Politechnika Warszawska

WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY

Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej

Praca dyplomowa magisterska

na kierunku Informatyka Stosowana
w specjalności Inżynieria Oprogramowania

Dotykowy pulpit do monitorowania oraz sterowania pracą przekształtników energoelektronicznych

Adam Chorągwicki
Numer albumu 294358

promotor
dr inż. Piotr Grzejszczak

konsultant części laboratoryjnej
mgr inż. Marek Szymczak

WARSZAWA 2020

DOTYKOWY PULPIT DO MONITOROWANIA ORAZ STEROWANIA PRACĄ PRZEKSZTAŁTNIKÓW ENERGOELEKTRONICZNYCH

Streszczenie

Niniejsza praca dotyczy dotykowego pulpitu do monitorowania oraz sterowania pracą przekształtników energoelektronicznych. Dotykowy pulpit ma na celu ułatwienie korzystania z przekształtników energoelektronicznych dzięki wizualizacji parametrów urządzenia na wygodnym w użyciu panelu dotykowym. Wizualizacja odbywa się zarówno w formie tekstowej jak i graficznej. Użytkownik poza odczytem parametrów urządzenia ma również możliwość efektywnego sterowania przekształtnikiem poprzez modyfikację jego parametrów pracy z poziomu panelu dotykowego.

Do realizacji pracy w roli panelu dotykowego wykorzystano płytkę STM32F469 Discovery z wbudowanym wyświetlaczem dotykowym, zaś w roli urządzenia sterującego przekształtnikiem energoelektronicznym, czyli sterownika, zastosowano płytkę STM32VL Discovery.

W implementacji oprogramowania płytek pomocny okazał się IAR Embedded Workbench umożliwiający łatwą kompilację i debuggowanie kodu oraz środowisko TouchGFX umożliwiające wygenerowanie graficznego interfejsu użytkownika wyświetlanego na ekranie dotykowym płytki STM32F469 Discovery. Dodatkowo na etapie implementacji systemu przydatna okazała się komputerowa aplikacja testowa stworzona w środowisku QtCreator.

Praca składa się z krótkiego wstępu wprowadzającego do tematyki ekranów dotykowych opisującego i uzasadniającego cel pracy, 8 rozdziałów oraz 2 dodatków, które razem stanowią kompletną dokumentację wykonanego projektu. Rozdział pierwszy przedstawia cele pracy, założenia projektowe, ograniczenia oraz planowane funkcjonalności systemu. Drugi rozdział składa się z opisu stanowiska testowego użytego przy realizacji pracy, w tym użytego sprzętu, oprogramowania oraz schematu połączeń. Na trzeci rozdział składa się szczegółowy opis opracowanego modelu komunikacji w systemie w tym schemat pakietu UART, znaczenia jego pól oraz dopuszczalne wartości. Czwarty rozdział opisuje zrealizowane funkcjonalności systemu wraz z podaniem przykładowego pakietu UART dla każdej z funkcjonalności. W piątym rozdziale opisana została struktura oprogramowania płytki STM32F469 Discovery ze szczególnym uwzględnieniem obsługi systemu FreeRTOS oraz modelu oprogramowanie TouchGFX. Szósty rozdział opisuje strukturę aplikacji testowej użytej do bieżącego testowania systemu w trakcie implementacji, w tym opis funkcjonalności poszczególnych grup widżetów. Rozdział siódmy stanowi zapis pseudokodu mogącego posłużyć jako szablon pomocny w przeniesieniu kodu aplikacji testowej do dowolnego mikrokontrolera. Rozdział ósmy opisuje implementację aplikacji testowej na płytce STM32VL Discovery, w tym schemat zastosowanych połączeń oraz opis zestawu komend służących do testowania komunikacji między STM32F469 Discovery a STM32VL Discovery. Dodatek A zawiera rysunki ekranów dotykowego pulpitu wraz z opisami. Dodatek B zawiera 3 zrzuty ekranów aplikacji testowej na różnych etapach działania. Tekst niniejszej pracy podsumowuje zestaw wniosków oraz odnośników do źródeł użytych w trakcie wykonywania pracy.

Słowa kluczowe: system mikroprocesorowy z STM32, panel dotykowy, monitorowanie przekształtników, interfejs sterowania

TOUCH SCREEN PANEL FOR MONITORING AND CONTROL OF POWER CONVERTERS

Abstract

The thesis concerns a touch screen panel for monitoring and control of power converters. The touch screen panel is supposed to facilitate usage of power converters by visualizing the device parameters on a convenient to use touch panel. Visualization takes place in both text and graphic form. In addition to reading the device parameters, user can also effectively control the converter by modifying its operating parameters from the touch panel.

For the thesis, STM32F469 Discovery board with a built-in touch display was used as the touch panel, while the STM32VL Discovery board was used as the device controlling the power converter – the power converter driver.

The IAR Embedded Workbench IDE proved to be helpful for compiling and debugging of the code during software implementation phase, as well as the TouchGFX environment enabling generation of a graphical user interface displayed on the touch screen of a STM32F469 Discovery board. Additionally, at the stage of system implementation, a computer test application created in the QtCreator environment proved to be useful.

The thesis consists of a short introduction to a subject of touch screen panels describing and justifying the aim of the thesis, 8 chapters, as well as 2 appendices constituting complete documentation of the project. Chapter 1 presents the aim of the thesis, design assumptions, limitations and planned system functionalities. Chapter 2 consists of description of test stand utilized during creation of the thesis, including utilized hardware, software and connection scheme. Chapter 3 presents detailed description of the designed communication model in the system, including schema of the UART packet, meaning of its field and acceptable values. Chapter 4 describes the developed functionalities of the system, including exemplary UART packets for each functionality. Chapter 5 presents the structure of the STM32F469 Discovery software with particular emphasis on the FreeRTOS system support and the TouchGFX software model. Chapter 6 describes the structure of the test application used for testing during the implementation phase, including a description of the functionality of individual groups of widgets. Chapter 7 is a record of a pseudocode which can potentially be used as a template for porting application to any microcontroller. Chapter 8 describes implementation of the test application on STM32VL Discovery board, including a diagram of the connections used and a description of the set of commands used to test communication between STM32F4689 Discovery and STM32VL Discovery. Appendix A includes figures of touch screen panel screens with descriptions. Appendix B contains screenshots of the test application at various stages of execution. The thesis is summarized with the set of conclusions and references to external sources utilized during development of the thesis.

Keywords: STM32 microprocessor system, touch screen panel, power converters monitoring, control interface

Politechnika Warszawska

załącznik nr 3 do zarządzenia nr 24/2016 Rektora PW

_____

miejscowość i data

---

imię i nazwisko studenta

---

numer albumu

---

kierunek studiów

OŚWIADCZENIE

Świadomy odpowiedzialności karnej za składanie fałszywych zeznań oświadczam, że niniejsza praca dyplomowa została napisana przeze mnie samodzielnie, pod opieką kierującego pracą dyplomową.

Jednocześnie oświadczam, że:

- niniejsza praca dyplomowa nie narusza praw autorskich w rozumieniu ustawy z dnia 4 lutego 1994 roku o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz.U. z 2006 r. Nr 90, poz. 631 z późn. zm.) oraz dóbr osobistych chronionych prawem cywilnym,

- niniejsza praca dyplomowa nie zawiera danych i informacji, które uzyskałem w sposób niedozwolony,

- niniejsza praca dyplomowa nie była wcześniej podstawą żadnej innej urzędowej procedury związanej z nadawaniem dyplomów lub tytułów zawodowych,

- wszystkie informacje umieszczone w niniejszej pracy, uzyskane ze źródeł pisanych i elektronicznych, zostały udokumentowane w wykazie literatury odpowiednimi odnośnikami,

- znam regulacje prawne Politechniki Warszawskiej w sprawie zarządzania prawami autorskimi i prawami pokrewnymi, prawami własności przemysłowej oraz zasadami komercjalizacji.

Oświadczam, że treść pracy dyplomowej w wersji drukowanej, treść pracy dyplomowej zawartej na nośniku elektronicznym (płycie kompaktowej) oraz treść pracy dyplomowej w systemie iSOD są identyczne.

_____

czytelny podpis studenta

Spis treści

Wstęp

Przekształtnik energoelektroniczny jest urządzeniem służącym do przekształcania energii elektrycznej poprzez bezpośrednią modyfikację przebiegu czasowego prądu elektrycznego [1]. Przyrządy tego typu można w sposób najbardziej ogólny podzielić na prostowniki, falowniki, przekształtniki prądu stałego na stały oraz przemienniki częstotliwości [2]. Są to urządzenia skomplikowane, wymagające dedykowanych układów sterowania i pomiarów, które powszechnie realizowane są przez procesy sygnałowe (ang. Digital Signal Processing - DSP) [3]. Tego typu standardowe metody monitorowania i sterowania przekształtnikami są mało intuicyjne i niezbyt atrakcyjne z punktu widzenia użytkownika. Z pomocą może tu jednak przyjść rozwój technologii, a konkretniej współczesnych powszechnych metod łączących w sposób przystępny sterowanie i wizualizację danych – ekranów dotykowych.

Niniejszy dokument stanowi kompletną dokumentację projektu realizującego funkcje sterowania i monitorowania przekształtnika energoelektronicznego z użyciem dotykowego pulpitu. W projekcie założono, że dotykowy pulpit ma umożliwić użytkownikowi efektywne monitorowanie parametrów pracy przekształtnika w czasie rzeczywistym już od momentu uruchomienia urządzenia. Rozruch przekształtnika ma wiązać się z inicjalizacją dotykowego pulpitu informacjami o nazwach jak i wartościach liczbowych parametrów roboczych urządzenia. Parametry te mają być na bieżąco odbierane z przekształtnika i wizualizowane zarówno w formie tekstowej jak i graficznej - w postaci diagramu rysowanego w czasie rzeczywistym. Dodatkowo użytkownik ma mieć możliwość bezpośredniej ingerencji w pracę przekształtnika poprzez modyfikację dowolnego parametru pracy urządzenia z poziomu dotykowego pulpitu. Tego typu modyfikacje parametrów umożliwiają kalibrację systemów pomiarowych czy też konfiguracje zabezpieczeń np. poprzez ustawienie maksymalnych wartości prądu lub napięcia, których urządzenie nie powinno przekraczać. Ponadto kluczowym jest, by użytkownik mógł na bieżąco dobierać nastawy regulatorów wpływających na główną funkcjonalność przekształtnika np. poprzez ustawienie docelowego napięcia, natężenia prądu czy częstotliwości przebiegu czasowego prądu elektrycznego już po jego przekształceniu. Dodatkowo wizualizacja danych w postaci wykresu powinna pomóc użytkownikowi w obserwacji ewentualnych nieprawidłowości w działaniu przekształtnika.

Wszystkie wymienione funkcjonalności mają być realizowane z użyciem pulpitu dotykowego, którego sercem ma być ekran dotykowy. Wyświetlacze dotykowe bardzo powszechnie stosowane są od stosunkowo niedawna, mimo że technologia jako taka znana jest już od kilkudziesięciu lat.

