



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

WYDZIAŁ INFORMATYKI, ELEKTRONIKI I TELEKOMUNIKACJI

KATEDRA ELEKTRONIKI I TELEKOMUNIKACJI

Prędkościomierz rowerowy

Autorzy:

Kierunek studiów:

Typ studiów:

Opiekun:

Krzysztof Pokora i Norbert Ligas

Elektronika i Telekomunikacja

Stacjonarne

mgr inż. Jan Macheta

Kraków, 2021/2022

1. Spis treści

1. Cel oraz wstęp	3
2. Założenia projektowe	4
3. Wstęp teoretyczny	4
4. Opis elementów	6
4.1. Czujnika pola magnetycznego – czujnik Halla	6
4.2. Wyświetlacz dotykowy	8
4.3. Kontroler zarządzający ładowaniem baterii MCP73833.....	8
4.4. Przetwornica TPS61202	9
4.5. Mikrokontroler NUCLEO STM32F446RE.....	10
5. Schemat blokowy	11
6. Projekt układu	12
6.1. Układ ładowania ogniwa oraz stabilizacji napięcia	12
6.2. Projekt PCB.....	15
7. Instrukcja obsługi prędkościomierza rowerowego.....	16
8. Oprogramowanie.....	17
9. Czas pracy urządzenia na zasilaniu bateryjnym.....	19
10. Kosztorys.....	20
11. Wnioski	21
12. Bibliografia	22

1. Cel oraz wstęp

Celem projektu jest skonstruowanie modułu prędkościomierza rowerowego do płytki Nucleo. Należy zaprojektować płytkę PCB oraz oprogramowanie. Ważną cechą projektu ma być przystępna cena gotowego produktu mimo zainstalowanych w nim udogodnień (wyświetlacz dotykowy, zasilanie bateryjne). Projekt ma być możliwy do użycia w celach edukacyjnych, a więc zaprojektowany tak, żeby dało się łatwo zrozumieć zastosowane w nim rozwiązania.

Prędkościomierz rowerowy to niewielkie, ale niezwykle przydatne akcesorium. Urządzenie to jest bardzo popularne w dzisiejszych czasach. Nie jest obowiązkowym wyposażeniem każdego roweru, lecz jest ono dodatkowo montowane urządzenie. Na rynku występuje wiele rodzajów liczników rowerowych. Najbardziej rozbudowane posiadają między innymi: pulsometr, ilość spalonych kalorii, termometr, a nawet sygnalizator dźwiękowy nadający tempo. Przykład takiego licznika został przedstawiony na Rys. 1.1



Rys. 1.1 Licznik rowerowy

Liczniki rowerowe są wykorzystywane głównie podczas treningu kolarskiego, ale również przez każdego człowieka jako dodatkowy gadżet. Oferując multum funkcji, takich jak mierzenie dystansu, prędkości chwilowej jak i średniej, czy w połączeniu z sensorem mierzenie pulsu, pozwalają właściwie zaplanować swój wysiłek, jak i odpowiednio móc go podsumować celem poznania swoich postępów. Szeroka gama dostępnych modeli, obejmująca zarówno liczniki rowerowe bezprzewodowe jak i przewodowe daje szerokie pole do wyboru urządzenia. Liczniki bezprzewodowe, pozwalają na zminimalizowanie niechcianych elementów których instalacja na rowerze jest konieczna. Transmisja danych pomiędzy czujnikiem, a jednostką

centralną odbywa się za pośrednictwem fal radiowych. Tańsze modele wciąż wykorzystują analogową transmisję danych, co może wiązać się z wystąpieniem zakłóceń w pobliżu silnego pola magnetycznego. Cyfrowa technologia transmisji bezprzewodowej obniża prawdopodobieństwo wystąpienia zakłóceń, ale licznik wyposażony w taką technologię jest z reguły droższy. Natomiast liczniki przewodowe, jak sama nazwa wskazuje wymagają przewodu do skomunikowania czujnika z jednostką centralną. Dobrze zamontowany przewód zazwyczaj nie przeszkadza w użytkowaniu w warunkach miejskich, jednak w trudnym terenie, można go łatwo uszkodzić. Zaletą liczników przewodowych jest niska cena i brak zakłóceń w transferze impulsów.

2. Założenia projektowe

- Pomiar prędkości przy pomocy czujnika Halla na podstawie liczby obrotów koła
- Wykorzystanie platformy NUCLEO STM32F446RE jako urządzenia zarządzającego
- Konfiguracja oraz prezentacja wyników na wyświetlaczu dotykowym
- Urządzenie zasilane z akumulatora (łącznie z ładowaniem)
- Projekt płytki PCB

3. Wstęp teoretyczny

Zasada działania takiego urządzenia polega na zliczaniu czasu pomiędzy impulsami, a następnie znając średnicę koła obliczana jest prędkość. Impulsy są wywoływane przez przemieszczanie się obok czujnika elektromagnetycznego zamontowanego na widelcu roweru nadajnika impulsów zainstalowanego na szprychach lub poprzez generowanie impulsów w układzie magnes-kontaktron. Dawniejsze konstrukcje liczników były prostymi urządzeniami mechanicznymi, w których przykręcona do szprychy śruba z kołkiem obracała małe kółko zębate na osi mechanicznego licznika przykręconego do widelca roweru. Aby obliczyć prędkość z jaką porusza się rowerzysta należy znać średnicę lub promień koła. Przeważnie, wielkość koła podawana jest w calach, dlatego należy najpierw zamienić jednostki na centymetry według wzoru 1.1. Na przykład koło mające 24 cale posiada średnicę 0,6096 m.

$$1\ cal = 2.54cm = 0.0254m \quad (1.1)$$

Następnie znając średnicę koła można obliczyć jego obwód przy pomocy wzoru 1.2.

$$L = \pi * d \quad (1.2)$$

Gdzie:

d – średnica koła

L – obwód koła

Kolejnym krokiem jest zliczanie czasu pomiędzy impulsami dostarczanego przez czujnik pola magnetycznego. Na jednej ze szprych koła umieszczony jest magnes, natomiast na widelcu roweru czujnik pola. Oba te elementy są umieszczone na tej samej odległości od środka koła. Podczas jazdy magnes obraca się wraz z kołem. Gdy magnes pojawi się w pobliżu czujnika, wysyła on impuls sygnału do układu zarządzającego. W przypadku tego projektu został wykorzystany mikrokontroler STM32F446RE, oraz czujnik Halla. Szczegółowe informacje na ich temat znajdują się w rozdziale 4.

