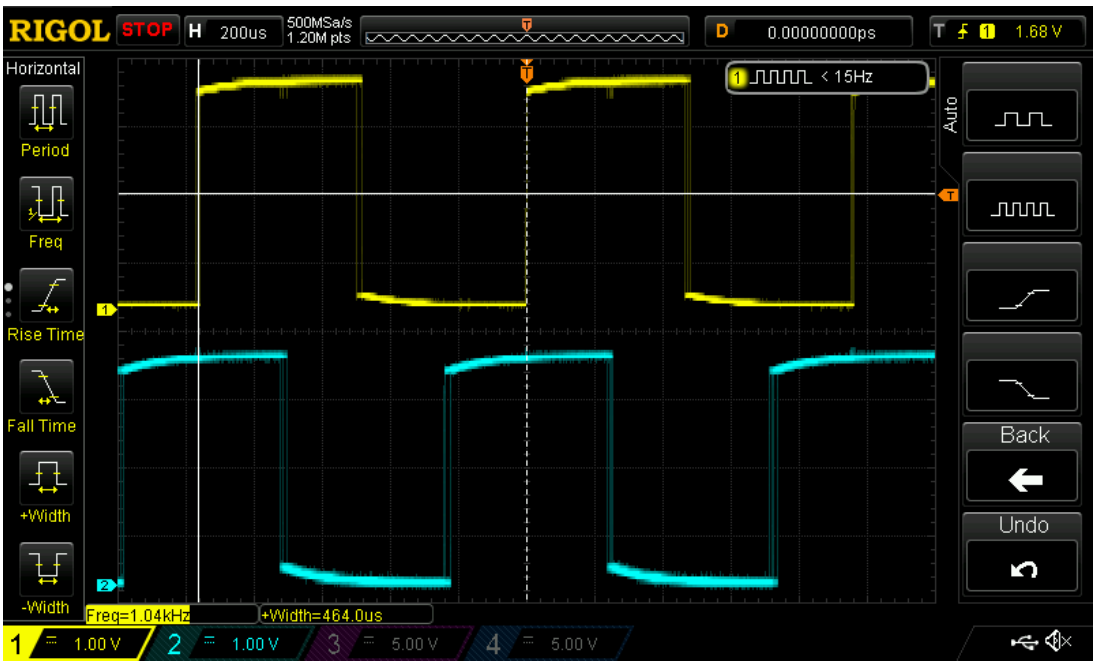
$$f = \frac{n}{t_n} = \frac{100 \cdot 11}{1s} = 1100Hz$$

Gdzie n oznacza generowaną ilość impulsów przez enkoder w okresie czasu t_n. Okres pomiędzy impulsami jest odwrotnością częstotliwości:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1100Hz} = 909.09us$$

Obliczenia zostały poparte pomiarami z oscyloskopu. Pomiar został umieszczony na rys. **??**. Widać na nim że częstotliwość waha się w okolicy 1040Hz. Delikatne zwiększenie napięcia zasilania spowodowałoby minimalny wzrost obrotów, więc uzyskanie wyliczonej częstotliwości nie jest problemem. Niemniej jednak, okres pomiędzy impulsami enkodera

jest o rzędy wielkości większy niż okres graniczny dla tego licznika. Oznacza to że można wypełni ufać wskazaniom licznika ponieważ że żadne impulsy nie są pomijane. Abstrahując od okresów pomiędzy impulsami obraz z oscyloskopu wspaniale prezentuje przesunięcie przebiegów pomiędzy kanałami enkodera.



Rysunek 3.10: Pomiar impulsów z oscyloskopu

3.8.2 Konfiguracja

W przypadku tego układu, konfiguracja jest bardzo prosta i sprowadza się do wypełnienia zaledwie dwóch struktur i wysłania ich do peryferium.

Listing 3.8.1: Konfiguracja licznika impulsów

Użycie jednej struktury powoduje włączenie jednego z dwóch kanałów w liczniku. Licznik automatycznie ewaluuje zbocza narastające na obu wyjściach enkodera, co podwaja wykrywaną ilość impulsów. Poprawne skonfigurowanie obu kanałów w liczniku w sposób pokazany na listingu **??** sprawia że licznik poprzez analizę zbocz narastających jak i opadających zwiększa dokładność enkodera aż czterokrotnie. Ten sprytny zabieg sprawił że użyty w projekcie tani enkoder dostarcza nam aż 897 impulsów na każdy obrót wału wyjściowego z przekładni. Skutkuje to impulsem co około 0.4°. Proces ten został opisany w publikacji [**?**]. Poza konfiguracją licznika musimy dbać jedynie o odczyt zliczonych impulsów oraz zerowanie pamięci po wykonanym odczycie. Funkcje odpowiedzialne za te czynności zostały przedstawione w listingu **??**

3.9 Regulator PID

Najważniejszą częścią programu jest implementacja regulatora PID. Odpowiednie zaprojektowanie jego działania jest kluczowe w kwestii wydajności oraz poprawności funkcjonowania całego systemu. Schemat funkcjonowania algorytmu jest prosty. Został on przedstawiony na listingu **??**. Czytamy ilość impulsów z układu odpowiedzialnego za ich zliczanie. Przy okazji czyścimy jego rejestry, aby mógł zliczać już kolejne impulsy w trakcie, gdy my będziemy dokonywać obliczeń. Warto zaznaczyć że nie zapisujemy momentu zaczytania danych. Musimy więc zagwarantować że funkcja ta będzie wykonywać się cyklicznie w ściśle określonym przedziale czasowym. Każde odstępstwo od tego będzie powodowało błędy w poprawnym działaniu algorytmu.