Pierwszy ekran dotykowy zaprojektował i opatentował 7 października 1975 przez amerykański wynalazca George Samuel Hurst - numer patentu US3911215[1]. W tamtych czasach zapewne nie podejrzewał on jak rewolucyjnym stanie się jego wynalazek z biegiem lat.

Technologia ekranów dotykowych rozwijała się przez wiele lat stopniowo pojawiając się w coraz większej ilości produktów, jednakże swój szczyt popularności osiągnęła dopiero w ostatniej dekadzie. Obecnie ze względu na dużą dostępność i niską cenę tej technologii ekrany dotykowe są wszechobecne – coraz trudniej spotkać użytkownika telefonu korzystającego z urządzenia z klasycznym zestawem klawiszy i niewielkim ekranem.

[1] https://patents.google.com/patent/US3911215 (2.06.2020 r.).

Fenomen technologii ekranów dotykowych polega na połączeniu możliwości wyświetlania informacji oraz sterowania urządzeniem w obrębie jednej spójnej – większej lub mniejszej – płaskiej powierzchni. Dzięki temu nie ma potrzeby dołączania do każdego wyświetlacza dodatkowego urządzenia sterującego w postaci myszki lub klawiatury, gdyż zarówno operację kliku myszki jak i wyboru klawisza można łatwo zrealizować przy użyciu ekranu dotykowego.

Zdj. 1 Współczesny ekran dotykowy[2]

Szczególnie ciekawą funkcjonalność można osiągnąć łącząc powyższe cechy wyświetlaczy dotykowych z programowalnym urządzeniem – mikrokontrolerem. Można w ten sposób uzyskać niewielkie wielofunkcyjne urządzenie potrafiące wyświetlać dane w atrakcyjny dla użytkownika sposób. Dodatkowo możliwe jest intuicyjne sterowanie urządzeniem w szerokim zakresie wartości nieosiągalne w innych przypadkach bez użycia klasycznej klawiatury czy myszki.

Zakres możliwych do osiągnięcia funkcjonalności znacznie zwiększa się, gdy mikrokontroler z wbudowanym wyświetlaczem dotykowym staje się częścią większego systemu w praktyce sterując innymi wyspecjalizowanymi urządzeniami. Właśnie taki przypadek użycia jest tematem niniejszej pracy.

[2] https://i.insider.com/5db8832adee019279924bd86?width=1300&format=jpeg&auto=webp (2.06.2020 r.).

1 Cel pracy

Praca ma 4 główne cele:

- Opracowanie modelu komunikacji między dotykowym pulpitem i sterownikiem przekształtnika energoelektronicznego
- Implementacja oprogramowania dotykowego pulpitu umożliwiającego interakcję z użytkownikiem, a jednocześnie komunikację ze sterownikiem przekształtnika energoelektronicznego
- Stworzenie komputerowej aplikacji testowej z graficznym interfejsem użytkownika umożliwiającej efektywne testowanie oprogramowania dotykowego pulpitu
- Przetestowanie funkcjonalności oprogramowania dotykowego pulpitu w komunikacji z innym układem mikroprocesorowym

W niniejszej pracy dotykowy pulpit stanowić będzie mikrokontroler firmy ST Microelectronics STM32F469NI Discovery. Posiada on wbudowany 4-calowy wyświetlacz dotykowy, bardzo wydajny mikroprocesor Cortex-M4 o maksymalnej częstotliwości taktowania 180Mhz oraz niezbędne peryferia komunikacyjne potrzebne do komunikacji z innymi urządzeniami.

Sterownik przekształtnika energoelektronicznego na potrzeby niniejszej pracy będzie symulować inna płytka rozwojowa – STM32VL Discovery wyposażona w znacznie słabszy mikrokontroler STM32F100RBT6B, niemniej jednak posiadający wystarczającą ilość pamięci RAM, flash oraz interfejsów UART na potrzeby niniejszej pracy.

Komunikacja między urządzeniami w systemie odbywać się będzie przy użyciu UART – Universal Asynchronous Receiver Transmitter. Obydwie płytki mają wbudowane układy scalone realizujące funkcje UART, natomiast po stronie komputera PC funkcje te realizuje konwerter USB-UART.

Moduł STM32F469 połączony interfejsem UART z komputerem PC razem tworzyć będą stanowisko eksperymentalne umożliwiające łatwe i wygodne przetestowanie wszystkich funkcjonalności systemu przy użyciu komputerowej aplikacji testowej. Aplikacja testowa ma za zadanie symulować sterownik przekształtnika energoelektronicznego.

Planowane funkcjonalności systemu:

- Z poziomu ekranu dotykowego modułu STM32F469:
    a) Aktywowanie parametru w aplikacji
    b) Deaktywowanie parametru w aplikacji
    c) Ustawienie wartości parametru w aplikacji
    d) Wyświetlenie wartości odebranych z aplikacji w postaci grafu
- Z poziomu aplikacji komputerowej:
    a) Inicjalizacja i deinicjalizacja połączenia
    b) Możliwość wysłania pakietu o dowolnej zawartości do modułu STM32F469
    c) Możliwość odebrania pakietu o dowolnej zawartości od modułu STM32F469
    d) Logowanie wysłanych i odebranych pakietów w aplikacji testowej z możliwością podglądu

e) Możliwość łatwego wysyłania zbioru pakietów danych w podanym zakresie

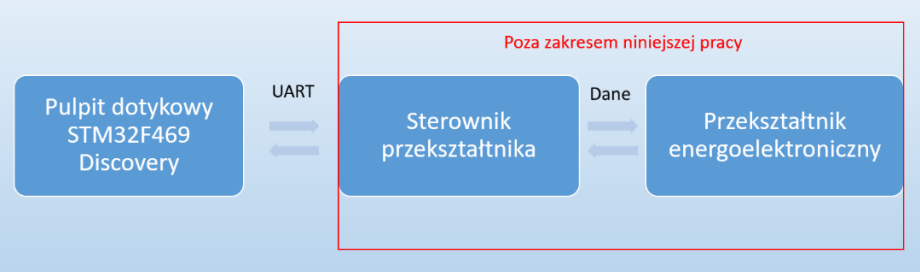
Oprogramowanie modułu STM32F469 Discovery powstałe w toku realizacji niniejszej pracy ma przy użyciu wbudowanego 4-calowego wyświetlacza TFT-LCD realizować wygodny i intuicyjny w obsłudze panel dotykowy umożliwiający użytkownikowi zarówno przesyłanie danych do przekształtnika jak i odczyt danych odebranych z przekształtnika.

Dane odebrane z przekształtnika mogą być wizualizowane na pulpicie dotykowym w postaci tekstowej lub graficznej tj. w postaci grafu rysowanego w czasie rzeczywistym. Wizualizowane dane mogą reprezentować nazwy oraz wartości liczbowe dowolnych parametrów pracy odczytanych z przekształtnika np. napięcie, prąd, moc, częstotliwość. Dane przesyłane z pulpitu dotykowego do przekształtnika mogą być wartościami parametrów pracy przekształtnika jakie użytkownik chce ustawić w urządzeniu.

Dzięki możliwości wspomnianego dwukierunkowego przesyłania danych użytkownik będzie miał możliwość monitorowania dowolnych parametrów pracy przekształtnika w czasie rzeczywistym jak i sterowania jego pracą poprzez modyfikację wartości dowolnych parametrów co umożliwi np. kalibrację wejść pomiarowych przekształtnika.

2 Opis systemu, stanowiska testowego, użytego sprzętu i oprogramowania

2.1 Schemat docelowego systemu

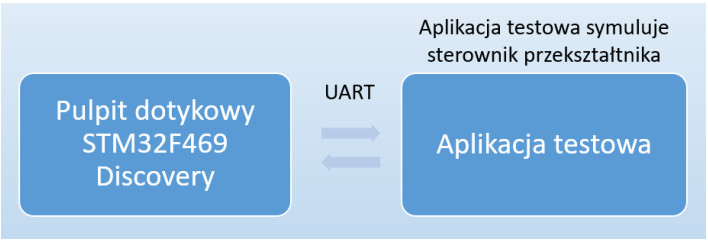


Rys. 2.1 Schemat docelowego systemu

Docelowy system składa się z płytki STM32F469 Discovery połączonej interfejsem UART ze sterownikiem mikroprocesorowym przekształtnika energoelektronicznego, z kolei sterownik ten jest połączony bezpośrednio z przekształtnikiem energoelektronicznym.

Sterownik, jego oprogramowanie jak i sam przekształtnik oraz sposób ich połączenia są poza zakresem niniejszej pracy. W celu zrealizowania projektu elementy zaznaczone na Rys. 2.1 zostały dwuetapowo zastąpione swoimi ekwiwalentami funkcjonalnymi – w etapie nr 1 komputerową aplikacją testową, natomiast w etapie nr 2 płytką STM32VL Discovery symulującą sterownik przekształtnika.

2.2 Prezentacja stanowiska testowego - etap 1

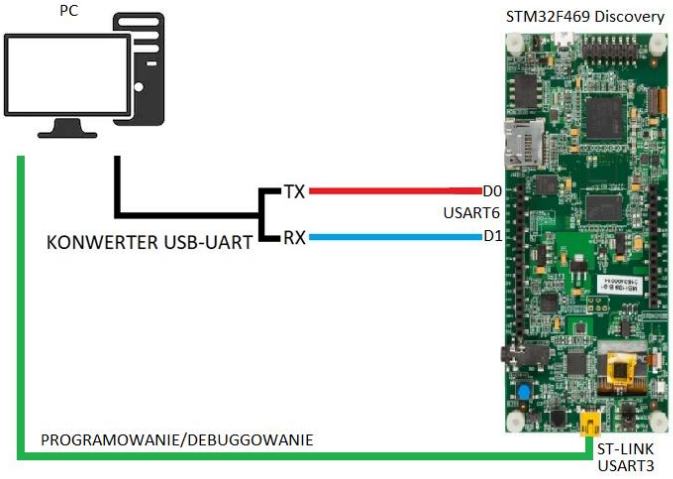


Rys. 2.2 Schemat stanowiska testowego etapu pierwszego

Stanowisko testowe etapu pierwszego składa się z modułu STM32F469 Discovery połączonego z użyciem konwertera USB-UART z komputerem PC na którym uruchomiona jest aplikacja testowa z graficznym interfejsem użytkownika. Aplikacja symuluje sterownik cyfrowy przekształtnika.

Użycie na tym etapie aplikacji testowej znacząco przyspieszyło implementację oprogramowania poprzez ułatwienie procesu testowania komunikacji w systemie. Dodatkowo dzięki funkcji logowania przychodzących i wychodzących pakietów UART aplikacja testowa umożliwiła szybkie dostrzeganie i naprawianie wszelkich nieprawidłowości w komunikacji.