W dalszej części, znając już średnicę oraz czas pomiędzy impulsami można obliczyć prędkość rowerzysty. W tym celu należy skorzystać ze wzoru 1.3.

$$V = \frac{S}{t} = \frac{L}{t} \quad (1.3)$$

Gdzie:

V – prędkość roweru

L – obwód koła

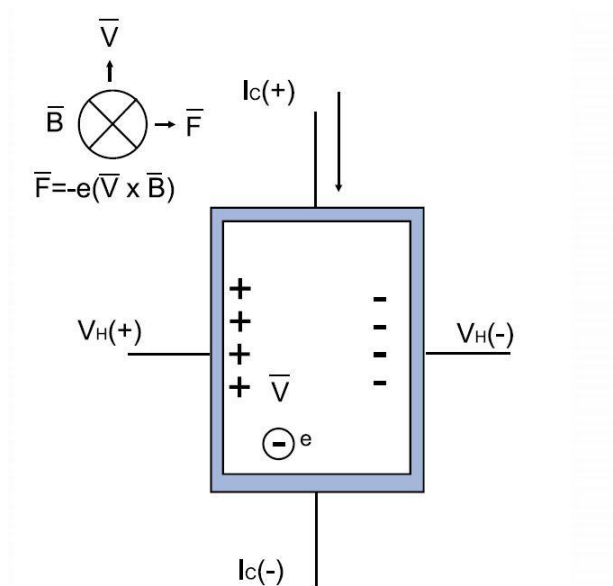
t – czas pomiędzy impulsami z czujnika pola magnetycznego

Ponadto, skoro znamy już obwód koła oraz impuls w momencie obrotu całego koła, możliwe jest zliczanie kilometrów. Za każdym obrotem koła, do wartości przebytych kilometrów byłaby doliczana wartość obwodu koła.

4. Opis elementów

4.1. Czujnika pola magnetycznego – czujnik Halla

Czujnik Halla wykorzystuje zjawisko Halla polegające na powstawaniu napięcia w materiale, który przewodzi prąd elektryczny umieszczonym w polu magnetycznym. Najczęściej obszar “aktywny” czujnika to płytka półprzewodnikowa, jak na rysunku 4.1, w której generowane jest napięcie. Prąd o natężeniu I przepływa w kierunku długości płytki od styku IC(+) do IC(-). Pole magnetyczne jest skierowane w osi z, czyli prostopadle do płaszczyzny płytki. Pole to oddziałuje na nośniki prądu (elektrony lub dziury) siłą Lorentza odpychającą je w kierunku krawędzi płytki. Na skutek tego, na krawędziach płytki gromadzi się pewien nadmiar ładunków, po jednej stronie dodatnich, po drugiej ujemnych, a w konsekwencji na stykach VH(+) i VH(-) powstaje napięcie Halla proporcjonalne do gęstości strumienia pola magnetycznego.



Rys. 4.1 Generowanie i pomiar napięcia Halla w stałym polu magnetycznym

Generowane napięcie jest zależne od kąta wektora strumienia pola magnetycznego do powierzchni Halla. Jego wartość obliczana jest przy pomocy wzoru 4.1.

$$V_H = \gamma_B * B * \sin\theta \quad (4.1)$$

Gdzie:

V_H – napięcie Halla

γ_B – czułość magnetyczna materiału, z którego wykonany jest czujnik

B – indukcja magnetyczna (gęstość strumienia pola magnetycznego)

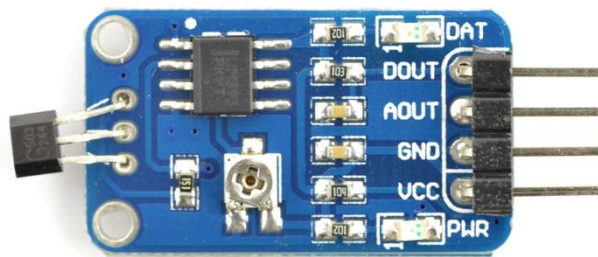
θ – kąt pomiędzy wektorem strumienia pola magnetycznego, a powierzchnią Halla

Generowane napięcie Halla jest maksymalne, jeżeli wektor strumienia pola magnetycznego jest prostopadły do powierzchni Halla. Wtedy wzór 4.1 można skrócić do wersji 4.2.

$$V_H = \gamma_B * B \quad (4.2)$$

Napięcie Halla jest napięciem bardzo niskim, rzędu μV z tego powodu stosuje się dodatkowo wzmacniacze. Do poprawnej pracy czujnika Halla potrzebne jest jeszcze jak było wspomniane wcześniej źródło prądowe. Zapewnia ono przepływ prądu przez płytkę czujnika. W niektórych aplikacjach stosowany jest rezystor obciążający włączany na wyjściu czujnika.

W projekcie został wykorzystany czujnik Halla AH49E przedstawiony na rys. 4.2. Jest to moduł z czujnikiem Halla wyposażony w wyjście analogowe oraz cyfrowe. Pracuje z napięciem od 2,3 V do 5,3 V. Czułość wynosi 1,6mV/GS. W projekcie wykorzystywane jest wyjście cyfrowe, gdyż interesuje nas wyłącznie wykrycie pola magnetycznego, a nie jego wartość.

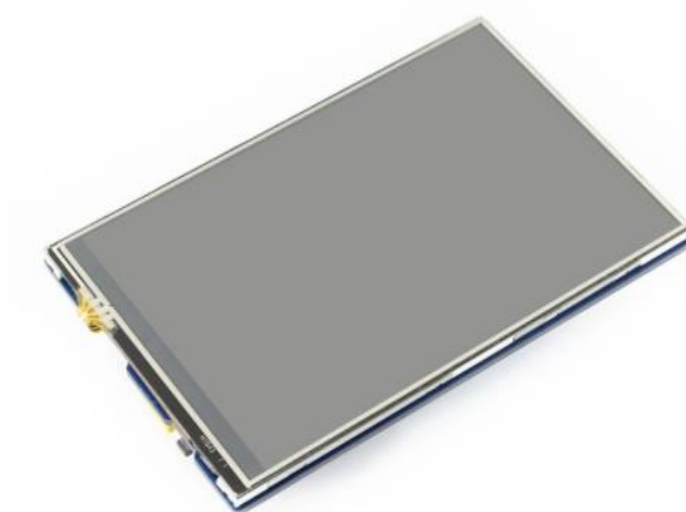


Rys. 4.2 Czujnik Halla AH49E

Podstawowymi elementami funkcjonalnymi modułu jest AH49E - scalony czujnik efektu Halla oraz LM393 - układ scalony komparatora analogowego (wzmacniacza operacyjnego z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego). Sygnał analogowy doprowadzony z czujnika Halla AH49E jest liniowo proporcjonalny do wartości natężenia pola magnetycznego zmierzonej przez ten czujnik. Kiedy czujnik nie wykrywa pola magnetycznego w swoim zasięgu działania, poziom sygnału na jego wyjściu jest równy połowie wartości napięcia ze źródła zasilania podawanego na wyprowadzenie VCC. Wartość progu wykrywania jest nastawiana za pomocą potencjometru montażowego umieszczonego na płytce modułu czujnika.