Listing 3.9.1: Pętla regulatora PID (pobieranie danych)

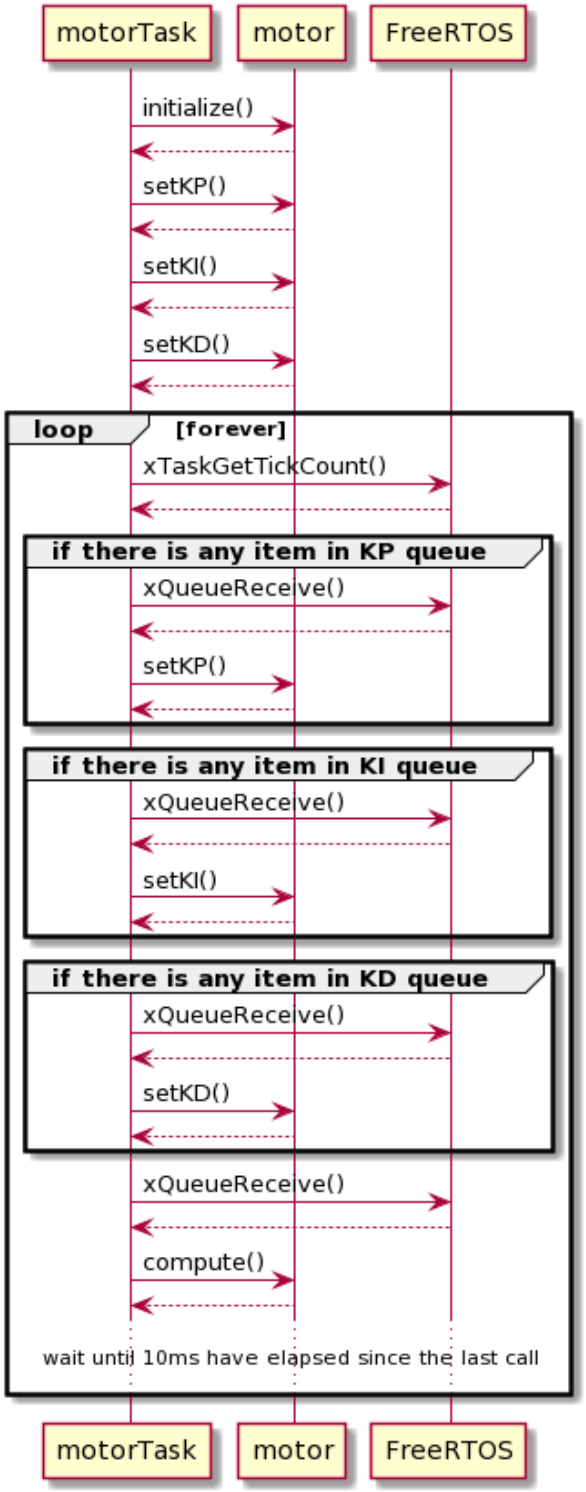
Kolejnym krokiem jest policzenie uchybu regulacji. Jest to tradycyjnie różnica wartości ustalonej i zliczonych impulsów. Następnie liczymy wartości dla każdego z członów regulacji, jednocześnie gwarantując że mieszczą się one we wcześniej zdefiniowanych przedziałach. Wartości każdego z członów mnożymy przez wybrane przez użytkownika współczynniki. Teraz wystarczy już zsumować wszystkie wartości oraz zapewnić że uzyskana wartość nie przekroczy wartości granicznych możliwych do ustawienia dla PWM. W tym momencie część obliczeniowa jest gotowa. Znajduje się ona na listingu **??**.

Listing 3.9.2: Pętla regulatora PID (obliczanie wartości regulacji)

Pozostaje przekazać wyliczone parametry do peryferium odpowiedzialnego za sterowanie napięciem na silniku oraz przekazać wartości zliczonych impulsów i zapełnienia PWM do odpowiednik kolejek FIFO w celu wysłania ich przez MQTT. Tak jak to zostało zaprezentowane na listingu **??**. Proces odpowiedzialny za wywołanie tej funkcji jest skonfigurowany tak, aby uruchamiać się dokładnie w odstępach 10ms.

W celu zapewnienia niezachwianych odstępów czasu, jeden z dwóch rdzeni procesora został oddelegowanych do wykonywania tylko i wyłącznie tego procesu. Można uważać że wykonywanie pętli regulacji z częstotliwością 100Hz jest nadmiarowe, ale ze względu na duży zapas mocy obliczeniowej uznałem że można sobie na to pozwolić. Im częściej dokonuje się regulacja tym szybciej sterownik może zareagować na zmiany. Diagram aktywności tego procesu został załączony w listingu **??**.

Listing 3.9.3: Pętla regulatora PID (przesyłanie wyników)



Rysunek 3.11: Diagram aktywności procesu PID

3.10 Pomiar napięcia

Pomiar napięcia dokonywany jest przy użyciu przetwornika analogowo-cyfrowego wbudowanego w mikroprocesor [?]. Posiada on bowiem dwa 12 bitowe przetworniki, których wejścia są multipleksowane na aż 18 pinów. Po wczytaniu się w dokumentację okazuje się jednak że użyteczność tych przetworników ma wiele wykluczeń. Najważniejszym z nich jest interferencja przetwornika ADC2 z peryferium odpowiedzialnym za połączenie WiFi. Oznacza to że w projektach od których wymagamy stałego połączenia z siecią jesteśmy ograniczeni jedynie do 8 pinów obsługujących odczyty analogowe.

Kolejnym ciekawym aspektem tego układu jest możliwość programowego wyboru tłumienia sygnału wejściowego. Producent umożliwia nam wybór od 0dB poprzez 2.5dB oraz 6dB aż do 11dB tłumienia. Im wyższy parametr zostanie wybrany tym wyższe napięcia jest w stanie obsłużyć przetwornik. Niemniej jednak wybór wyższych oczek znacznie degraduje precyzję pomiaru.

3.10.1 Konfiguracja ADC

Po dokładnym przestudiowaniu dokumentacji przyjąłem ustawienie tłumienia na poziomie 2.5dB za najkorzystniejsze. Patrz **??**. Wyższe ustawienia wprowadzają znaczną niedokładność pomiarów. Według dokumentacji [?] takie ustawienie sprawia że efektywny zakres pomiarowy kształtuje się w zakresie od 100mV do 1250mV na pinie mikrokontrolera. Błędy pomiaru zadeklarowane przez producenta nie powinny przekroczyć $\pm 30mV$. Jednakże, zasilanie płytki jest zaprojektowane do obsługi dużo większych napięć, tak aby móc wykorzystywać szeroki zakres silników. Podanie napięcia wyższego jak zasilanie procesora, które w tym wypadku wynosi 3.3V, spowodowałoby trwałe uszkodzenia układu. Do bezpiecznego pomiaru napięcia zasilania niezbędne jest więc zastosowanie dzielnika napięcia.