Schemat połączeń

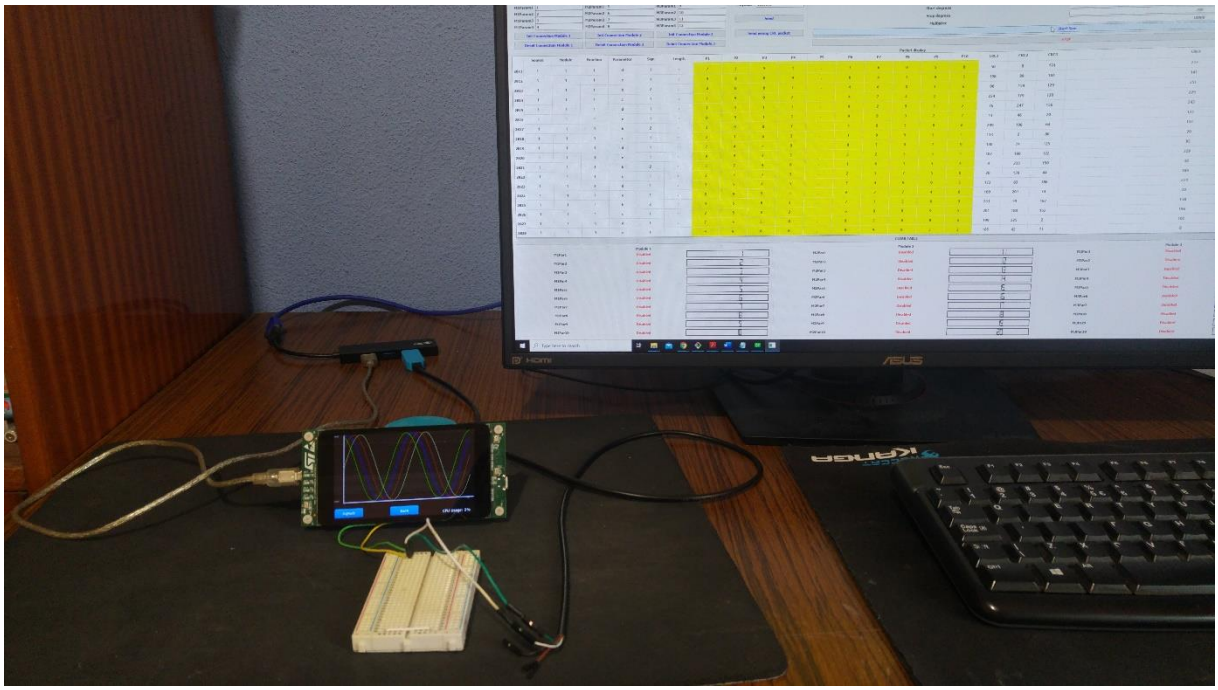


Rys. 2.3 Schemat połączeń stanowiska testowego etapu pierwszego

Komputer PC połączony jest kablem USB (oznaczonym kolorem zielonym) ze złączem CN1 płytki Discovery. Na złączu tym wyprowadzony jest interfejs ST-LINK służący między innymi do programowania płytki.

Złącze CN1 obsługuje również wirtualny port komunikacyjny – Virtual COM Port. W praktyce jest to interfejs USART3 widoczny z poziomu komputera PC jako komunikacyjny port szeregowy. Port ten używany jest do wysyłania wiadomości diagnostycznych z płytki do komputera.

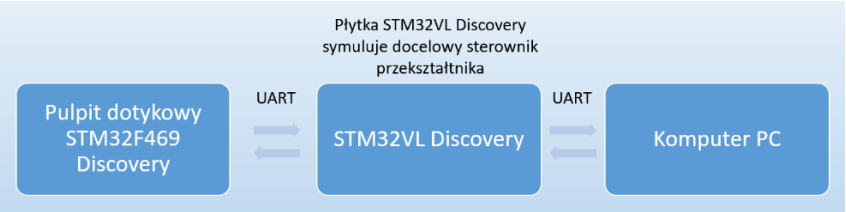
Do komputera PC podłączony jest również konwerter USB-UART rozgałęziający się na dwa kable – TX oraz RX – które służą odpowiednio do nadawania oraz odbierania sygnału. Kable te połączone są z cyfrowymi pinami żeńskimi D0 oraz D1 płytki. Piny te są skonfigurowane jako piny RX i TX interfejsu USART6.



Zdj. 2.1 Stanowisko testowe etapu pierwszego

przedstawia stanowisko testowe etapu pierwszego. Widoczny jest ekran komputera PC z uruchomioną aplikacją testową wysyłającą dane do dotykowego pulpitu. Można zaobserwować również ekran dotykowego pulpitu, a konkretniej ekran grafu rysujący w czasie rzeczywistym odebrane dane.

2.3 Prezentacja stanowiska testowego - etap 2



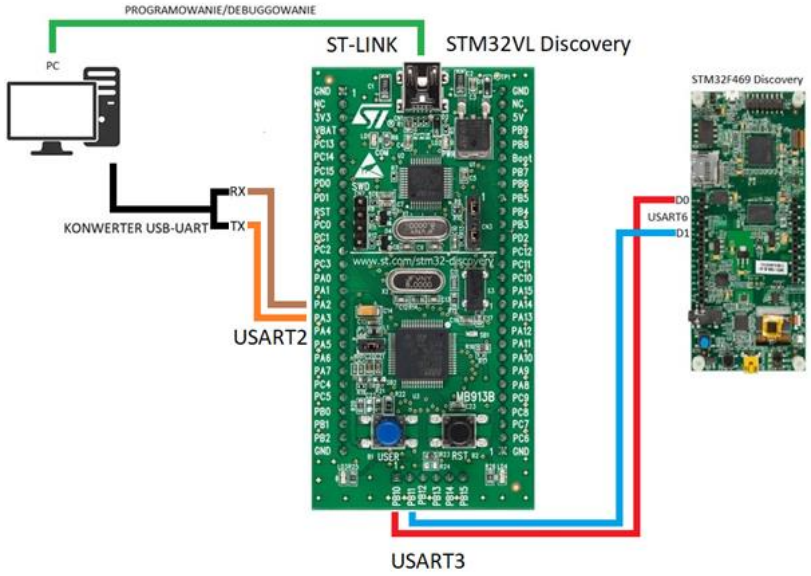
Rys. 2.4 Schemat stanowiska testowego etapu drugiego

Stanowisko testowe etapu drugiego składa się z modułu STM32VL Discovery połączonego interfejsem UART z modułem STM32F469 Discovery, a jednocześnie – poprzez konwerter USB-UART - z komputerem PC.

Testowanie systemu w tej konfiguracji polega na przesyłaniu komend z komputera PC do płytki STM32VL Discovery. Każda poprawna komenda po odpowiedniej interpretacji przez mikrokontroler uruchamia konkretną funkcjonalność co powoduje przesłanie stosownych pakietów UART do pulpitu dotykowego. Przy użyciu odpowiedniej komendy możliwy jest również odczyt danych wcześniej odebranych z pulpitu dotykowego.

Lista komend testowych, ich parametrów oraz szczegółowa procedura testowa opisane zostały w rozdziale 8.

Schemat połączeń

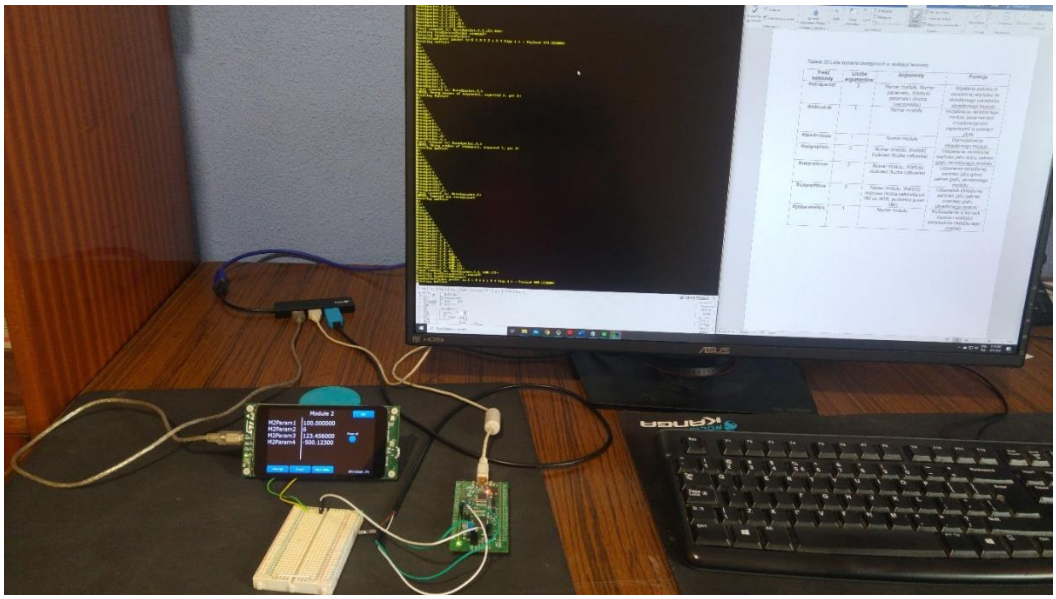


Rys. 2.5 Schemat połączeń stanowiska testowego etapu drugiego

Komputer PC połączony jest kablem USB ze złączem CN1 płytki STM32VL Discovery. Na złączu tym wyprowadzony jest interfejs ST-LINK służący między innymi do programowania płytki.

Do komputera PC podłączony jest również konwerter USB-UART rozgałęziający się na dwa kable – TX oraz RX. Kabel TX podłączony jest do pinu PA3 modułu USART2 płytki. Tą drogą przesyłane są komendy. Kabel RX podłączony jest do pinu PA2 modułu USART2 płytki. Tą drogą odbierane są wiadomości diagnostyczne.

Dodatkowo piny PB10 i PB11 modułu USART3 połączone są z pinami D0 i D1 modułu USART6 płytki STM32F469 Discovery. Tą drogą odbywa się komunikacja między mikrokontrolerami.



Zdj. 2.2 Stanowisko testowe etapu drugiego

Zdj. 2.2 przedstawia stanowisko testowe etapu drugiego. Widoczny jest ekran komputera PC podzielony na 2 części. Po lewej stronie widać uruchomiony program RealTerm służący do obsługi komunikacji szeregowej między urządzeniami. Po prawej stronie widoczna jest Tabela 8.1 przedstawiająca listę oraz sposób użycia komend testujących.

Można zaobserwować również ekran dotykowego pulpitu, a konkretniej ekran danych modułu nr 2, który wyświetla odpowiednio zinterpretowane dane odebrane z komputera PC.

2.4 Specyfikacja użytych urządzeń

Płytka rozwojowa STM32F469NI Discovery

Płytka rozwojowa STM32F469NI Discovery odgrywająca w pracy rolę dotykowego pulpitu to mikrokontroler produkowany przez firmę ST Microelectronics. Tabela 2.1 przedstawia kluczowe cechy mikrokontrolera wykorzystane w niniejszej pracy.

Tabela 2.1 Kluczowe elementy specyfikacji płytki STM32F469 Discovery[3][4]

Ekran dotykowy	Wyświetlacz 4” LCD typu TFT i rozdzielczości 800x480
Mikroprocesor	Cortex M4
Maksymalna częstotliwość	180Mhz
Pamięć RAM	324kB
Wewnętrzna pamięć flash	2MB
Zewnętrzna pamięć flash	128-Mbit Quad-SPI NOR
Konektory zewnętrzne	Zestaw konektorów typu Arduino UNO V3
Diody sygnalizacyjne	4 kolorowe diody umieszczone obok ekranu dotykowego
Liczba wykorzystanych wejść/wyjść cyfrowych	2 piny typu Arduino UNO V3 (D0, D1) oraz złącze CN1 do zasilania płytki, programowania i debuggowania
Interfejsy komunikacyjne	4 konfigurowalne USART, 4 konfigurowalne UART
Napięcie zasilania	5V lub 3.3V

[3] https://www.st.com/resource/en/data_brief/32f469idiscovery.pdf (2.06.2020 r.).
[4] https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00218846-discovery-kit-with-stm32f469ni-mcu-stmicroelectronics.pdf (2.06.2020 r.).