4.2. Wyświetlacz dotykowy

Elementem odpowiedzialnym za interfejs użytkownika jest wyświetlacz dotykowy przedstawiony na rys. 4.3. Jest to 4 calowy rezystancyjny ekran o rozdzielczości 480 x 320 px. Współpracuje z Arduino oraz Nucleo poprzez interfejs SPI. Napięcie zasilania wynosi 5V. Dodatkowo posiada on przylutowane złącza Arduino, dzięki którym możliwe jest bezpośrednie podłączenie wyświetlacza do płytki, bez użycia dodatkowych przewodów. Na płytce znajduje się również slot kart microSD.



Rys. 4.3 Wyświetlacz dotykowy

4.3. Kontroler zarządzający ładowaniem baterii MCP73833

MCP73833 jest to zaawansowany układ do zarządzania baterią firmy Microchip Technology (zaprezentowany na rys.4.4). Jego głównym zadaniem jest ładowanie baterii Li-Ion. Służy także do kontrolowania pracy baterii. Na podstawie informacji dostarczonych z termistora o temperaturze baterii, układ dostosowuje prąd ładowania lub przestaje ją ładować w przypadku zbyt wysokiej temperatury. Urządzenie ładuje ogniwa wykorzystując stały prąd oraz napięcie. Posiada możliwość wyboru momentu zakończenia ładowania. Ponadto użytkownik ma do wyboru sposób wstępnego ładowania. Między innymi są to wartości prądu oraz moment, w którym ładowarka ma rozpocząć ładowanie ogniwa. Wartość prądu ustalana jest przy pomocy zewnętrznego rezystora. Stosunek lub procent ustalonego prądu wyznacza wartość wstępnego oraz końcowego ładowania. Napięcie natomiast wybierane jest spośród czterech różnych opcji. Napięcia zawierają się w przedziale od 4.2 V do 4.5 V. Różne napięcia wynikają

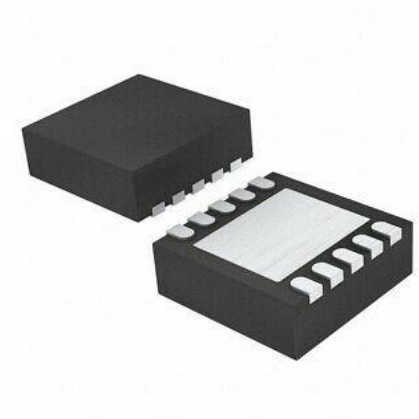
z nowych wymagań dostarczanych wraz z nowymi wyprodukowanymi bateriami. Wszystkie te operacje są w celu zapewnienia jak największej kompatybilności urządzeń. Urządzenie jest zdolne ładować jedno ogniową baterię o maksymalnym prądzie 1 A. Dodatkowo układ posiada wiele zabezpieczeń. Między innymi zastosowano zabezpieczenie baterii przed wstecznym rozładowaniem. Układ doskonale sprawdzi się w sytuacjach, gdy ogniwo jest znacząco rozładowane. Wtedy układ dostosowuje parametry tak, aby bardziej nie uszkodzić, a jedynie próbować naładować ponownie baterie. Urządzenie znajduje swoje zastosowanie między innymi w aparaturze przenośnej, transmisji bezprzewodowej czy urządzeniach audio. Napięcie wejściowe układu zawiera się w przedziale od 3.75 V do 6 V. Układ dostępny jest w obudowie MSOP-10.



Rys. 4.4 MCP73833 – Kontroler zarządzania baterią Li-Ion

4.4. Przetwornica TPS61202

Przetwornica przedstawiona na rys. 4.5 zapewnia zasilanie dla urządzeń zasilanych jedno, dwu lub trzy ogniowymi bateriami. Prąd wyjściowy jest zależny od stosunku napięcia wejściowego do wyjściowego. Urządzenie generuje prąd wyjściowy do 600 mA na wyjściu przy napięciu wyjściowym 5 V oraz wejściowym powyżej 3 V lub prąd wyjściowy do 300mA przy napięciu wyjściowym 3.3V oraz wejściowym powyżej 2.4V, przy wykorzystaniu jednoogniowego akumulatora Li-Ion lub Li-Polymer. Zakres napięć wejściowych zawiera się w przedziale od 0.3V do 5.5V. Przetwornica step-up oparta jest na stałej kontroli częstotliwości, modulacji szerokości impulsu (PWM) za pomocą prostowania synchronicznego w celu uzyskania maksymalnej wydajności. Przy niskich prądach obciążenia konwerter przechodzi w tryb oszczędzania energii, aby utrzymać wysoką sprawność w szerokim zakresie prądu obciążenia. Tryb oszczędzania energii można wyłączyć, zmuszając konwerter do działania ze stałą częstotliwością przełączania. Średni prąd wejściowy jest ograniczony do maksymalnej wartości 1500 mA. Napięcie wyjściowe jest programowane przez zewnętrzny dzielnik. Konwerter można wyłączyć, aby zminimalizować drenaż baterii. Podczas wyłączenia obciążenie jest całkowicie odłączane od akumulatora.



Rys. 4.5 Przetwornica TPS61202

4.5. Mikrokontroler NUCLEO STM32F446RE

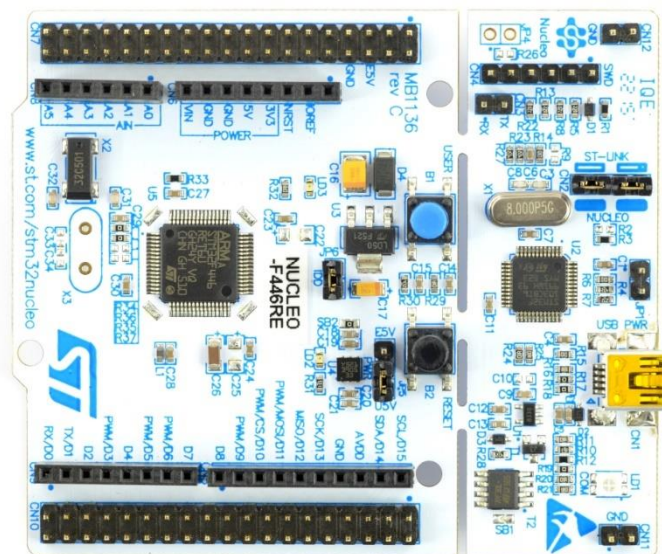
Moduł z 32-bitowym mikrokontrolerem przedstawiony na rys. 4.6 jest wyposażonym w rdzeń ARM Cortex M4 o częstotliwości taktowania 180 MHz, pamięci Flash 512 kB, pamięci SRAM 128 kB. Nucleo jest kompatybilny z platformą mbed, posiada złącza umożliwiające podłączenie nakładek Arduino tzw. Arduino Shield. Moduły są kompatybilne z nakładkami Arduino oraz systemem kompilatora on-line mbed.org. Nucleo współpracuje z większością popularnych platform programistycznych w tym Keil, IAR oraz środowiskami opartymi na kompilatorze GCC.