Rozdzielczość peryferium została ustawiona na 12 bitów. Wynika z tego że istnieje $2^{12} = 4096$ poziomów kwantyzacji. Nie spodziewam się że mój autorski projekt płytki drukowanej **??** będzie miał na tyle niski szum kwantyzacji, aby móc w pełni wykorzystać taką rozdzielczość, ale w tym przypadku czas pomiaru nie jest tutaj kluczowy. Założenie wykonywania pomiaru zakłada że i tak będzie wykonywane wiele pomiarów pod rząd, aby później móc wyciągnąć z nich średnią.

Listing 3.10.1: Konfiguracja przetwornika ADC

3.10.2 Dzielnik napięcia

Zadecydowałem że w tym projekcie wystarczający będzie najprostszy dzielnik oparty na dwóch rezystorach. Pozwoli nam on liniowo podzielić napięcie, tak aby nigdy nie przekroczyło ono wartości niebezpiecznej dla mikroprocesora. Do stworzenia dzielnika wykorzystałem rezystory z szeregu E24 [?] o wartościach $9.1k\Omega$ oraz $1k\Omega$ i podłączyłem je w sposób pokazany na schemacie **??**.

Obliczenie dostępnego zakresu pomiarowego przetwornika adc odbywa się przy pomocy wzoru na dzielnik napięcia [?]. Jest on następujący:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in}$$

Gdzie napięcie wejściowe V_{out} jest maksymalnym napięciem dostępnym na wejściu przetwornika. Zgodnie z informacją zawartą w dokumentacji procesora [**?**] wybranie tłumienia na poziomie 2.5dB skutkuje otrzymaniem 1250mV jako granicy efektywnego zakresu pomiarowego. Przy czym producent zaznacza że ta wartość zależy od konkretnego egzemplarza i może się wahać. R_1 oraz R_2 to użyte rezystory w dzielniku. W tym przypadku są to kolejno $9.1k\Omega$ oraz $1k\Omega$.

Dla maksymalnego obsługiwanego napięcia z przedziału wzór to:

$$1.250V = \frac{1k\Omega}{9.1k\Omega + 1k\Omega} \cdot V_{in}$$

Po przekształceniu go tak aby wyliczyć napięcie przed dzielnikiem otrzymujemy:

$$V_{in} = \frac{1.250V \cdot (9.1k\Omega + 1k\Omega)}{1k\Omega} = 12.625V$$

Dla najniższego napięcia w mieszczącego się w zakresie efektywnego pomiaru (100mV) otrzymamy:

$$V_{in} = \frac{0.100V \cdot (9.1k\Omega + 1k\Omega)}{1k\Omega} = 1.01V$$

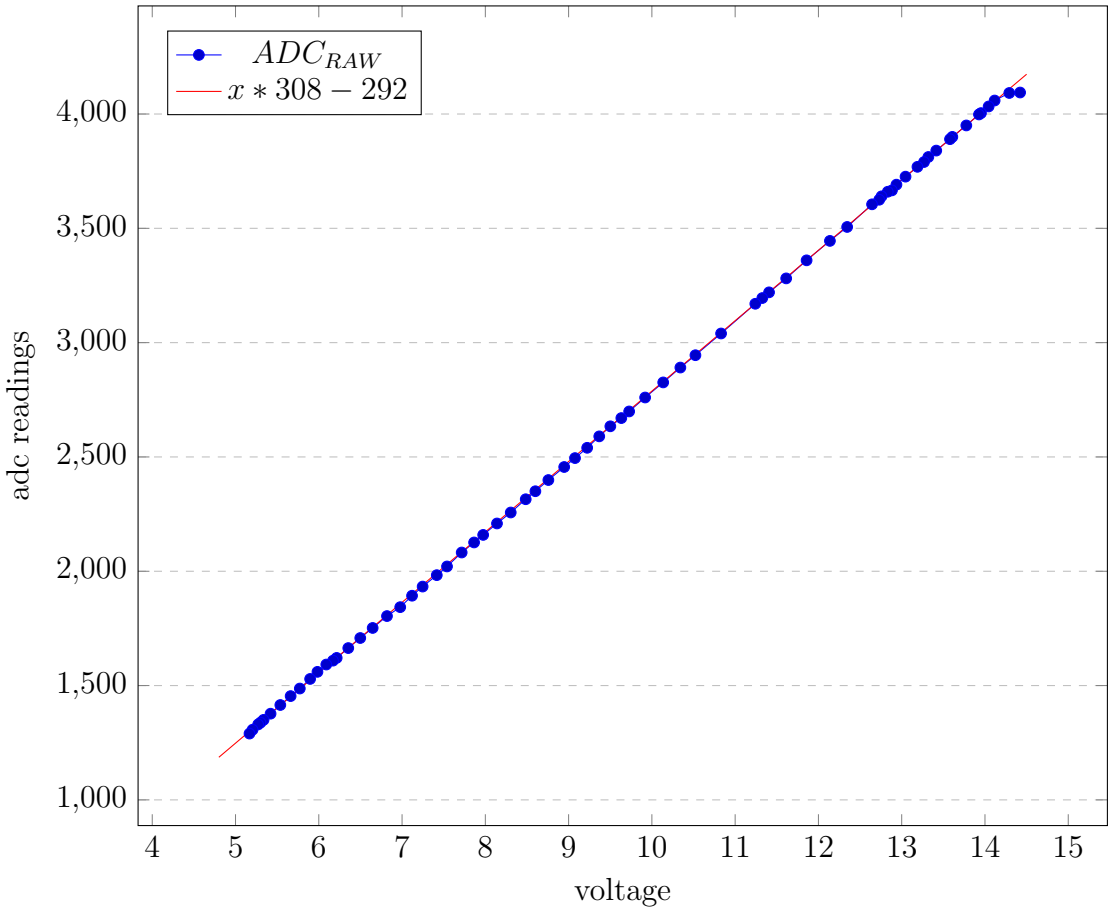
Oznacza to że w zakresie zasilania od $1.01V$ do $12.625V$ mamy dużą szansę uzyskać wynik pomiaru bliski rzeczywistemu.