Interfejsem służącym do programowania oraz debuggowania oprogramowania płytki jest wbudowany ST-LINK w wersji V2-1.

Dodatkową istotną cechą jest obecność wirtualnego portu komunikacyjnego USB współdzielącego złącze z interfejsem ST-LINK. Wspomniany port został wykorzystany do łatwego przesyłania wiadomości diagnostycznych z płytki do komputera PC.

Płytka rozwojowa STM32VL Discovery

Płytka rozwojowa STM32VL Discovery odgrywająca w niniejszej pracy rolę sterownika przekształtnika to mikrokontroler produkowany przez firmę ST Microelectronics. Tabela 2.2 przedstawia kluczowe cechy płytki wykorzystane w niniejszej pracy.

Tabela 2.2 Kluczowe cechy specyfikacji płytki STM32VL Discovery[5][6]

Mikrokontroler	STM32F100RBT6B
Liczba modułów UART	3
Pamięć RAM	8kB
Pamięć flash	128kB
Diody sygnalizacyjne	2 kolorowe diody
Liczba wykorzystanych wejść/wyjść cyfrowych	4 piny (PA2, PA10, PB10, PB11) oraz złącze CN1 do zasilania płytki, programowania i debuggowania
Interfejsy komunikacyjne	3 konfigurowalne USART
Napięcie zasilania	5V lub 3.3V

Interfejsem służącym do programowania oraz debuggowania oprogramowania płytki jest wbudowany ST-LINK w wersji V1.

Konwerter USB-UART

Urządzenie podłączane do portu USB komputera mające na celu konwersję sygnału szeregowego do sygnału rozpoznawalnego przez UART.

2.5 Lista użytego oprogramowania

Interfejs graficzny dotykowego pulpitu został zaprojektowany, a następnie wygenerowany przy użyciu środowiska TouchGFX. W ten sposób automatycznie utworzony został zestaw folderów zawierających kompletne predefiniowane projekty gotowe do uruchomienia, edycji i kompilacji w wybranych środowiskach programistycznych np. IAR Embedded Workbench lub Keil uVision. Dodatkowo, wspomniane foldery zawierały również biblioteki kodu niezbędne do obsługi systemu czasu rzeczywistego FreeRTOS oraz biblioteki HAL (Hardware Abstraction Layer) przydatne do wygodnego programowania płytki rozwojowej bez potrzeby pisania kodu odwołującego się do układu pinów i rejestrów procesora specyficznych dla danej płytki i mikrokontrolera.

IAR Embedded Workbench

Głównym narzędziem pracy nad oprogramowaniem obu płytek rozwojowych było zintegrowane środowisko programistyczne IAR Embedded Workbench 8.40. Jest ono wspierane przez środowisko TouchGFX 4.10 dzięki czemu możliwe było szybkie i łatwe

[5] https://www.st.com/resource/en/data_brief/stm32vldiscovery.pdf (2.06.2020 r.).
[6] https://www.st.com/resource/en/user_manual/cd00267113-stm32vldiscovery-stm32-value-line-discovery-stmicroelectronics.pdf (2.06.2020 r.).

kompilowanie kodu predefiniowanego projektu, programowanie pamięci mikrokontrolera oraz debuggowanie.

TouchGFX 4.10

Szkielet kodu, na podstawie którego zrealizowany został projekt wygenerowano przy użyciu środowiska TouchGFX. Jest to oprogramowanie służące do łatwego tworzenia graficznego interfejsu użytkownika wyświetlanego na ekranie dotykowym dowolnej wspieranej płytki produkowanej przez ST Microelectronics. Tworzenie interfejsu graficznego polega na prostym przeciąganiu i umieszczaniu na ekranie widgetów np. przycisków, suwaków, pól tekstowych. W ten sposób możliwe jest stworzenie atrakcyjnego interfejsu w bardzo krótkim czasie. Ponadto środowisko umożliwia szybkie testowanie stworzonego interfejsu przy użyciu wygenerowanego projektu Microsoft Visual Studio jeszcze przed wgraniem go na płytkę. Dodatkowym atutem oprogramowania jest możliwość kompilacji kodu oraz wgrania programu do pamięci mikrokontrolera bezpośrednio z ekranu tworzenia interfejsu graficznego. Wygenerowany kod źródłowy oparty jest na systemie FreeRTOS.

FreeRTOS 7.6.0

Kod generowany przez środowisko TouchGFX oparty jest na darmowym systemie FreeRTOS w wersji 7.6.0. Jest to system czasu rzeczywistego umożliwiający efektywne dzielenie czasu procesora w układach jednordzeniowych między różne zdefiniowane wcześniej zadania co odbywa się poprzez zastosowanie różnych narzędzi synchronizujących zadania np. semaforów, mutexów, kolejek danych itd. W przypadku niniejszej pracy dzięki zastosowaniu systemu czasu rzeczywistego płytka może odbierać, nadawać i przetwarzać dane w międzyczasie zachowując responsywność pulpitu dotykowego.

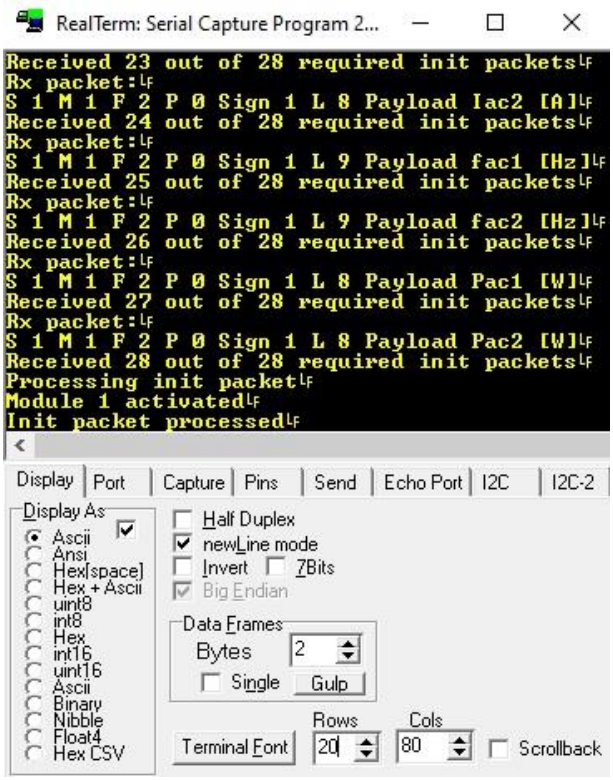
QtCreator IDE + biblioteki Qt 5.13.0

Komputerowa aplikacja testowa zaimplementowana została w środowisku QtCreator. Jest to oprogramowanie służące głównie do tworzenia programów zawierających niezależne od platformy graficzne interfejsy użytkownika. Dodatkowo dzięki zastosowaniu narzędzi dostępnych w obszernej bibliotece Qt możliwa jest realizacja bardziej zaawansowanych programów np. do obróbki audio lub danych pochodzących z sieci internetowych.

W przypadku niniejszej pracy biblioteki Qt posłużyły do stworzenia zaawansowanego, obsługującego komunikację szeregową przez interfejs UART, wygodnego w użyciu interfejsu graficznego, przydatnego do testowania komunikacji w systemie.

RealTerm 2.0.0.70

Do celów obserwacji komunikacji szeregowej między urządzeniami jak i również wysyłania komend testowych w etapie drugim implementacji projektu, zastosowany został program RealTerm. Zapewnia on pełną kontrolę nad portami komunikacyjnymi oraz sposobem wyświetlania i interpretacji danych. Możliwe jest przeglądanie danych odebranych zarówno w postaci kodów ASCII jak i w postaci wartości liczbowych co okazało się bardzo przydatne podczas implementacji komunikacji w niniejszym systemie.



Rys. 2.6 Dane diagnostyczne - wirtualny port komunikacyjny

Rys. 2.6 przedstawia zrzut ekranu programu RealTerm wyświetlającego dane diagnostyczne odebrane z wirtualnego portu komunikacyjnego pulpitu dotykowego. Dzięki tym danym możliwe jest bieżące monitorowanie w czasie rzeczywistym wykonywanych operacji oraz danych procesowanych przez dotykowy pulpit.

3 Opis komunikacji w systemie

Komunikacja między aplikacją testową i płytką Discovery polega na wymianie wiadomości w postaci pakietów. Każdy pakiet składa się z 20 jednobajtowych ramek, gdzie wartość każdej z ramek reprezentuje jedno pole pakietu. Każdy pakiet składa się z nagłówka, payloadu oraz sumy kontrolnej CRC.

3.1 Pakiet UART – opis ogólny

Nagłówek, payload oraz CRC składają się odpowiednio z 6, 10 i 4 pól. Opis roli jaką odgrywa każde pole w pakiecie przedstawia Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Opis pakietu UART

	Pole	Opis
Nagłówek	Source	Definiuje z/do którego urządzenia zaadresowany jest pakiet
	Module	Definiuje z/do którego modułu zaadresowany jest pakiet
	Function	Definiuje jaka jest funkcja danego pakietu
	Parameter	Definiuje parametr, którego wartość modyfikuje/przesyła dany pakiet
	Sign	Definiuje znak payloadu
	Length	Definiuje długość payloadu
Payload	Payload	Zbiór 10 pól w których zapisywana jest przesyłana wartość
CRC	CRC	Zbiór 4 pól w których zapisywana jest suma kontrolna 32 bit CRC

3.2 Konwersja liczbowo-znakowa

Wartość każdego pola pakietu jest czytelną wprost dla człowieka wartością znakową (char) kodowaną zgodnie ze standardem ASCII np. cyfra 3 przechowywana jest jako kod liczbowy znaku ‘3’ czyli 51. Taka decyzja projektowa umożliwiła łatwiejsze programowanie oraz diagnostykę wyświetlania i przetwarzania znaków.

Z drugiej zaś strony podczas transportu każda ramka UART przesyłana i odbierana jest jako 8-bitowa liczba całkowita bez znaku (uint8_t). Z tego względu komunikacja wymusza ciągłą konwersję z postaci liczbowej do postaci znakowej i odwrotnie.