Interfejsy komunikacyjne:

- 4x SPI,
- 2x I2C,
- 4x USART,
- 2x UART,
- 2x CAN,
- USB OTG,

Inne podzespoły:

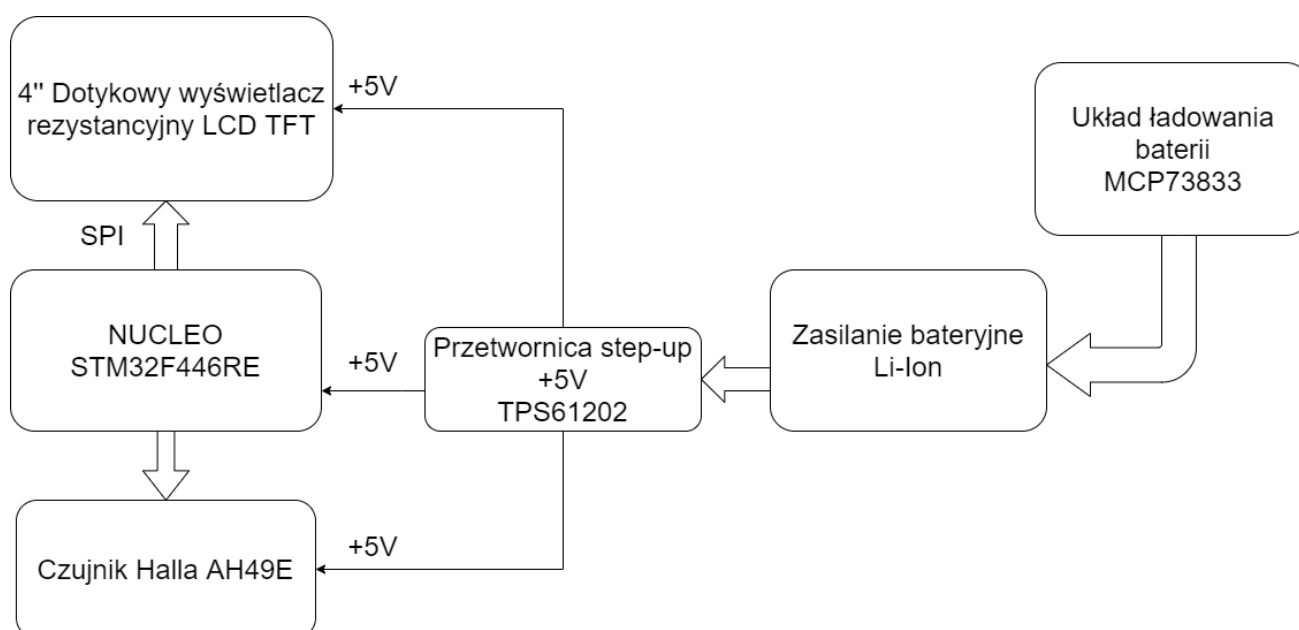
- 3x przetwornik ADC: 12 bitów, 16 kanałów
- Przetwornik DAC: 12 bitów, 2 kanały



Rys. 4.6 Mikrokontroler STM32F446RE

Dodatkowo moduł posiada trzy wbudowane diody LED: sygnalizująca napięcie zasilania, sygnalizująca komunikację oraz jedna do dyspozycji użytkownika. Poza tym dostępne są dwa przyciski: RESET oraz drugi do dyspozycji użytkownika. Do płytki dołączony jest debugger ST-Link/V2 umieszczony na płytce z możliwością jego odłamania od reszty mikrokontrolera. Posiada on również dodatkowe wyjścia, przez które można zaprogramować zewnętrzne mikrokontrolery.

5. Schemat blokowy

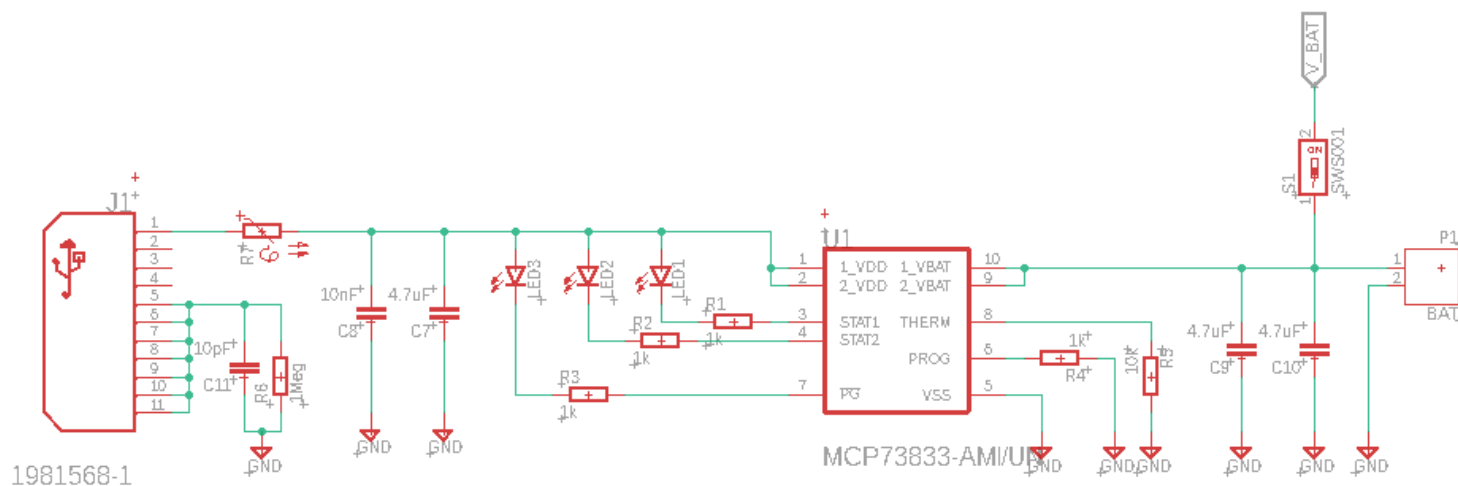


Rys. 5.1 Schemat blokowy

Na rys 3.10 został przedstawiony schemat blokowy urządzenia. Prędkościomierz można podzielić na 4 główne bloki: Mikrokontroler, Wyświetlacz, Czujnik oraz Zasilanie. Wyświetlacz komunikuje się z mikrokontrolerem przy pomocy interfejsu szeregowego SPI, natomiast czujnik Halla przy pomocy portu GPIO, gdyż sygnał dostarczany z czujnika jest sygnałem cyfrowym zero-jedynkowym. Urządzenie nie posiada żadnych przycisków służących do obsługi urządzenia, ponieważ został zastosowany wyświetlacz dotykowy, który łączy funkcje interfejsu oraz wyświetlania. Jedyne przełącznik użyty w projekcie służy do włączania oraz wyłączania urządzenia. Wszystkie układy zasilane są napięciem 3.3V lub 5V, poza wyświetlaczem, który posiada wbudowany stabilizator 3.3V z tego powodu potrzebne jest zastosowanie napięcia zasilania 5V. Z racji, że napięcie na baterii znajduje się w przedziale od 2.6V do 4.1V w zależności od naładowania potrzebne jest zastosowanie przetwornicy step-up 5V. Przetwarza ona napięcie baterii do poziomu 5V. Dodatkowo urządzenie posiada wbudowany układ służący do ładowania oraz kontroli pracy baterii. Więcej informacji na ten temat w rozdziale 6.