3.10.3 Wyznaczanie współczynnika konwersji

W celu przeliczenia wartości odczytywanych z przetwornika analogowy-cyfrowego na napięcie wyrażone w woltach, niezbędne jest wyznaczenie współczynnika konwersji.

Posiadając wiedzę na temat użytych rezystorów w dzielniku napięcia, jest możliwe wyliczenie tego współczynnika. Aczkolwiek, moje doświadczenie z projektowaniem układów pomiarowych podpowiada że teoria bardzo często mija się z praktyką i zazwyczaj kalibruję swoje układy wykonując serię pomiarów. Tak też zrobiłem w tym przypadku. Wyniki zostały przedstawione na wykresie **??**

Uzyskane pomiary potwierdzają że prawie cały zakres przetwornika, nie licząc końców, jest liniowy. Pomiary zakończyłem przy około $5.1V$ ponieważ poniżej tej wartości stabilizator liniowy, użyty do obniżenia napięcia na procesorze, przestawał poprawnie działać, co kończyło się resetami jednostki centralnej.



Rysunek 3.12: Pomiary danych ADC do napięcia zasilania

Dzięki regresji liniowej byłem w stanie wyprowadzić równanie, które w łatwy sposób umożliwia przeliczanie odczytów z ADC na wartość napięcia.

$$y = \frac{ADC_{RAW} + 292}{398}$$

Za ADC_{RAW} wstawiamy wartość pomiaru i otrzymujemy napięcie wyrażone w woltach.

3.10.4 Rozdzielczość pomiaru

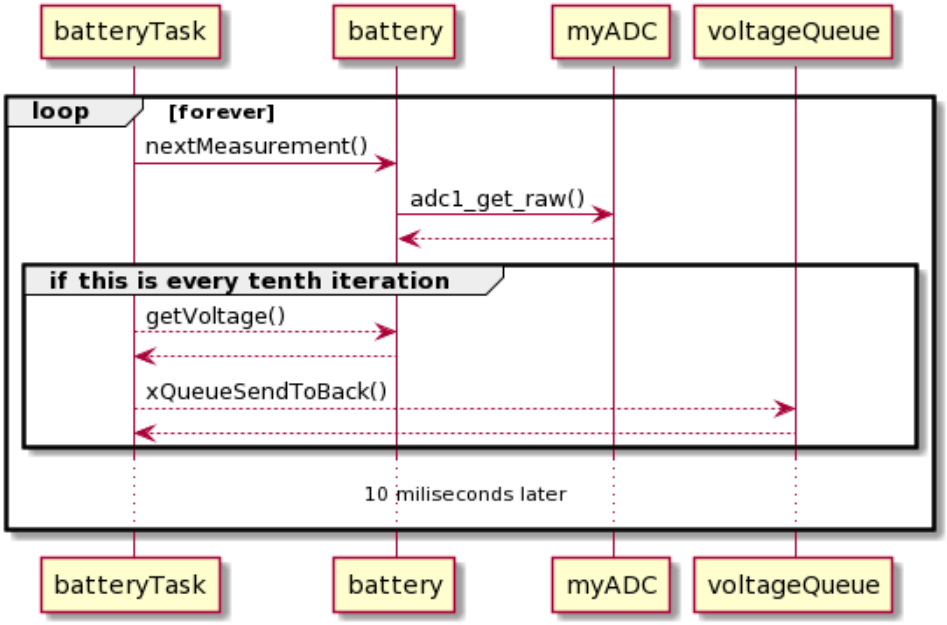
Posiadając już możliwość przeliczania surowych odczytów na napięcie, należałoby wyznaczyć rozdzielczość otrzymanych danych. Do obliczenia rozdzielczości napięciowej, czyli najmniejszego możliwego skoku zdolnego do zapisania przed przetwornik, musimy wykonać dwa pomiary. Następnie należy porównać różnice obliczonych napięć do różnicy surowych danych. Przy pomocy podanego wzoru:

$$\frac{V_1 - V_2}{ADC_1 - ADC_2} = \frac{10.136V - 6.171V}{2826 - 1609} = \frac{3.965V}{1217} = 0.0032V$$

3.10.5 Wykonywanie pomiarów

Wykonywanie pomiarów jest wykonywane na osobnym procesie. Dzięki temu można w łatwy sposób kontrolować częstotliwość mierzenia napięcia i wysyłania danych z ADC na MQTT. Pętla wyzwalająca odczyt wykonuje się raz na 20 milisekund. W każdej iteracji następuje pomiar, a odczytana wartość umieszczana jest w buforze. Co dziesiąta iteracja wylicza średnią z pomiarów, konwertuje wartość na wolty i wysyła dany na MQTT. Diagram aktywności umieszczony został w listingu **??**.

Listing 3.10.2: Wyzwalanie pomiaru i przeliczanie wartości



Rysunek 3.13: Diagram aktywności dokonywania pomiarów

3.11 Łączenie z brokerem MQTT

Jedną z zalet wykorzystania oficjalnego frameworka wydawanego przez producenta jest gotowa implementacja warstw abstrakcji ułatwiających obsługę protokołu MQTT. Umożliwia ona łatwą konfigurację i wykorzystanie tego środka komunikacji za pomocą kilku wysokopoziomowych funkcji.

3.11.1 Konfiguracja

Pierwsze co musimy zrobić to wypełnić strukturę konfiguracyjną. Znajduje się w niej aż 165 elementów. Jednak dla prawidłowej pracy wystarczy wypełnić kilka podstawowych pól takich jak dane logowania użytkownika czy adres brokera. Część z nich służy jako wskaźniki do danych przychodzących, bufory, czy flagi niezbędne do funkcjonowania.

Kolejnym krokiem jest stworzenie struktury inicjalizacyjnej z pomocą poprzedniej struktury. Posłuży nam do tego specjalna funkcja która sprawdza poprawność wprowadzonych przez nas danych, a dane nie definiowane zostają zastąpione wartościami domyślnymi.