Zamiana postaci liczbowej na znakową odbywa się poprzez dodanie do liczby kodu znaku ‘0’ czyli 48. Zamiana odwrotna odbywa się poprzez odjęcie od kodu znaku liczby kodu znaku ‘0’.

$$3 + \text{‘0’} \Leftrightarrow 3 + 48 \Leftrightarrow 51 \Leftrightarrow \text{‘3’}$$

Tabela 3.2 Konwersja wartości liczbowych i znakowych

Wartość liczbowa	Wartość znakowa	Kod liczbowy ASCII
0	‘0’	48
1	‘1’	49
2	‘2’	50
3	‘3’	51
4	‘4’	52
5	‘5’	53
6	‘6’	54
7	‘7’	55
8	‘8’	56
9	‘9’	57
10	‘:’	58

3.3 Pakiet UART – zakresy wartości

Tabela 3.3 przedstawia długość oraz zakres poprawnych wartości dla każdego pola pakietu. W przypadku każdego pola wartość liczbowa 0 oznacza błędną wartość co oznacza, że cały pakiet jest niepoprawny.

Tabela 3.3 Długości i zakresy wartości pól pakietu

Pole	Długość[bajt]	Zakres wartości [ASCII]
Source	1	‘1’
Module	1	‘1’ - ‘3’
Function	1	‘1’ - ‘9’
Parameter	1	‘0’ - ‘9’ oraz ‘a’ - ‘e’
Sign	1	‘1’ - ‘2’
Length	1	‘0’ - ‘:’
Payload	10	‘0000000000’ do ‘9999999999’
CRC	4	4 pola liczbowe

3.4 Pakiet UART – znaczenie pól

Każde pole przenosi określoną informację w pakiecie. Informacje te zostały szczegółowo opisane poniżej.

Source

Pole definiuje z którego lub do którego urządzenia adresowany jest pakiet. W obecnej implementacji występuje tylko jedno urządzenie w związku z czym pole to zawsze ma wartość ‘1’, jednakże istnieje możliwość dodania do systemu i adresacji większej ilości urządzeń.

Module

Pole definiuje moduł, z którego lub do którego adresowany jest pakiet. Każde urządzenie może mieć wiele niezależnych modułów. W obecnej implementacji urządzenie obsługuje 3 moduły, jednakże istnieje możliwość dodania do systemu i adresacji większej ilości modułów.

Function

Pole definiuje funkcję danego pakietu. Obsługiwanych jest 9 funkcji opisanych w tabeliTabela 3.4.

Tabela 3.4 Opis pola Function pakietu

Funkcja	Wartość znakowa	Opis
DATA_PACKET	‘1’	Przesył danych w celu ich wyświetlenia na grafie
INIT_PACKET	‘2’	Otwarcie połączenia z modułem
DEINIT_PACKET	‘3’	Zamknięcie połączenia z modułem
ENABLE_PARAMETER_PACKET	‘4’	Aktywacja parametru
DISABLE_PARAMETER_PACKET	‘5’	Deaktywacja parametru
SET_PARAMETER_PACKET	‘6’	Ustawienie wartości parametru
SET_GRAPH_RANGE_MIN	‘7’	Ustawienie dolnego zakresu grafu
SET_GRAPH_RANGE_MAX	‘8’	Ustawienie górnego zakresu grafu
SET_GRAPH_TIME_RANGE	‘9’	Ustawienie zakresu czasowego grafu

Parameter

Pole definiuje parametr, którego dotyczy pakiet. Obsługiwanych jest 14 parametrów opisanych w tabeliTabela 3.5.

Tabela 3.5 Opis pola Parameter pakietu

Nazwa parametru	Wartość znakowa	Opis
NULL_PARAMETER	‘0’	Pusty parametr – parametr nie ma znaczenia
PARAMETER1	‘1’	Parametr 1
PARAMETER2	‘2’	Parametr 2
PARAMETER3	‘3’	Parametr 3
PARAMETER4	‘4’	Parametr 4
PARAMETER5	‘5’	Parametr 5
PARAMETER6	‘6’	Parametr 6
PARAMETER7	‘7’	Parametr 7
PARAMETER8	‘8’	Parametr 8
PARAMETER9	‘9’	Parametr 9
PARAMETER10	‘a’	Parametr 10
GRAPH_PARAMETER1	‘b’	Parametr nr 1 rysowany na grafie
GRAPH_PARAMETER2	‘c’	Parametr nr 2 rysowany na grafie
GRAPH_PARAMETER3	‘d’	Parametr nr 3 rysowany na grafie
GRAPH_PARAMETER4	‘e’	Parametr nr 4 rysowany na grafie

Sign

Pole definiuje znak payloadu pakietu. Obsługiwane są wartości podane w Tabela 3.6.

Tabela 3.6 Opis pola Sign pakietu

Znak	Wartość znakowa	Opis
POSITIVE_SIGN	‘1’	Znak dodatni
NEGATIVE_SIGN	‘2’	Znak ujemny

Length

Pole definiuje długość payloadu pakietu. Obsługiwany jest zakres od 1 do 10 oraz pusty payload jak opisano w Tabela 3.7.

Tabela 3.7 Opis pola Length pakietu

Długość	Wartość znakowa	Opis
NO_PAYLOAD	‘0’	Pakiet nie ma payloadu
1	‘1’	Długość 1
2	‘2’	Długość 2
3	‘3’	Długość 3
4	‘4’	Długość 4
5	‘5’	Długość 5
6	‘6’	Długość 6
7	‘7’	Długość 7
8	‘8’	Długość 8
9	‘9’	Długość 9
10	‘:’	Długość 10

Payload

Zbiór 10 pól definiujących payload pakietu. Dopuszczalne wartości znajdujące się w payloadzie to znaki od ‘0’ do ‘9’ oraz kropka ułamkowa ‘.’ umożliwiająca umieszczenie w payloadzie liczby zmiennoprzecinkowej. Z tego względu możliwy do uzyskania zakres wartości wynosi od 0 do 9999999999 oraz każda liczba zmiennoprzecinkowa składająca się z 10 znaków w tym kropka ułamkowa.

CRC

Zbiór 4 pól definiujących 32-bitową sumę kontrolną CRC pakietu. Każde 8-bitowe pole zawiera wartość liczbową w zakresie od 0 do 255, ale dla celów obliczeniowych wszystkie 4 pola interpretowane są łącznie jako jedna 32-bitowa liczba całkowita reprezentująca sumę kontrolną CRC pakietu.

3.5 Prędkość transmisji

Interfejsy UART w systemie zostały skonfigurowane by transmitować dane z prędkością 115200 Baudów (symboli) na sekundę. Jako że w niniejszym systemie 1 bit koduje 1 symbol, a 8 bitów to 1 bajt, ta prędkość odpowiada bezpośrednio liczbie 115200 bitów na sekundę co daje 14400 bajtów na sekundę.

Każdy pakiet komunikacyjny UART składa się z 20 jednobajtowych pól – każde przesyłane osobną ramką UART - co daje łącznie 20 bajtów. Dodatkowo przesyłanie każdej ramki UART rozpoczyna się od bitu startu oraz bitu stopu. Dodanie tych dwóch niezbędnych bitów do każdej z 20 ramek sprawia, że łącznie każdy pakiet komunikacyjny UART w systemie ma długość 200 bitów.

Biorąc pod uwagę powyższe informacje, można łatwo obliczyć, że skoro system potrafi przesłać 115200 bitów w ciągu sekundy to przesłanie 200-bitowego pakietu zajmuje około 1.736ms. Jest to wartość potrzebna do samego fizycznego przesłania pakietu i nie jest tutaj brany pod uwagę czas potrzebny na jego dalsze przetworzenie. Z tego względu realna prędkość transmisji w systemie jest mniejsza.

4 Opis funkcji systemu

W systemie wyróżnić można 9 różnych funkcji, gdzie każda z nich realizowana jest przy użyciu innego rodzaju pakietu. Każda funkcjonalność uruchamiana jest przy użyciu dedykowanego przycisku w aplikacji testowej bądź też na jednym z ekranów interfejsu graficznego płytki Discovery.

Dla każdej funkcjonalności podany został przykładowy pakiet realizujący daną funkcję w postaci tabeli pól. Wartość w każdym polu jest wartością znakową np. cyfra 1 to znak ‘1’ przesyłany w systemie jako kod ASCII równy 49. Wartość pola ‘-‘ oznacza, że pole nie zostało zainicjalizowane tzn. jego wartość jest równa 0 – ASCII 0. Pola od 17 do 20 zostały pominięte, gdyż zawierają sumę CRC.

Przesył danych

Pakiet zaklasyfikowany jako przesył danych (funkcja ‘1’) to najprostszy w obsłudze pakiet w systemie. Służy wyłącznie do przekazywania danych zapisanych w payloadzie między urządzeniami bądź też między aplikacją testową, a płytką Discovery. Pakiet taki nie spełnia żadnych dodatkowych funkcji.

Tabela 4.1 Pakiet przesyłu danych

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
1	1	1	3	1	5	2	3	4	.	5	6	-	-	-	-

Tabela 4.1 przedstawia pakiet przesyłający do lub z modułu nr 1 wartość parametru nr 3 o długości 5 znaków wynoszącą +234.56.

Inicjalizacja połączenia

Otwarcie połączenia między aplikacją, a modułem urządzenia polega na wysłaniu przy użyciu aplikacji testowej 28 ramek inicjalizacyjnych (funkcja ‘2’). Każda z tych ramek zawiera w swoim payloadzie po jednej nazwie lub wartości parametru inicjującego. Parametry te wczytywane są z pliku przez aplikację testową, a następnie po wysłaniu i odebraniu przez płytkę Discovery są one wyświetlane na stosownych ekranach płytki.

Bez inicjalizacji połączenia do modułu nie ma możliwości wejścia do danego modułu, gdyż przycisk jest nieaktywny. Aktywuje się on dopiero po otrzymaniu 28 ramek inicjalizacyjnych.

Każdy moduł przechowuje w pamięci własne parametry inicjalizacyjne oraz musi być aktywowany osobno.

Tabela 4.2 Pakiet inicjalizacji połączenia

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
1	1	2	0	0	9	P	a	r	a	m	e	t	r	1	-

Tabela 4.2 przedstawia jeden z pakietów inicjalizujących połączenie z modułem nr 1 przesyłający nazwę lub wartość parametru, w tym przypadku nazwę „Parametr1” o długości 9 znaków.

Deinicjalizacja połączenia

Zamknięcie połączenia między aplikacją testową, a modułem płytki polega na wysłaniu 1 ramki deinicjalizacyjnej (funkcja ‘3’). Po odebraniu i przetworzeniu tej ramki płytka przechodzi do ekranu głównego, a moduł i przycisk wejścia do modułu staje się nieaktywny.

Tabela 4.3 Pakiet deinicjalizacji połączenia

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
1	1	3	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 4.3 przedstawia pakiet deinicjalizujący połączenie z modułem nr 1. Pola parametru, znaku i długości są w tym przypadku nieistotne i ustawione jako wartość znakowa ‘0’. Pola payloadu są niezainicjalizowane – równe 0.

Aktywacja parametru

Aktywacja parametru polega na przesłaniu 1 pakietu aktywacyjnego (funkcja ‘4’). Obecny stan parametru widoczny jest na ekranie aplikacji testowej.

Tabela 4.4 Pakiet aktywacji parametru

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
1	1	4	5	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 4.4 przedstawia pakiet aktywujący parametr nr 5 modułu nr 1. Pola znaku i długości są w tym przypadku nieistotne i ustawione jako wartość znakowa ‘0’. Pola payloadu są niezainicjalizowane – równe 0.