6. Projekt układu

6.1. Układ ładowania ogniwa oraz stabilizacji napięcia



Rys. 6.1 Schemat układu ładowania ogniwa

W pierwszej kolejności został zaprojektowany układ służący ładowaniu oraz kontroli pracy baterii. Schemat układu został przedstawiony na rys. 6.1. W projekcie został wykorzystany układ scalony MCP73833. Został on skonfigurowany do ładowania ogniwa prądem 1 A poprzez dobranie odpowiedniego rezystora R4. Wartość jego została obliczona według poniższego wzoru podanego w dokumentacji układu.

$$I_{REG} = \frac{1000V}{R_{PROG}} \quad (6.1)$$

gdzie:

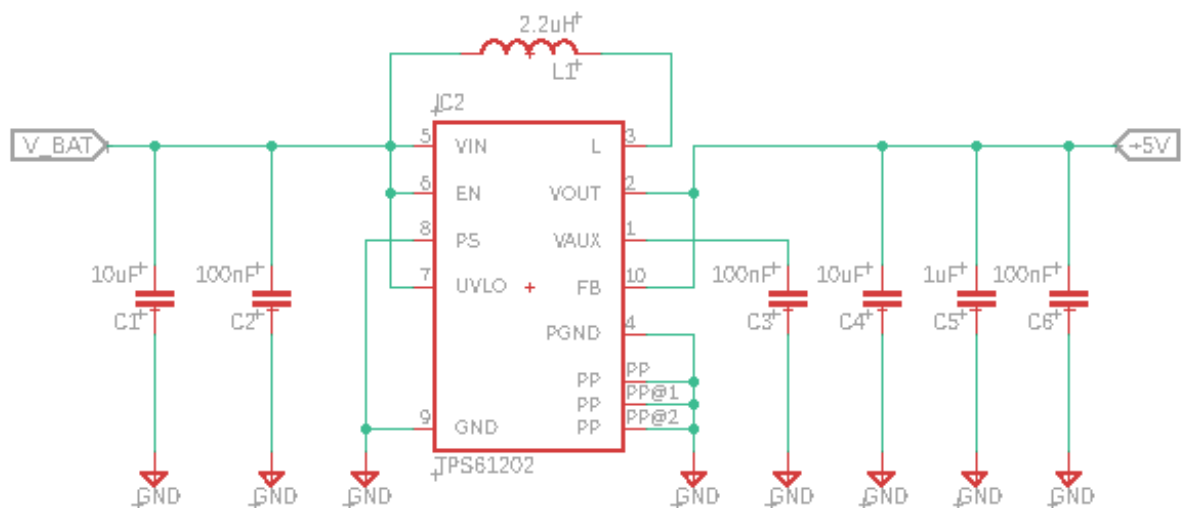
I_{REG} – prąd ładowania ogniwa [A]

R_{PROG} – wartość rezystora R9 [kΩ]

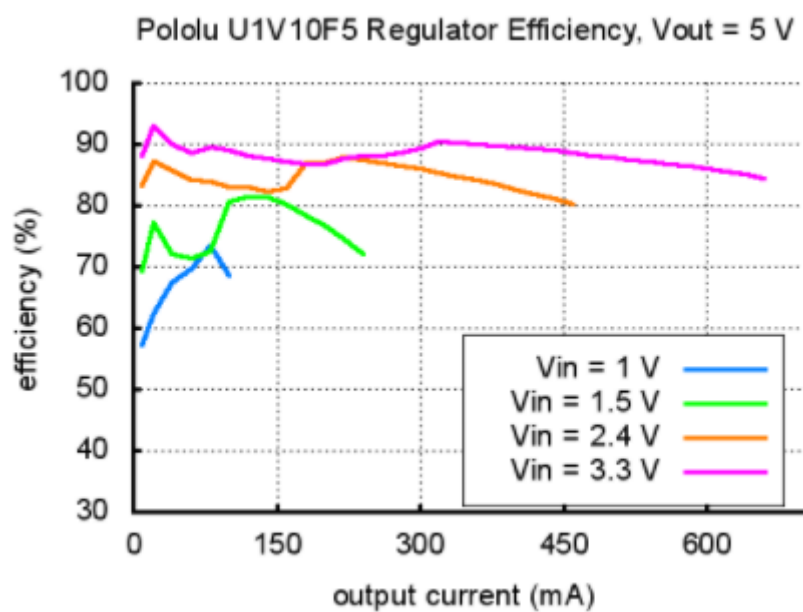
Napięcie wejściowe układu podawane jest za pośrednictwem złącza micro USB. Powodem zastosowania takiej wersji złącza jest fakt, że jest ono bardzo popularne oraz każdy użytkownik tego urządzenia z pewnością posiada kabel z tym rodzajem złącza. Dodatkowo zaletą jest to, że złącze pracuje przy napięciu o wartości 5 V, natomiast układ MCP73833 przyjmuje napięcie w zakresie do 6 V. W celu filtracji napięcia wejściowego oraz wyjściowego zostały zastosowane kondensatory. Ponadto układ został wyposażony w złącze, do podłączenia baterii. Informacja o stanie naładowania baterii jest przekazywana za pomocą 3 diod podłączonych do układu. Dioda LED1 sygnalizuje zakończenie procesu ładowania ogniwa. Dioda LED2 informuje o obecności zasilania, tzn. o obecności napięcia na złączu USB. Natomiast dioda LED3 służy do informowania użytkownika o momencie ładowania ogniwa. Jeśli dioda się zaświeci oznacza, że bateria jest w danym momencie ładowana. Urządzenie jest załączane oraz wyłączane przy mocy przełącznika SWS001.

Dodatkowo na wejściu układu został zastosowany bezpiecznik polimerowy. Jest to element zabezpieczający układ elektroniczny przed uszkodzeniem, które mogłyby nastąpić w związku z przepływem zbyt dużego prądu (np. w wypadku zwarcia). Od innych bezpieczników odróżnia go przede wszystkim możliwość wielokrotnego użycia. Element ten jest tak właściwie termistorem, czyli rodzajem rezystora, który zmienia swój opór w zależności od tego jaka panuje temperatura. Zabezpieczenie to jest projektowane tak, aby po przekroczeniu maksymalnego prądu zaczął się on mocno nagrzewać. Wzrost temperatury sprawia, że opór elementu znacznie wzrasta co prowadzi do przerwania obwodu.

W dalszej części, chcąc zasilić wszystkie podzespoły należy ustabilizować napięcie do poziomu 5 V (schemat przedstawiony na rys. 6.2). W tym celu został zaprojektowany układ przetwornicy step-up na układzie TPS61202. Posiada on maksymalny prąd wyjściowy o wartości do 600mA, który jest wystarczający, aby zapewnić prawidłową pracę wszystkich układów. Na rys. 6.3 została również przedstawiona charakterystyka układu, prądu wyjściowego w zależności od napięcia wejściowego.