Następne musimy wybrać jakie zdarzenia chcemy rejestrować i gdzie mają one trafiać. W tym przypadku wybieramy pełną pulę dostępnych sygnałów. Zawartość funkcji obsługującej zdarzenia znajduje się w listingu **??**.

Pozostaje już tylko uruchomić moduł MQTT przekazując powstałą konfigurację do funkcji startowej. Dane zostaną przesłane do nowego procesu, który zajmie się za nas obsługą komunikacji. Wszystkie niezbędne kroki oraz konfiguracja została przedstawiona na listingu **??**.

Listing 3.11.1: Konfiguracja połączenia MQTT

3.11.2 Obsługa zdarzeń

Wykorzystana warstwa abstrakcji posiada system udostępniający nam możliwość odbierania sygnałów generowanych przez zdarzenia wynikające z pracy klienta MQTT. Skorzystamy z tej funkcjonalności, aby informować użytkownika o stanie komunikacji, a także aby odpowiednio reagować na zdarzenia. Została ona załączona w listingu **??**.

Po otrzymaniu sygnału poprawnego nawiązania połączenia, zaczynamy subskrybować wszystkie tematy które przechowują potrzebne nam dane. Jest to przedstawione na listingu **??**.

Listing 3.11.2: Subskrybowanie niezbędnych tematów

Następnym krokiem jest utworzenie nowego procesu przypisanego do rdzenia drugiego (numeracja jest od zera). Jego zadaniem jest transmisja danych z urządzenia do brokera. Utworzenie kolejnego zadania oraz sam fakt pomyślnego uzyskania połączenia obarczony jest komunikatem diagnostycznym.

Otrzymanie informacji o zakończeniu połączenia wiąże się z odwróceniem zmian dokonanych przez poprzedni sygnał. Po wysłaniu komunikatu na strumień wyjścia, dokonujemy zabicia procesu wysyłającego dane, po uprzednim sprawdzeniu czy taki jeszcze istnieje.

Jest to zabezpieczenie przez sytuacją, gdy istnieje więcej jak jeden taki proces. Następnie po odczekaniu jednej sekundy, wyzwalana jest próba ponownego łączenia.

Ostatnim ważnym sygnałem jest informacja o zmianie wartości subskrybowanego kanału. Jest ona obrazu przekazywana do stworzonej prze zemnie funkcji. Znajduje się ona w listingu **??**. Jej jedynym zadaniem jest dodawanie odebranych wartości do odpowiednich kolejek priorytetowych w zależności od tematu wiadomości.

Listing 3.11.3: Odbieranie danych

Pozostałe sygnały służą czysto w celach diagnostycznych. Z tego też powodu nie wykonują one żadnego kodu poza raportowaniem zdarzenia poprzez komunikat na standardowym strumieniu wyjścia.

Listing 3.11.4: Obsługa sygnałów

3.11.3 Wysyłanie danych

Transmisja informacji odbywa się na osobnym procesie aniżeli reszta modułu MQTT. Logika przekazywania danych jest względnie prosta. Wystarczy odebrać wiadomość z kolejki priorytetowej, a następnie przekazać ją do wysłania z pomocą odpowiedniej funkcji. Na listingu **??** przedstawione jest wysyłanie wiadomości na wszystkich trzech tematach zarządzanych przez mikrokontroler.

Listing 3.11.5: Wysyłanie danych

Rozdział 4

Szczegółowy opis brokera MQTT

4.1 Opis

Broker MQTT jest to pewnego rodzaju serwer który zbiera wiadomości od wszystkich klientów, a następnie przekierowuje je klientów docelowych zgodnie z ich subskrypcjami. Jego zadaniem jest więc być pośrednikiem w wymianie informacji pomiędzy klientami oraz dbanie o odpowiedni przepływ wiadomości.

4.2 Protokół

MQTT jest skrótem od MQ Telemetry Transport. Jego głównym założeniem jest niesamowita prostota implementacji jednocześnie zachowując wybitnie skromne wymagania sprzętowe. Jego zalety szybko zostały zauważone czego najlepszym przykładem jest fakt że znalazł on szerokie zastosowanie w takich branżach jak Automotive, logistyka, czy produkcja. Jednak najczęściej kojarzony jest on z tematami Internetu Rzeczy oraz Inteligentnych Domów. Świetnie naddaje się on do łączenia w jedną sieć małych energooszczędnych urządzeń.

Wiadomości są zorganizowane w hierarchii tematów. Każda z wiadomości przypisana jest do jakiegoś tematu. W przypadku, gdy temat nie istnieje, zostaje automatycznie utworzony wraz z napływem pierwszej wiadomości. Broker po odebraniu wiadomości informuje wszystkich klientów, którzy zapisali się do listy subskrypcji danego tematu. W przypadku, gdy dany temat już istnieje następuje nadpisanie jego wartości nowymi danymi. Dzieje się tak dlatego że broker przechowuje tylko i wyłącznie ostatnią wiadomość z każdego tematu.