Deaktywacja parametru

Aktywacja parametru polega na przesłaniu 1 pakietu deaktywacyjnego (funkcja ‘5’). Obecny stan parametru widoczny jest na ekranie aplikacji testowej.

Tabela 4.5 Pakiet deaktywacji parametru

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
1	1	5	5	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 4.5 przedstawia pakiet deaktywujący parametr nr 5 modułu nr 1. Pola znaku i długości są w tym przypadku nieistotne i ustawione jako wartość znakowa ‘0’. Pola payloadu są niezainicjalizowane – równe 0.

Ustawianie wartości parametru

Ustawienie wartości parametru polega na przesłaniu 1 pakietu (funkcja ‘6’). Wartość przesyłana w payloadzie pakietu jest wartością ustawianą dla parametru. Obecna wartość parametru widoczna jest na ekranie aplikacji testowej.

Tabela 4.6 Pakiet ustawienia wartości parametru

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
1	1	6	5	2	7	1	2	3	.	4	5	6	-	-	-

Tabela 4.6 przedstawia pakiet ustawiający wartość parametru nr 5 modułu nr 1. Przesyłana wartość składa się z 7 znaków i jest ujemna – wynosi -123.456.

Ustawianie zakresu dolnego grafu

Ustawienie dolnego zakresu grafu polega na przesłaniu 1 pakietu (funkcja ‘7’). Wartość przesyłana w payloadzie pakietu jest wartością ustawianą dla dolnego zakresu grafu.

Tabela 4.7 Pakiet ustawienia zakresu dolnego grafu

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
1	1	7	0	2	6	1	5	0	0	0	0	-	-	-	-

Tabela 4.7 przedstawia pakiet ustawiający dolny zakres grafu. Pole parametru jest w tym przypadku nieistotne i ustawione jako wartość znakowa ‘0’. Przesyłana wartość składa się z 6 znaków i jest ujemna – wynosi -150000.

Ustawianie zakresu górnego grafu

Ustawienie górnego zakresu grafu polega na przesłaniu 1 pakietu (funkcja ‘8’). Wartość przesyłana w payloadzie pakietu jest wartością ustawianą dla górnego zakresu grafu.

Tabela 4.8 Pakiet ustawienia zakresu górnego grafu

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
1	1	8	0	1	8	2	5	0	0	0	0	0	0	-	-

Tabela 4.8 przedstawia pakiet ustawiający górny zakres grafu. Pole parametru jest w tym przypadku nieistotne i ustawione jako wartość znakowa ‘0’. Przesyłana wartość składa się z 8 znaków i jest dodatnia – wynosi +25000000.

Ustawianie zakresu czasowego grafu

Ustawienie zakresu czasowego grafu polega na przesłaniu 1 pakietu (funkcja ‘9’). Wartość przesyłana w payloadzie pakietu jest wartością ustawianą dla zakresu czasowego grafu.

Tabela 4.9 Pakiet ustawienia zakresu czasowego grafu

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
1	1	9	0	1	4	3	6	0	0	-	-	-	-	-	-

Tabela 4.9 przedstawia pakiet ustawiający zakres czasowy grafu. Pole parametru jest w tym przypadku nieistotne i ustawione jako wartość znakowa ‘0’. Przesyłana wartość składa się z 4 znaków – wynosi +3600.

5 Oprogramowanie płytki rozwojowej STM32F469-Discovery

Aplikacja uruchomiona na płytce Discovery składa się z 3 głównych elementów:

- Przygotowanie środowiska
- Definicje zadań (ang. tasks) systemu FreeRTOS
- Obsługa modelu MVP oprogramowania TouchGFX
- Definicje ekranów oprogramowania TouchGFX

5.1 Przygotowanie środowiska

Przed właściwym uruchomieniem systemu FreeRTOS oraz inicjalizacją bibliotek TouchGFX potrzebne jest przygotowanie środowiska. W tym celu należy wykonać kilka różnorodnych akcji.

- Inicjalizacja podzespołów płytki Discovery odpowiadających za obsługę ekranu dotykowego
- Inicjalizacja części oprogramowania TouchGFX odpowiadającej za bezpośrednią komunikację z obsługą sprzętową ekranu dotykowego
- Inicjalizacja interfejsów USART tj. USART3 – diagnostycznego - oraz USART6 – komunikacyjnego
- Inicjalizacja bufora Canvas służącego do przechowywania obiektów narysowanych w danym momencie na ekranie dotykowym
- Stworzenie zdefiniowanych wcześniej zadań systemu FreeRTOS wraz z przydzieleniem każdemu z nich priorytetu oraz rozmiaru dostępnej pamięci stosu
- Aktywacja przerwania interfejsu USART6 wraz z definicją rutyny obsługującej to przerwanie
- Inicjalizacja semaforów i kolejek na potrzeby synchronizacji odbioru i nadawania pakietów oraz przesyłania danych między poszczególnymi zadaniami FreeRTOS
- Przedefiniowanie funkcji przetwarzającej wyjście znakowe (fputc) w celu przekierowania wiadomości diagnostycznych na interfejs USART3
- Aktywacja planisty (ang. scheduler) FreeRTOS

5.2 Zadania systemu FreeRTOS

W ramach aplikacji zdefiniowane są 3 zadania, którym system FreeRTOS przydziela czas procesora w zależności od statusu gotowości danego zadania oraz jego priorytety.

Zadanie guiTask

Jest to zadanie domyślnie zdefiniowane w kodzie wygenerowanym przez środowisko TouchGFX. W ramach tego zadania wykonywane są wszelkie czynności związane z obsługą ekranu dotykowego takie jak:

- Rysowanie obiektów
- Odświeżanie ekranu z częstotliwością 60Hz
- Przetwarzanie sygnałów wejścia w postaci dotyku ekranu dotykowego
- Transfer danych od poziomu widoku do poziomu modelu oraz od poziomu modelu do poziomu widoku zgodnie z koncepcją Model-View-Presenter. Dane dostępne na

poziomie widoku (View) są gotowe do wyświetlenia na ekranie, podczas gdy dane dostępne na poziomie modelu (Model) są gotowe do przekazania z lub do innych zadań systemu FreeRTOS.

Zadanie uartRxTask

Zadanie służące do obsługi danych przychodzących do płytki Discovery z aplikacji testowej. Jest ono aktywowane z poziomu rutyny obsługującej przerwanie USART6 każdorazowo po odebraniu 20 ramek UART.

Zadanie to ma na celu zebranie odebranych wcześniej 20 ramek UART w 1 pełny pakiet, a następnie sprawdzenie jego poprawności poprzez porównanie sumy CRC pakietu z nową sumą CRC obliczoną na podstawie reszty pól pakietu.

W przypadku pozytywnej weryfikacji poprawności pakietu jest on przekazywany z użyciem kolejki do zadania guiTask. W przeciwnym razie pakiet jest odrzucany wraz z przesłaniem odpowiedniej wiadomości diagnostycznej na interfejsie USART3.

Zadanie uartTxTask

Zadanie służące do obsługi danych wychodzących z płytki Discovery w kierunku aplikacji testowej. Ma ono najwyższy priorytet i aktywowane jest w przypadku naciśnięcia przez użytkownika stosownego przycisku na ekranie Settings.

Zgodnie z modelem MVP na podstawie danych wynikających ze stanu poszczególnych obiektów na ekranie (View) budowany jest pakiet przekazywany poprzez prezentera (Presenter) aż do modelu (Model) z którego ostatecznie przekazywane są z użyciem kolejki do zadania uartTxTask.

5.3 Obsługa modelu TouchGFX MVP

Obsługa modelu MVP oprogramowania TouchGFX polega na wydzieleniu dla każdego ekranu klasy Presenter i klasy View oraz jednej wspólnej klasy Model. Dzięki takiemu podziałowi możliwe jest swobodne rozdzielenie odpowiedzialności pomiędzy różne klasy.

Tabela 5.1 Opis odpowiedzialności modelu MVP

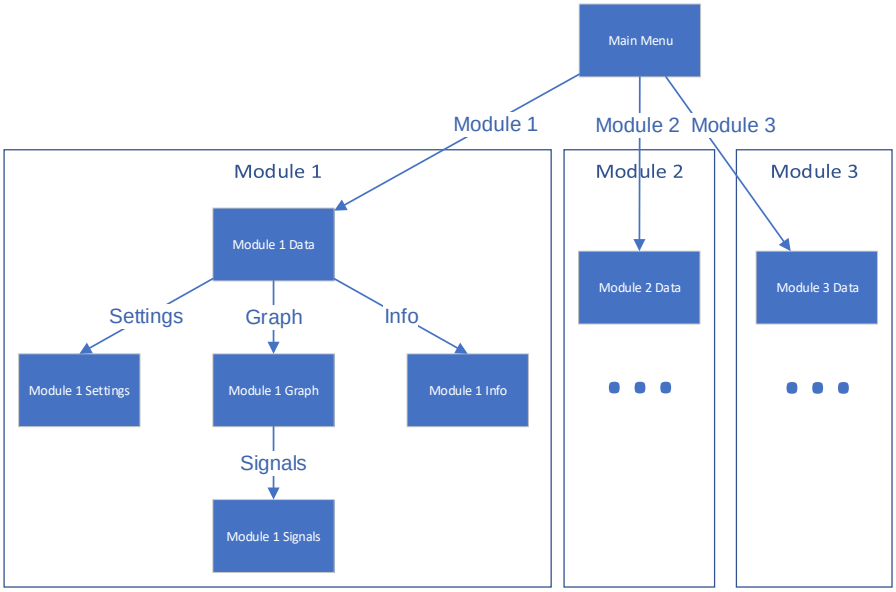
Klasa	Odpowiedzialność
View	Wyświetlanie i zarządzenie elementami widocznymi na ekranie dotykowym
Presenter	Zawiera logikę inicjalizacyjną oraz deinicjalizacyjną ekranu Służy jako łącznik w transferze danych na linii Model-View
Model	Przechowuje informacje interfejsu użytkownika Łączy graficzny interfejs użytkownika z peryferiami płytki Discovery oraz innymi zadaniami systemu FreeRTOS

5.4 Ekrany TouchGFX

Aplikacja obsługuje łącznie 16 ekranów (warstw) składających się na graficzny interfejs użytkownika płytki Discovery. Jeden z ekranów - ekran główny - jest wspólny dla wszystkich 3 modułów, a pozostałe 5 ekranów jest unikalne dla każdego z modułów tj. każdy z nich posiada własną przestrzeń adresową, a co za tym idzie przechowuje inne dane. Każdy z ekranów wyświetla inne dane oraz udostępnia inne funkcjonalności. Ponadto każdy ekran w prawym dolnym rogu prezentuje obecny procent obciążenia procesora. Ekrany tworzą hierarchię

przedstawioną na . Nazwy którymi opisane są strzałki to etykiety przycisków znajdujących się na danym ekranie pozwalające przejść do innego ekranu.

Dodatkowo każdy ekran oprócz głównego posiada przycisk o etykiecie „Back”, który pozwala przejść do ekranu znajdującego się o poziom wyżej w hierarchii.