Rys. 6.2 Układ przetwornicy step-up

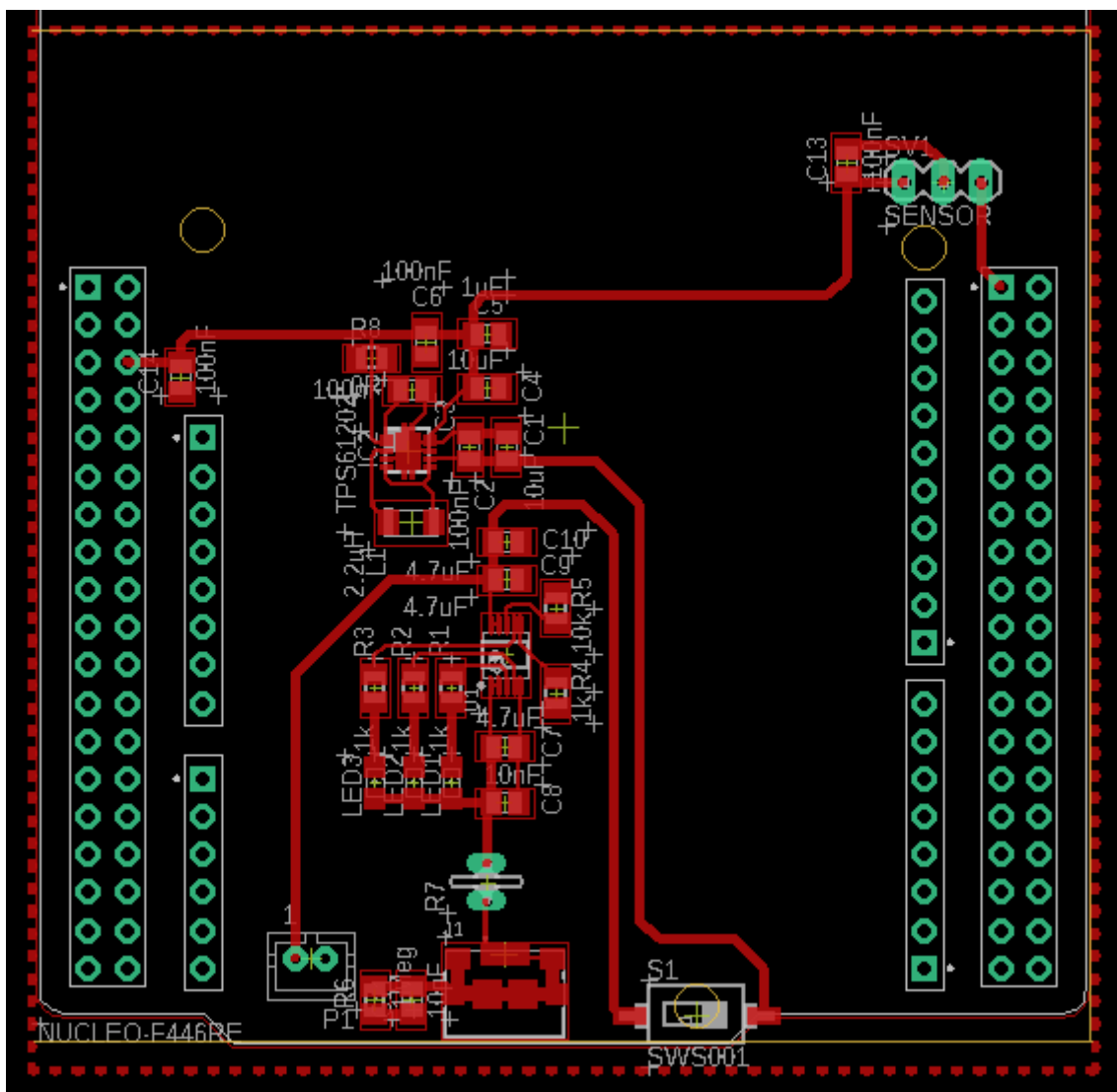


Rys. 6.3 Charakterystyka układu, prąd wyjściowy w zależności od napięcia wejściowego

6.2. Projekt PCB

Płytkę PCB została wykonana z elementów SMD, czyli powierzchniowych oraz THT czyli przewlekanych. W celu poprawy widoczności oraz nie zaciemniania elementów, zdjęcie płytki zostało wykonane bez wylanej masy (rys. 6.4).

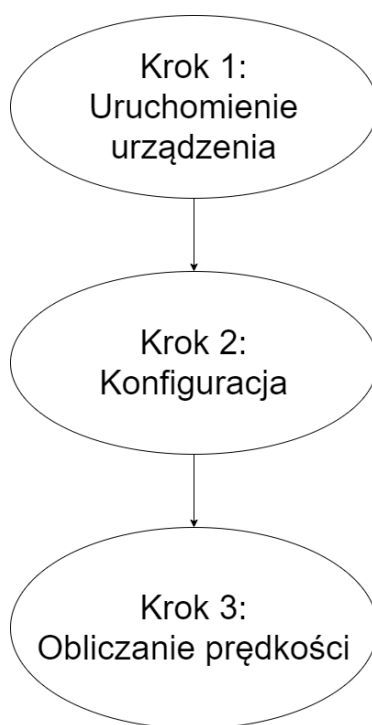
Kondensatory blokujące zostały ułożone jak najbliżej układów zasilanych. W układach cyfrowych, pobór prądu może zmieniać się bardzo szybko, nawet o kilka rzędów wielkości. Największy pobór prądu występuje podczas zmiany poziomów napięć z 0 do 3.3 V lub 5 V. Takimi urządzeniami są szczególnie układy wykonane w technologii CMOS. Taka szybka zmiana poboru prądu może doprowadzić do dużej niestabilności napięcia zasilania, a w konsekwencji niepoprawnej pracy układów. W tym celu stosuje się kondensatory blokujące.



Rys. 6.4 Projekt płytki PCB bez wylanej masy

7. Instrukcja obsługi prędkościomierza rowerowego

Licznik rowerowy jest to bardzo proste urządzenie, służące do obliczania prędkości rowerzysty. Z tego powodu interfejs użytkownika został zaprojektowany tak, aby w łatwy i szybki sposób móc rozpocząć w aktywny sposób korzystać z urządzenia.. Od momentu włączenia urządzenia wystarczy wykonać 3 kroki, aby móc cieszyć się z informacji jak szybko można jechać na rowerze.