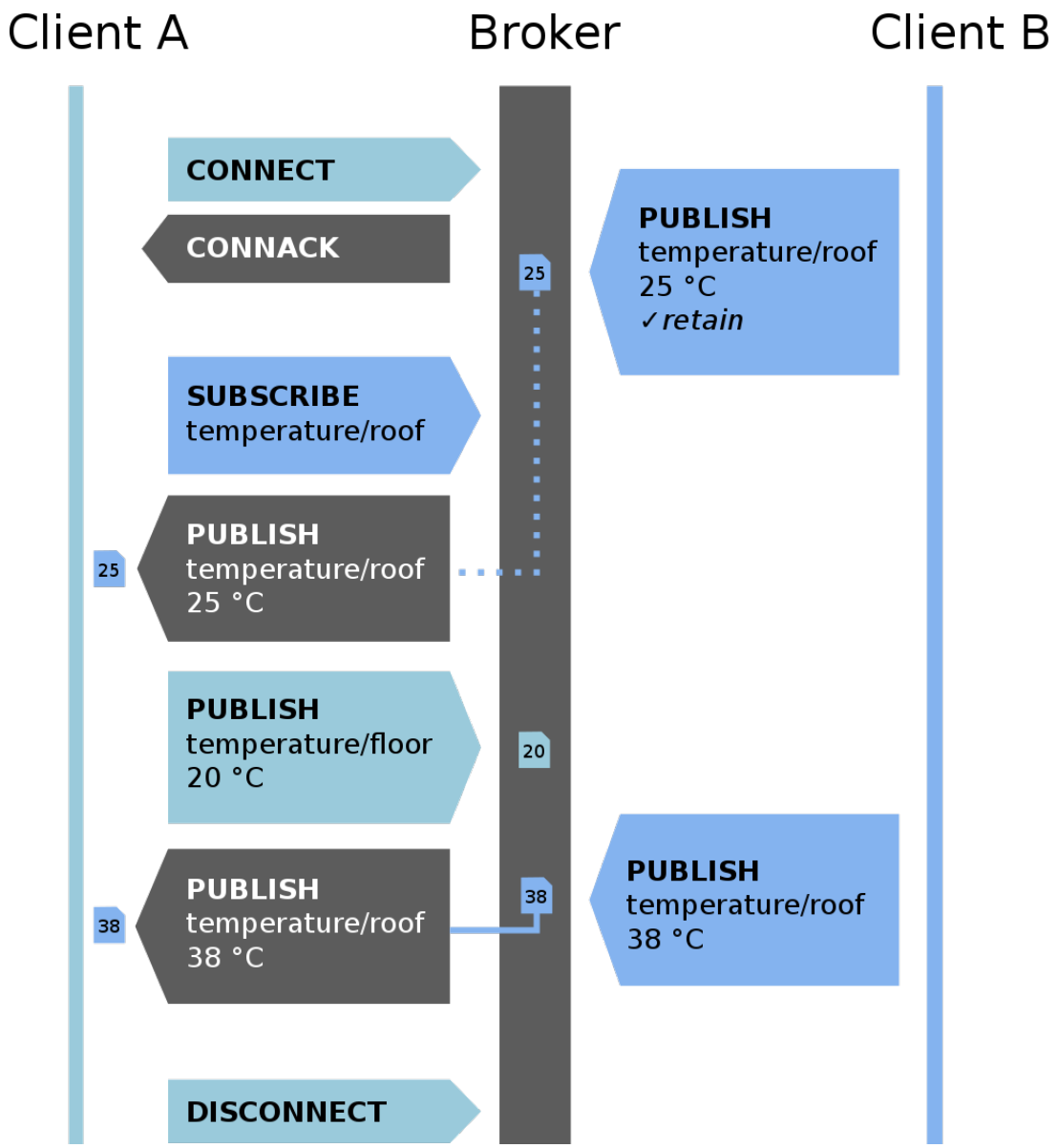
Ciekawą opcją jest ustawienie tak zwanego testamentu. Jest to wiadomość publikowana, gdy klient który sobie taką opcję zażyczył, nieoczekiwanie utraci połączenie z brokerem.

Klienci podłączeni do jednego brokera nie znają się nawzajem. Nie są bowiem udostępniane żadne dane bezpośrednio pomiędzy klientami. Przedstawia to schemat umieszczony na rys. **??**. Wszystkie przekazywane wiadomości muszą przejść przez broker.

4.3 Typy wiadomości

Istnieje obsługiwanych 14 typów wiadomości.

- CONNECT - Nawiązanie połączenia,



Rysunek 4.1: Schemat działania protokołu MQTT

- CONNACK - Potwierdzenie nawiązania połączenia,
- PUBLISH - Publikacja wiadomości,
- PUBACK - Potwierdzenie publikacji wiadomości
- PUBREC - Potwierdzenie otrzymania wiadomości,
- PUBREL - Potwierdzenie wysłania wiadomości,
- PUBCOMP - Potwierdzenie końca publikowania wiadomości,
- SUBSCRIBE - Subskrypcja tematu,
- SUBACK - Potwierdzenie subskrypcji,
- UNSUBSCRIBE - Anulowanie subskrypcji,

- UNSUBACK - Potwierdzenie anulowania subskrypcji,
- PINGREQ - Żądanie PINGU,
- PINGRESP - Odpowiedź na żądanie PINGU,
- DISCONNECT - Zakończenie połączenia.

4.4 Implementacja i konfiguracja

TODO docker, konfiguracja

Rozdział 5

Szczegółowy opis aplikacji dostępowej

5.1 Grupa docelowa

Aplikacja okienkowa została stworzona, aby zwiększyć dostępność systemu dla osób nie wprawionych w tematy związane z protokołem MQTT. Istnieje pełen przekrój uniwersalnych aplikacji zdolnych do komunikacji za pośrednictwem owego protokołu. Część z nich świetnie naddawałaby się do kooperowania z resztą przygotowanego systemu. Z drugiej strony wszystkie tego typu aplikacje są zazwyczaj nad wyraz rozbudowane oraz wymagają od użytkownika pewnej specyficznej wiedzy i doświadczenia. Nie można wykluczać że z tego rozwiązania miałaby ochotę skorzystać osoba o niższej świadomości technicznej lub chociażby niewdrożona w tematy związane z tą technologią. Z tego też powodu w ramach projektu powstała aplikacja dedykowana opisywanemu systemowi. Gwarantuje ona kompatybilność z resztą elementów zawartych w projekcie jednocześnie posiadając opcje w pełni wykorzystujące wszystkie funkcjonalności systemu. Należy także dodać że projektowana była z myślą o prostocie, intuicyjności w obsłudze i minimalizmie.

5.2 Wykorzystana technologia

Sprostanie założeniom projektu jest nietrywialnym, a wręcz niedorzecznie trudnym zadaniem bazując jedynie na standardowych bibliotekach. Wykonanie tak zaawansowanej aplikacji w krótkim terminie było jednoznaczne z wykorzystaniem wysokopoziomowego frameworka, który znacząco uprościłby rozwój oprogramowania. W tym celu został użyty nowoczesny framework QT w wersji otwarto źródłowej. Jest to niezwykle rozbudowane narzędzie do tworzenia aplikacji okienkowych. Wspiera ono pełen przekrój systemów operacyjnych oraz architektur sprzętowych dzięki czemu program opierający się o tą technologię może być z powodzeniem przenoszony na różne urządzenia. Zdecydowanie najciekawszym aspektem tego oprogramowania jest niecodzienny system sygnałów i slotów. Według wielu początkujących programistów jest on nieintuicyjny. Jednakże wraz z korzystaniem z tego rozwiązania i towarzyszącym temu rosnącym doświadczeniem, pogląd ten jest niejednokrotnie rewidowany.