Rys. 5.1 Diagram hierarchii ekranów

Dodatek A do niniejszej pracy zawiera zestaw rysunków poglądowych prezentujących ekran główny oraz każdy z ekranów modułu 1 zainicjalizowany przykładowymi danymi wraz z krótkimi opisami co użytkownik może zrobić i zobaczyć z poziomu każdego z ekranów.

5.5 Diagnostyka błędów

Komunikacja w systemie opiera się na założeniu, że urządzenia przesyłają między sobą pakiety UART o ściśle określonej długości i zawartości. Każdy pakiet ma długość 20 bajtów, a każde pole pakietu może zawierać jedną ze zdefiniowanych wcześniej dozwolonych wartości. Każde odstępstwo od tych reguł będzie stanowić błąd transmisji i w każdym przypadku błędny pakiet zostanie odrzucony i nie będzie procesowany.

Błędy CRC

Zakłócenia i szumy elektryczne mogą wywołać zmianę wartości pojedynczych bajtów pakietów UART. System jest zabezpieczony przed tego typu błędami dzięki zastosowaniu mechanizmu obliczania i weryfikacji sumy kontrolnej CRC.

Każde urządzenie nadające buduje pakiet UART – 6 bajtów nagłówka i 10 bajtów payloadu po czym oblicza i dołącza do pakietu UART 4-bajtową sumę CRC wyliczoną na podstawie pierwszych 16 bajtów danego pakietu. Następnie każde urządzenie odbierające pakiet UART oblicza sumę CRC pierwszych 16 pól odebranego pakietu i porównuje z sumą CRC odczytaną z odebranego pakietu. W przypadku wystąpienia niezgodności sumy CRC obliczonej z sumą otrzymaną pakiet jest odrzucany i nie jest dalej procesowany. Dodatkowo zapalane są

wszystkie 4 diody płytki Discovery. Diody te można zgasić wciskając przycisk z napisem „Clear LEDs” znajdujący się w prawym górnym rogu ekranu głównego Main Menu.

Z poziomu aplikacji testowej błąd CRC powoduje wyświetlenie ostrzegawczego okna dialogowego.

Niedozwolone wartości pól

Inne możliwe błędy są mniej widoczne dla użytkownika. Z poziomu płytki Discovery zdiagnozować można je wyłącznie poprzez interfejs diagnostyczny USART3. W przypadku gdy którekolwiek pole pakietu UART ma wartość niedozwoloną na wcześniej wymienionym interfejsie diagnostycznym pojawia się wiadomość informująca użytkownika które pole powoduje problem.

Z poziomu aplikacji testowej niedozwolona wartość pola w odebranym pakiecie powoduje wyświetlenie ostrzegawczego okna dialogowego.

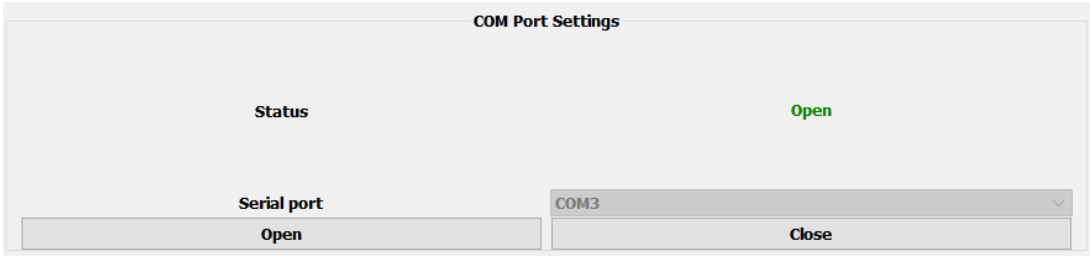
6 Aplikacja testowa PC

Aplikacja testowa uruchomiona na komputerze PC stanowi interfejs graficzny składający się z kilkudziesięciu widgetów pogrupowanych w mniejsze funkcjonalne zespoły. Część widgetów to kontrolki umożliwiające użytkownikowi wprowadzanie danych wysyłanych następnie do płytki Discovery. Pozostałe widgety realizują funkcję podglądu obecnego statusu i wartości poszczególnych parametrów oraz podglądu zawartości pakietów wysyłanych do i odbieranych z płytki Discovery.

6.1 Grupy widgetów

Poszczególne grupy widgetów można traktować jako niezależne funkcjonalnie moduły interfejsu graficznego. Każdy z nich ma własny layout i zakres odpowiedzialności.

Grupa COM Port Settings



Rys. 6.1 Grupa COM Port Settings

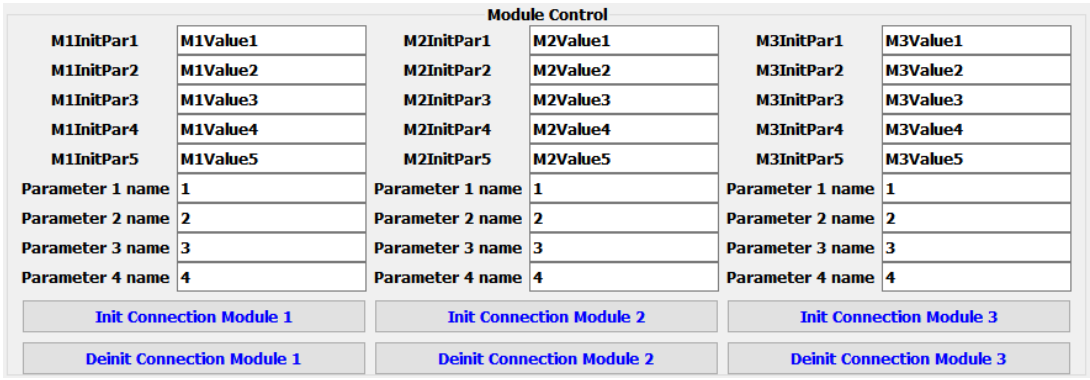
Grupa odpowiadająca za kontrolę portów szeregowych komputera PC w tym:

- Wyświetlanie listy dostępnych portów szeregowych
- Umożliwienie wyboru portu szeregowego
- Otwarcie portu
- Zamknięcie portu
- Wyświetlanie statusu portu

Bezpośrednio po uruchomieniu aplikacji testowej grupa COM Port Settings jest jedyną aktywną grupą. Poprawne otwarcie dowolnego portu szeregowego wymagane jest by uzyskać dostęp do pozostałych grup interfejsu użytkownika.

W przypadku zamknięcia portu szeregowego dostęp do pozostałych grup interfejsu graficznego jest blokowany do czasu poprawnego ponownego otwarcia dowolnego portu szeregowego.

Grupa Module control

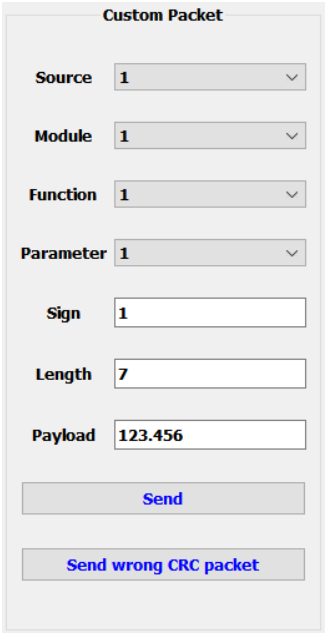


Rys. 6.2 Grupa Module control

Grupa odpowiadająca za funkcjonalności dotyczące inicjalizacji i deinicjalizacji połączenia z modułami płytki Discovery w tym:

- Wczytywanie nazw i wartości parametrów inicjalizacyjnych z pliku tekstowego
- Wyświetlanie nazw parametrów inicjalizacyjnych oraz ich wartości dla każdego z modułów
- Inicjalizacja modułu tj. zarządzanie wysyłaniem oraz zawartością 28 ramek inicjalizacyjnych przekazywanych do modułu płytki Discovery
- Deinicjalizacja modułu tj. zarządzanie wysyłaniem oraz zawartością ramki deinicjalizacyjnej przekazywanej do modułu płytki Discovery

Grupa Custom packet



Rys. 6.3 Grupa Custom packet

Grupa udostępniająca użytkownikowi możliwość zbudowania i wysłania pojedynczego pakietu. Większość pól grupy nagłówkowej wybierana jest z listy rozwijanej. Pola długości i

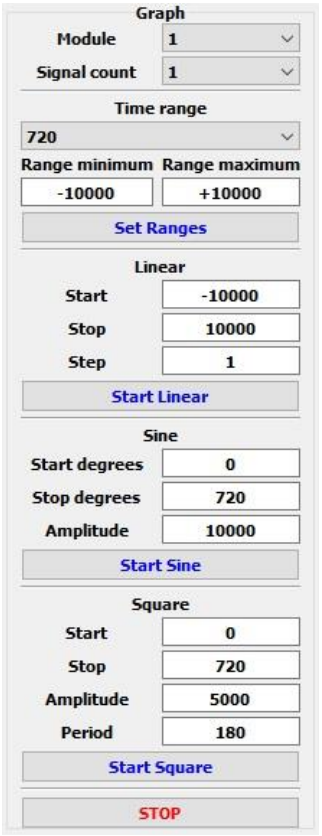
znaku są ustawiane przez aplikację testową automatycznie na podstawie analizy wartości wpisanej do pola payload.

Pole payload umożliwia wpisanie maksymalnie 10 znaków, które program interpretuje jako liczbę i umieszcza w payloadzie pakietu.

Suma CRC jest obliczana i umieszczana w pakiecie po wciśnięciu przycisku Send.

W obrębie grupy Custom packet istnieje możliwość celowego wysłania pakietu z błędną wartością CRC w celach diagnostycznych. Większość pól takiego pakietu wypełniona jest wartościami zerowymi. Przesłanie takiego pakietu powinno spowodować zaświecenie wszystkich 4 LED sygnalizacyjnych na płytce Discovery co oznacza odebranie ramki o błędnej sumie CRC. W celu zgaszenia diód należy wcisnąć opisany wcześniej przycisk Clear LEDs znajdujący się na ekranie głównym interfejsu graficznego płytki Discovery.

Grupa Graph



Rys. 6.4 Grupa Graph

Grupa Graph składa się z widgetów umożliwiających sterowanie i testowanie funkcjonalności grafu. Dostępne są następujące funkcje:

- Wybór modułu, do którego pakiety grafu mają być wysyłane
- Wybór ilości sygnałów, które użytkownik jednocześnie chce rysować na grafie, możliwy zakres to od 1 do 4.
- Możliwość wyboru zakresu czasowego grafu z listy rozwijanej. Możliwe wartości to wielokrotności liczby 360 w zakresie od 360 do 3600
- Możliwość wyboru dolnego oraz górnego zakresu danych

- Możliwość zdalnego ustawienia w płytce Discovery zakresów grafu przy użyciu przycisku Set Ranges
- Możliwość wysłania zestawu pakietów rysujących na ekranie grafu wykres liniowy z możliwością ustawienia wartości startowej, stopu oraz kroku
- Możliwość wysłania zestawu pakietów rysujących na ekranie grafu wykres sinusoidalny z możliwością ustawienia wartości startowej i stopu w postaci liczby stopni. Możliwe jest również ustawienie amplitudy obliczanej i przesyłanej sinusoidy. W przypadku rysowania więcej niż jednego przebiegu sinusoidalnego każdy sygnał jest przesunięty w fazie o 120 stopni.
- Możliwość wysłania zestawu pakietów rysujących na ekranie grafu do 2 wykresów przebiegu prostokątnego z możliwością ustawienia wartości startowej i stopu. Możliwe jest również ustawienie amplitudy oraz okresu obliczanego sygnału. W przypadku rysowania dwóch przebiegów prostokątnych jednocześnie, są one przesunięte względem siebie o pół okresu.
- Możliwość zatrzymania wysyłania pakietów grafu w dowolnym momencie poprzez naciśnięcie przycisku Stop

Wszystkie pola wejściowe interfejsu użytkownika przyjmujące wartości bezpośrednio do użytkownika są zabezpieczone walidatorami uniemożliwiającymi np. wpisanie litery do pola oczekującego wyłącznie wartości liczbowych.