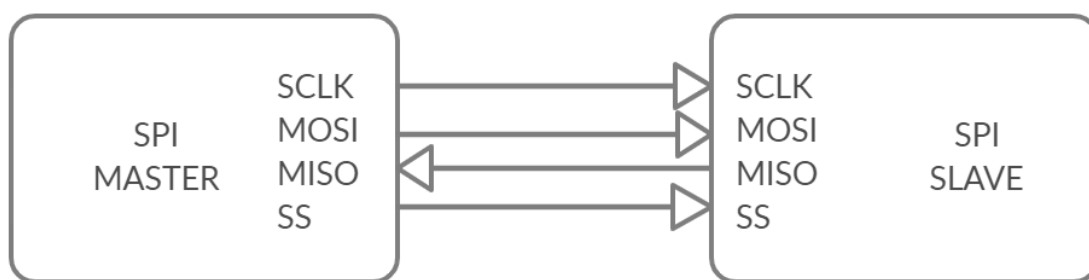
Rys. 7.1 Graf postępowania przy konfiguracji urządzenia

Na rys. 7.1 został przedstawiony graf postępowania od włączenia do wyświetlania informacji o prędkości. Po włączeniu urządzenia w pierwszej kolejności należy najpierw skonfigurować pracę urządzenia. W tym celu należy wybrać opcję „SETUP”. Jest ona potrzebna, ponieważ rower rowerowi nie równy i posiadają różne rozmiary kół. Oznacza to, że w konfiguracji należy podać rozmiar koła w calach. W kolejnym kroku należy zatwierdzić zmiany oraz wrócić do głównego menu przyciskiem „ENTER” i wybrać obliczanie prędkości przyciskiem „VELOCITY”. Jeśli byśmy wybrali opcję „RETURN” zmiany by nie zostały zapisane. Po wejściu w tą funkcję, na górze będzie wyświetlana prędkość w formie liczbowej, natomiast pod nią jest rysowany wykres tej prędkości w zależności od czasu. Wartość prędkości jest obliczana co sekundę. Zostało również zastosowane zabezpieczenie. Jeśli wybierze się opcję „VELOCITY” bez wcześniejszej konfiguracji to urządzenie poprosi najpierw o przejście do opcji „SETUP”. Również po wyjściu z opcji „VELOCITY” po wcześniejszej konfiguracji wykres jest resetowany.

8. Oprogramowanie

W projekcie został wykorzystany mikrokontroler, dlatego w tym celu zostało stworzone oprogramowanie, na repozytorium: <https://github.com/Academic-Laboratory-Group/BikeSpeedo> . Aby dokonać połączenia między mikrokontrolerem, a wyświetlaczem została wykorzystana biblioteka dostarczona od producenta. Wyświetlacz komunikuje się poprzez interfejs szeregowy SPI.

SPI jest to szeregowy interfejs służący najczęściej do komunikacji mikrokontrolera z urządzeniami peryferyjnymi. Jest jednym z 3 najpopularniejszych interfejsów komunikacyjnych. W przypadku SPI jeden układ, przeważnie jest to mikrokontroler, jest układem nadzorującym tzw. Master, a drugi, w przypadku tego projektu wyświetlacz, podwładnym tzw. Slave. Transmisja danych odbywa się w jednym lub dwóch kierunkach jednocześnie. Komunikacja pomiędzy urządzeniami odbywa się za pomocą 3 linii. Czwarta linia służy do wyboru urządzenia, z którym chcemy się skomunikować. Schemat połączenia urządzeń został zaprezentowany na rys. 3.11.



Rys. 3.11 Schemat połączenia dwóch urządzeń przy pomocy interfejsu szeregowego SPI

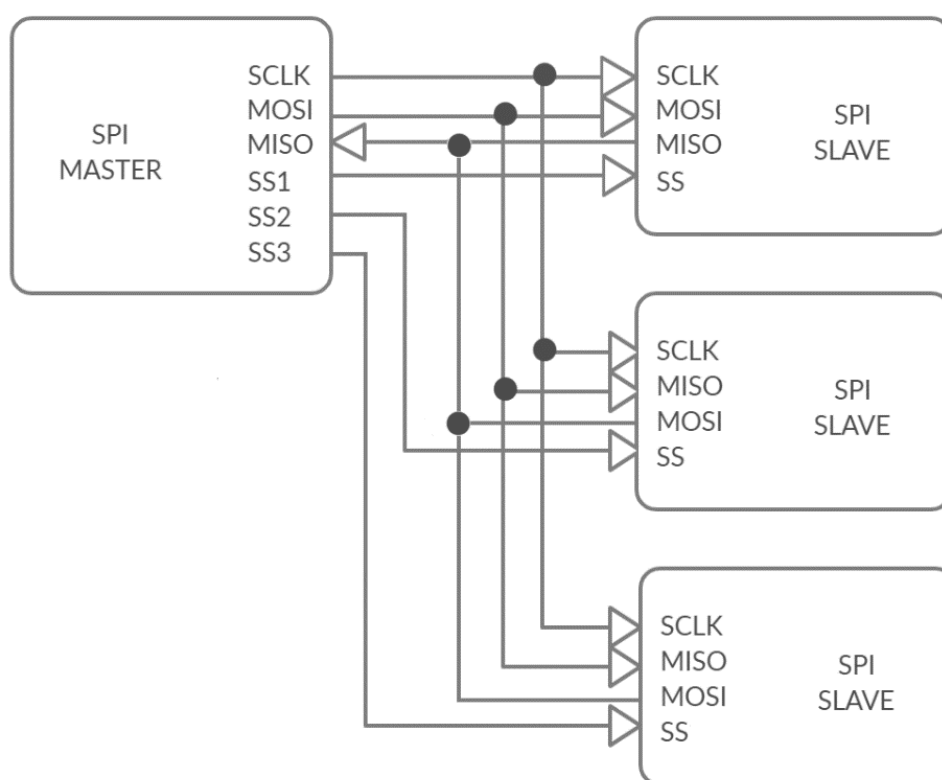
Kolejno przedstawione porty na rys 3.11 oznaczają:

- **SCLK** (Serial Clock) – linia zegara
- **MOSI** (Master Output Slave Input) – dane wysyłane z mastera do slave
- **MISO** (Master Input Slave Output) – dane wysyłane z slave do mastera
- **SS** (Slave Select) – linia wyboru urządzenia

Zaletą korzystania z interfejsu SPI jest to, że wraz z danymi przesyłany jest zegar. Dzięki niemu, możliwe jest uzyskanie szybkich prędkości transmisji. Ponadto komunikacja odbywa się synchronicznie. W celu rozpoczęcia transmisji należy wpierw ustawić stan niski na pinie SS. Od tego momentu urządzenie Slave uruchamia się i następuje możliwość komunikacji z nim. Tylko urządzenie nadzorujące jest w stanie rozpocząć komunikację. To ono może jedynie generować sygnał zegarowy.

Interfejs szeregowy SPI zbudowany jest z 8 synchronicznych przerzutników D tworząc razem rejestr przesuwny. Wszystkie przerzutniki posiadają ten sam zegar. W momencie wystąpienia zbocza zegara, bit znajdujący się w pierwszym przerzutniku jest przesyłany do drugiego, natomiast z drugiego do trzeciego itd. Sygnał wejściowy jest podawany na wejście pierwszego przerzutnika. Wyjście natomiast ostatniego przerzutnika jest wyjściem z całego rejestru. Oba urządzenia muszą posiadać taki mechanizm w celu komunikacji. Ważnym aspektem tego mechanizmu jest fakt, aby urządzenie podwładne mogło wysłać dane, urządzenie nadzorujące musi mu wpierw coś wysłać. W przeciwnym wypadku nie ma możliwości otrzymania danych.