Poniżej przedstawione jest kilka fragmentów kodu użytego przy budowie aplikacji dostępowej wraz z opisami objaśniającymi wszystkie znajdujące się w nim zawiłości.

5.3 System sygnałów i slotów

Wprowadzenie tego rodzaju funkcjonalności rozegrało niebagatelne znaczenie w popularności frameworka QT. W przygotowanej na potrzeby opisywanego projektu aplikacji, system sygnałów i slotów pełni kluczową rolę w jej funkcjonowaniu. Na listingu **??** został umieszczony fragment programu odpowiadającego za przypisanie sygnałów produkowanych przez liczne elementy interfejsu użytkownika do specjalnie przygotowanych na tę potrzeby funkcji. Nie trudno sobie wyobrazić jak wiele pracy jest w stanie oszczędzić proste łączenie sygnałów ze slotami w porównaniu ze żmudną implementacją karkołomnych rozwiązań na własną rękę. Pozwala to także na omijanie sytuacji, w której nie jeden programista sięgnąłby po rozwiązanie jakim jest wielowątkowość.

Listing 5.3.1: Użycie systemu sygnałów i slotów

5.4 Implementacja komunikacji

5.4.1 Łączenie z brokerem

Podobnie jak w framework'u użytym na poczet przygotowania wsadu do sterownika, tutaj również jest zdefiniowana fenomenalnie prosta w obsłudze abstrakcja. Niemniej jednak w celu utrzymania wysokiej czytelności produkowanego kodu została przygotowana nowa autorska klasa. Dziedziczy ona po klasie zawartej w module QtMqtt. Jej celem jest rozszerzenie klasy bazowej o dodatkową funkcjonalność, która sprawi że inicjalizacja i obsługa połączenia będą jeszcze wygodniejsze. Jako argumenty wywołania należy podać adres i port serwera, a następnie nazwę użytkownika oraz hasło. Cała reszta procesu została zgrabnie ukryta pod warstwą abstrakcji. Omawiany kod przedstawiony został w listingu **??**.

Listing 5.4.1: Nawiązanie połączenia z brokerem

5.4.2 Obsługa zdarzeń

Kolejną analogią znaną z frameworka ESP-IDF jest obsługa zdarzeń przychodzących z modułu MQTT. Wysyła on sygnał połączony z funkcją widoczną w listingu **??** zdający raport o stanie połączenia. Jest on wykorzystywany do aktywowania interfejsu użytkownika, który domyślnie przyjmuje status nieaktywnego. Ponadto jest to wyzwalacz do subskrybowania uprzednio zdefiniowanych tematów.

Listing 5.4.2: Obsługa zdarzeń

5.4.3 Subskrybowanie tematów

Subskrybowanie tematów jest dość długą funkcją. Wbrew pozorom nie jest ona skomplikowana. Jej zadaniem jest zasubskrybować jedynie cztery temat. Z tego też powodu wszystko jest powielone czterokrotnie. To właśnie wpływa w znaczący sposób na jej objętość. Dla każdego tematu wywoływana jest metoda na obiekcie MQTT, która przyjmuje temat oraz parametr QoS.

QoS z angielskiego "Quality of Service" określa poziom istotności wiadomości. W tym przypadku użyta została wartość 0. Oznacza to że nie ma gwarancji otrzymania wiadomość. Taka kolej rzeczy nie wydaje się być z żaden sposób problematyczna ze względu na cykliczność z jaką otrzymywane są ramki. Zgubienie jednej wartości nie musi być istotne w momencie, gdy są one transmitowane z ponadprzeciętnie dużą częstotliwością. W takim systemie pierwszoplanowa jest wydajność i przepustowość. Pozostałe wartości które są możliwe do ustawienia to 1 i 2. Pierwsza z nich sprawia że mamy pewność otrzymania wiadomości, natomiast druga gwarantuje jednokrotność tego zdarzenia [**?**].

Produktem wywołania tej metody będzie obiekt typu QMqttSubscription, który następnie należy przy pomocy systemu sygnałów i slotów, połączyć z odpowiednią funkcją. Funkcja ta jedynie skleja otrzymaną wartość z uprzednio przygotowanym ciągiem znaków i bezpośrednio wyświetla ją w interfejsie użytkownika. Przykład takiej funkcji dostępny jest w listingu **??**.

Na samym końcu znajduje się jeszcze wywołanie funkcji ustawiającej wartości domyślne dla wyżej wymienionych tematów, tak aby można było je umieścić w interfejsie. Cała

ta procedura powtórzona jest cztery razy dla czterech różnych tematów. Odnosi się do niej listing **??**.

Listing 5.4.3: Przetwarzanie odebranych danych

Listing 5.4.4: Subskrybowanie tematów

5.4.4 Wysyłanie danych

Wysyłanie danych polega na odbieraniu wartości prosto z interfejsu i przekazywaniu ich do metody obiektu MQTT. Połączone są więc konkretne sygnały elementów interfejsu z daną lambdą. W roli przykładu, sygnał suwaka ustawiającego wartość zadaną łączymy z lambdą w której wyłuskujemy wartość suwaka. Następnie jest ona zapisywana jako tablica bajtów i publikowana. Dodatkowo jest wyświetlana w postaci liczbowej w interfejsie. Przykład implementacji znajduje się w listingu **??**.

Listing 5.4.5: Wysyłanie danych

5.5 Wykresy

5.5.1 Definicja klasy

Jedną z najważniejszych funkcjonalności aplikacji jest estetyczna prezentacja danych pobranych ze sterownika. Podjęta została decyzja o wykorzystaniu w tym celu prostych wykresów. Framework QT zapewnia moduł QtCharts, który jest zestawem prostych w użyciu komponentów graficznych niezbędnych do stworzenia estetycznych wykresów. Zostało to uskutecznione poprzez wykonanie nowej klasy dziedziczącej po klasie QChart dostępnej w opisywanym module. W swoim konstruktorze tworzy ona wcześniej zdefiniowany wykres z kilkoma seriami danych. Oprócz tego stworzona klasa posiada zdefiniowane metody do czyszczenia zawartości wykresu, dodawania nowych punktów oraz ukrywania nieużywanych serii danych. Kod jest dostępnym w listingu **??**.