Za pośrednictwem tego interfejsu występuje możliwość komunikacji z wieloma podwładnymi. Do tego służy linia SS. Niestety każde nowe urządzenie należy podłączyć do nowego pinu SS. Do jednego urządzenia peryferyjnego przypada jeden pin SS w mikrokontrolerze. Rys. 3.12 obrazuje schemat podłączenia w przypadku korzystania z wielu urządzeń.



Rys. 3.12 Schemat połączenia więcej niż jednego urządzenia do tego samego interfejsu SPI

Oprócz interfejsu szeregowego SPI w projekcie zostały wykorzystane liczniki. Pierwszy z nich został wykorzystany do odmierzania czasu po którym ma zostać wykonywany pomiar prędkości. W tym celu została wykorzystana funkcja licznika, a w zasadzie przerwanie od licznika. Licznik został skonfigurowany do pracy ciągłej, tzn. po odliczeniu do zadanej

wartości, układ zaczyna liczyć od początku automatycznie wystawiając jedynie przerwanie po odliczeniu do wartości zdanej. Drugi zaś licznik został wykorzystany do odliczania czasu pomiędzy impulsami sygnału dostarczanych od czujnika Halla. Gdy na wejściu licznika pojawi się przerwanie od czujnika, wartość licznika jest odczytywana i przekazywana do obliczania prędkości oraz w tej samej chwili wartość licznika jest zerowana i następuje wystartowanie licznika od nowa.

9. Czas pracy urządzenia na zasilaniu bateryjnym

Zasilanie bateryjne jest to rozwiązanie stosowane coraz częściej. Niestety czas pracy jest ograniczony przez prąd jaki jest pobierany przez urządzenia oraz pojemność wbudowanej baterii. Aby obliczyć maksymalny czas pracy urządzenia na tej baterii należy znać jeszcze pobór prądu każdego z urządzeń. Zestawienie maksymalnego pobieranego prądu przez urządzenia zostało przedstawione w tab. 9.1.

Element elektroniczny	Pobierany prąd [mA]
Układ ładowania MCP73833	0.05
Mikrokontroler STM32F446RE	30
Wyświetlacz 4"	140
Czujnika Halla AH49E	3.5
Przetwornica Step-Up	1
SUMA	174.55

Tab. 9.1 Maksymalny prąd pobierany przez układy

W następnej kolejności należy skorzystać ze wzoru 9.1:

$$Czas\ pracy\ baterii = \frac{pojemność\ baterii}{prąd\ obciążenia} \quad (9.1)$$

Wynika z niego, że minimalny czas ciągłej pracy na zasilaniu bateryjnym przy zastosowaniu baterii o pojemności 1300mAh wynosi około 7.5 godziny. Jest to oczywiście wartość orientacyjna.

10. Kosztorys

Element elektroniczny	Liczba elementów	Koszt całkowity [zł]
NUCLEO STM32F446RE	1	72
Wyświetlacz dotykowy 4"	1	104
Czujnik Halla AH49E	1	12
Złącze baterii JST-PH-2-THM_RA	1	0,68
Dioda LED zielona	1	0.25
Dioda LED żółta	1	0.72
Dioda LED czerwona	1	0.36
Kondensator	12	2.5
Cewka	1	3
Rezystor	7	0.5
Złącze gold pin – 3 piny	1	0.12
Przełącznik suwakowy	1	0.9
Micro USB	1	1,35
Bezpiecznik polimerowy	1	4.5
		SUMA: 202,88 + koszty produkcji płytki

Tab. 10.1 Kosztorys

11. Wnioski

Urządzenia takie jak prędkościomierz rowerowy różnią się pod względem ceny jak również możliwości jakie oferują. Pozwalają między innymi liczyć spalone kalorie, obliczać aktualną temperaturę otoczenia czy też mierzyć ciśnienie oraz puls. Jednak cechą wspólną tych urządzeń jest zasilanie bateryjne, wyświetlacz do prezentacji wyników oraz liczenie prędkości co jest podstawową własnością tego urządzenia. Ogólna zasada działania tego typu aparatury jest taka sama. Składają się z czujnika pola magnetycznego, układu zarządzającego, np. mikrokontroler, wyświetlacza oraz źródło pola, np. magnes. W kolejnym etapie zostały przedstawione główne układy elektroniczne użyte w projekcie oraz ich krótka charakterystyka. W trzecim etapie został stworzony schemat blokowy ilustrujący komunikację między układami, sposób prowadzenia zasilania, a przede wszystkim budowę urządzenia. Następnie została dokonana charakterystyka interfejsu po przez który odbywa się komunikacja oraz w jaki sposób zostały wykorzystane zasoby mikrokontrolera. W kolejnej części zostały przedstawione schematy elektryczne oraz dokładne wyjaśnienie sposobu podłączenia oraz celu zastosowania poszczególnych układów. Ostatnim etapem było przedstawienie instrukcji obsługi danego urządzenia oraz kosztorys. Zostały wykonane stosowne wyliczenia dotyczące czasu pracy urządzenia na zasilaniu bateryjnym. Do uruchomienia tego urządzenia zostało napisane dedykowane oprogramowanie. W tej części zostały też opisane najważniejsze problemy z jakimi można się spotkać pisząc kod. Projekt ten można oczywiście bardziej rozwinąć. Między innymi można wprowadzić komunikację urządzenia z komputerem poprzez złącze USB i interfejs USART.

12. Bibliografia

- <https://elektronikab2b.pl/technika/33922-czujniki-halla-pomiary-pola-magnetycznego-i-detekcja-polozenia-obiektow>
- https://botland.com.pl/czujniki-pradu/4494-czujnik-halla-ah49e-modul-waveshare-9522.html?gclid=Cj0KCQjwktKFBhCkARIsAJeDT0g7iaL54Ui370BBx3C4nfiNXM--HBcflejGQdIYnpx0IWeVATiEdFQaApPKEALw_wcB
- <https://botland.com.pl/wyswietlacze-lcd-tft-i-ips/10757-ekran-dotykowy-rezystancyjny-lcd-tft-4-480x320px-spi-dla-arduino-waveshare-13587.html>
- https://www.tme.eu/Document/00199be6c30361447b781e2dcbb77bbb/mcp7383_3_4.pdf (data dostępu: 6.12.2020)
- https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps61200.pdf?ts=1622481290644&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fpower-management%252Fnon-isolated-dc-dc-switching-regulators%252Fstep-up-boost%252Fboost-converters-integrated-switch%252Fproducts.html
- https://www.tme.eu/Document/00199be6c30361447b781e2dcbb77bbb/mcp7383_3_4.pdf
-