Listing 5.5.1: Definicja klasy wykresów

5.5.2 Dodawanie punktów do wykresu

Implementacja rysowania wykresów opublikowana przez twórców frameworka QT pozostawania wiele do życzenia. W szczególności kwestia wydajności nie została należycie rozpatrzona czego skutkiem jest niewymiernie wysokie zużycie zasobów komputera podczas renderowania tych obiektów. Zastosowana strategia przeciwdziałająca temu zjawisku zakłada skończoną liczbę punktów obecnych jednocześnie na wykresie. Z tego też powodu został zaimplementowany trywialny algorytm pozbywający się nadmiarowych obiektów.

Kod przedstawiony w listingu **??** ma za zadanie włączać kolejne dane do wykresu. Uprzednio musi zostać wyznaczona pozycja punktu na osi X. Następnie dla każdej z 3 serii sprawdzana jest ilość znajdujących się na niej pomiarów. W razie przekroczenia ustalonego limitu, nadmiar elementów jest usuwany z początku kolejki, aby następnie dodać na jej końcu dodać nowy punkt. Przed zakończeniem tej metody wykonywana jest kalkulacja położenia najbardziej oddalonych od siebie obiektów, aby móc dopasować zakresy wyświetlania wykresu.

Listing 5.5.2: Dodawanie danych do wykresu

5.5.3 Czyszczenie wykresu

Usuwanie danych w wykresów nie należy do najbardziej skomplikowanych. Wystarczy jedynie na każdej z serii wywołać metodę pozbywającą się wszystkich punktów z bufora. Kod znajduje się w listingu **??**.

Listing 5.5.3: Usuwanie wszystkich danych z wykresu

5.5.4 Ukrywanie serii

Metoda zmiany widoczności danej serii jest jedynie makrem korzystającym z odziedziczonych metod. Dostępna jest pod listingiem **??**.

Listing 5.5.4: Zmiana widoczności serii

5.6 Abstrakcja silnika

5.6.1 Definicja klasy silnika

W celu ujednoliconego zarządzania danymi odbieranymi i wysyłanymi do sterownika, została utworzona specjalna klasa, która przechowuje wartości z nim związane. Zdecydowanie zwiększa to czytelność kodu ponieważ zmienne dotyczące na przykład prędkości obrotowej nie są porozrzucane po całym programie. Co więcej, zostały stworzone odpowiednie metody które niwelują niebezpieczeństwo przypadkowego nadpisania jakiejś zmiennej. Implementacja została przedstawiona w listingu **??**. Przykładowe użycie metody można zobaczyć w listingu **??**.

Listing 5.6.1: Klasa abstrakcji silnika

5.6.2 Przeliczanie wartości obrotów

Konwersja liczby otrzymanej impulsów na ilość wykonanych obrotów wymaga od nas posiadania odpowiednich informacji na temat enkodera. Częstotliwości pomiaru impulsów przez sterownik to 100Hz. Oznacza to czas pomiędzy pomiarami równy:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{100Hz} = 10ms$$

Wynika z tego że ilość obrotów należy pomnożyć stukrotnie, aby uzyskać ilość impulsów na sekundę. Następne mnożenie przez 60 doprowadzi do otrzymania ilości impulsów w okresie jednej minuty. Nie można zapomnieć że wartość impulsów jest czterokrotnie większa ze względu na konfigurację liczników (patrz **??**). Z tego też powodu niezbędne jest podzielenie wyniku przez 4. Ostatecznie całość należy podzielić przez ilość impulsów przypadających na jeden obrót wałka wychodzącego z przedkładani (224.4PPR/RPM). W ten sposób możliwe jest uzyskanie odpowiedniego przelicznika.

Listing 5.6.2: Przeliczanie impulsów na obroty

Rozdział 6

Instrukcja obsługi

Rozdział 7

Podsumowane

Literatura

[1] Qt Development Frameworks: Dokumentacja biblioteki Qt
https://doc.qt.io/qt-5/
Dostęp 14.09.2021

[2] STMicroelectronics: Dokumentacja L298H
https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf
Dostęp 14.09.2021

[3] Espressif Systems: Dokumentacja mikrokontrolera ESP32 https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
Dostęp 14.09.2021

[4] Espressif Systems: Dokumentacja modułu ESP32WROOM32UE https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
Dostęp 14.09.2021

[5] OASIS: Dokumentacja standardu MQTT 5.0
https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.pdf
Dostęp 14.09.2021

[6] V.P. Eloranta, J. Koskinen, M. Leppanen, V. Reijonen: Designing Distributed Control Systems: A Pattern Language Approach, Wiley, 2014.

[7] Kenneth Flamm: Measuring Moore's Law: Evidence from Price, Cost, and Quality Indexes
https://www.imf.org/-/media/Files/Conferences/2017-stats-forum/session-6-kenneth-flamm.ashx
Dostęp 15.09.2021

[8] Espressif Systems: Dokumentacja ESP-IDF
https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/
Dostęp 15.09.2021

[9] Amazon Web Services: Dokumentacja FreeRTOS
https://www.freertos.org/a00106.html
Dostęp 15.09.2021

[10] Wikipedia: Szereg wartości
https://pl.wikipedia.org/wiki/Szereg_warto%C5%9Bci
Dostęp 17.09.2021

[11] Wikipedia: Dzielnik rezystorowy
https://en.wikipedia.org/wiki/Voltage_divider
Dostęp 17.09.2021

[12] Wikipedia: Dzielnik rezystorowy
https://en.wikipedia.org/wiki/Gray_code
Dostęp 17.09.2021

[13] Siemens: Enkodery inkrementalne
https://publikacje.siemens-info.com/pdf/56/Motion%20Control%20-%20Uk%C5%82ad%20pomiarowy.pdf
Dostęp 17.09.2021

Spis rysunków

Spis listingów