Grupa Packet display

Packet display

	Source	Module	Function	Parameter	Sign	Length	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	CRC1	CRC2	CRC3	CRC4
23	1	1	2	0	1	6	M	1	P	a	r	9	e	5	r	5	237	241	36	174
24	1	1	2	0	1	7	M	1	P	a	r	1	0	5	r	5	211	43	207	2

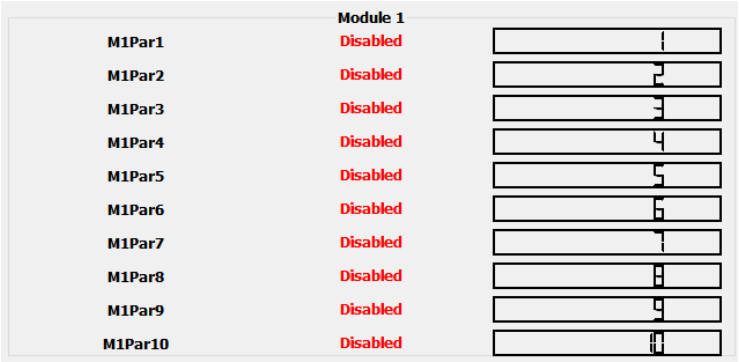
Rys. 6.5 Grupa Packet display

Grupa składająca się z widoku tabeli (ang. table view) oraz przycisku czyszczącego zawartość tabeli na żądanie. Tabela ma 20 opisanych kolumn, po jednym dla każdego pola pakietu.

Każdorazowe przesłanie lub odebranie pakietu przez aplikacje testową powoduje dodanie do tabeli wiersza zawierającego zawartość każdego pola pakietu.

Każdy wiersz tabeli opisujący pakiet wysłany do płytki Discovery ma białe tło, podczas gdy dla rozróżnienia wiersze opisujące pakiety odebrane z płytki Discovery mają tło zielone.

Grupy Module 1/2/3



Rys. 6.6 Grupy Module 1/2/3

W dolnej części ekranu aplikacji testowej znajdują się 3 grupy widgetów - Module 1, Module 2 oraz Module 3.

Każda z grup zorganizowana jest w formie 3-kolumnowej tabeli. Każda kolumna reprezentuje odpowiednio:

- Nazwy poszczególnych parametrów zainicjalizowane z pliku tekstowego
- Stan parametru – włączony lub wyłączony
- Wartość parametru

Każda z tabel umożliwia wygodny podgląd obecnego stanu, wartości parametrów oraz ich zmian w wyniku przetwarzania pakietów konfiguracyjnych odbieranych z płytki Discovery.

7 Pseudokod aplikacji testowej sterownika

Aplikacja testowa PC stworzona w ramach niniejszej pracy jest niezbędna do efektywnego testowania każdej funkcjonalności aplikacji płytki Discovery. Umożliwia ona odbiór pakietów odebranych poprzez interfejs UART, a następnie intuicyjny odczyt tych danych wyświetlonych w postaci tabeli na graficznym interfejsie użytkownika.

Z drugiej zaś strony aplikacja testowa umożliwia łatwe przesyłanie danych do płytki pozwalając na uruchomienie każdej funkcjonalności poprzez wybranie odpowiednich wartości z list rozwijanych lub bezpośrednie wpisanie ich w pola tekstowe, a następnie wciśnięcie dedykowanego przycisku na graficznym interfejsie użytkownika. W tym przypadku - podobnie jak dla danych odebranych – kluczowa jest możliwość podglądu na żywo danych wysyłanych do płytki Discovery. Dane te również są dostępne do podglądu w wspomnianej już wcześniej tabeli.

Taki sposób testowania aplikacji płytki Discovery jest nieporównywalnie łatwiejszy i wygodniejszy niż bezpośrednia implementacja i testowanie komunikacji interfejsem UART między dwoma mikrokontrolerami w związku z czym stworzenie aplikacji testowej było kluczowe dla projektu i w zasadzie nieuniknione.

Należy jednak wziąć pod uwagę, że docelowy system ma składać się z płytki Discovery komunikującej się bezpośrednio ze sterownikiem przekształtnika energoelektrycznego, który w praktyce jest mniej lub bardziej zaawansowanym mikrokontrolerem. Z tego względu pomocnym może się okazać zapisanie kluczowych funkcjonalności aplikacji testowej w postaci pseudokodu stanowiącego szablon ułatwiający napisanie właściwego kodu dla docelowego mikrokontrolera.

7.1 Pakiet UART i jego struktura danych

Pakiet UART przechowywany jest w pamięci w postaci 20 kolejnych bajtów. Poniższy kod przedstawia implementację wspomnianego pakietu jako strukturę w języku C gdzie każdy bajt ma odpowiednią nazwę ułatwiającą pracę z pakietem – jego zapis oraz odczyt. Ta forma pakietu stosowana jest przy realizacji wszystkich funkcjonalności systemu.

Kod w języku C:

```
struct UartPacket {
    uint8_t Source;
      uint8_t Module;
      uint8_t Function;
      uint8_t Parameter;
      uint8_t Sign;
      uint8_t Length;
      uint8_t Payload[10];
    uint8_t Crc[4];
};
```

7.2 Pseudokod poszczególnych funkcjonalności systemu

Nadawanie danych

Mikrokontroler przesyła dane do płytki Discovery np. w celu ich wizualizacji z użyciem grafu zgodnie z poniższym schematem. Założono tutaj, że chcemy wysłać pakiet przedstawiający parametr ’b’ do modułu nr 1 urządzenia nr 1.

Pseudokod w języku C:

```
  /*Argument value to liczba zmiennoprzecinkowa o długości maksymalnie
10 znaków*/

  void SendData(double value)
  {
       /*Inicjalizacja struktury przechowującej pola pakietu zerami*/
       struct UartPacket uartPacket = {0};

       /*Przypisanie odpowiednich wartości znakowych kolejnym bajtom
     pakietu*/
     uartPacket.Source = ‘1’;
     uartPacket.Module = ‘1’;
     uartPacket.Function = ‘1’;
     uartPacket.Parameter = ‘b’;

       /*Sprawdzenie znaku przesyłanej liczby i przypisanie do pola
     pakietu odpowiedniej wartości*/
     if(value >= 0)
     {
          uartPacket.Sign = ‘1’
     }
     else
     {
          uartPacket.Sign = ‘2’
     }

       /*Tablica znakowa przechowująca liczbę w postaci łańcucha
     znaków*/
       char valueAsString[10];

       /*Konwersja liczby na postać znakową*/
       ConvertNumericToString(value, valueAsString);

       /*Przypisanie długości łańcucha do zmiennej*/
     int stringLength = length(valueAsString);

       /*Konwersja długości łańcucha do postaci znakowej i
     przypisanie do odpowiedniego bajtu tablicy pakietu*/
     uartPacket.Length = ToCharacter(stringLength);

       /*Wpisanie znaków liczby w postaci łańcucha znaków do kolejnych
     odpowiednich pól tablicy pakietu*/
     for(int i=0; i < stringLength; i++)
     {
          uartPacket.Payload[i] = valueAsString[i];
     }
```

```
    /*Obliczenie sumy kontrolnej CRC pakietu*/
    crc32 = CalculateCrc32(uartPacket);

      /*Zapisanie obliczonej sumy CRC w czterech ostatnich bajtach
    pakietu*/
    AppendCrc32ToPacket(uartPacket, crc32);

    /*Przesłanie pakietu poprzez UART*/
    SendPacketViaUart(uartPacket);
}
```

Odbiór danych

Mikrokontroler odbiera dane z płytki Discovery za pośrednictwem modułu UART. Następnie otrzymany pakiet jest walidowany tzn. sprawdzane jest czy suma CRC obliczona na podstawie zawartości pól pakietu jest zgodna z sumą CRC otrzymaną w pakiecie. Na tej podstawie podejmowana jest decyzja czy pakiet jest poprawny i powinien być dalej przetwarzany.

Pseudokod w języku C:

```
struct UartPacket PacketReceived()
{
      /*Inicjalizacja struktury przechowującej pola pakietu zerami*/
      struct UartPacket uartPacket = {0};

      /*Skopiowanie 20 bajtów odebranych przez moduł UART do
    struktury reprezentującej pakiet*/
      memcpy(uartPacket, RECEIVED_PACKET, 20);

      /*Obliczenie 32-bitowej sumy kontrolnej CRC pakietu*/
      int crc32 = CalculateCrc32(uartPacket);

      /*Sprawdzenie zgodności obliczonej sumy CRC z sumą odebraną w
    pakiecie*/
      if(CheckCrc(uartPacket, crc32))
      {
         /*Pakiet poprawny i gotowy do dalszego procesowania*/
         Return uartPacket;
      }
      else
      {
         /*Pakiet jest niepoprawny i zostaje odrzucony*/
      }
}
```

Inicjalizacja połączenia

Mikrokontroler inicjalizuje połączenie poprzez przesłanie do płytki Discovery 28 pakietów inicjalizacyjnych zgodnie z poniższym schematem. Założono tutaj, że chcemy zainicjalizować moduł nr 1 urządzenia nr 1.

Pseudokod w języku C:

```
  char initParameters[28][10] /*Bufor zawierający dane dla 28 pakietów
inicjalizacyjnych, do 10 znaków każdy*/

  void InitModule(initParameters)
  {
       /*Inicjalizacja struktury przechowującej pola pakietu zerami*/
     struct UartPacket uartPacket = {0};
       /*Przypisanie odpowiednich wartości znakowych kolejnym bajtom
     pakietu*/
     uartPacket.Source = '1';
     uartPacket.Module = '1';
     uartPacket.Function = '2';
     uartPacket.Parameter = '0';
     uartPacket.Sign = '1';

     /*Znak ':' oznacza długość 10*/
     uartPacket.Length = ':'

     /*Przetwarzanie wszystkich 28 wartości inicjalizacyjnych*/
     for(int i=0; i < 28; i++)
     {
            /*Kopiowanie parametru inicjalizacyjnego do pól Payload
          pakietu*/
          memcpy(uartPacket.Payload, initParameters[i], 10);

          /*Obliczanie sumy CRC pakietu*/
          int crc32 = CalculateCrc32(uartPacket);

          /*Zapisanie sumy CRC w 4 ostatnich bajtach pakietu*/
          AppendCrc32ToPacket(uartPacket, crc32);

          /*Przesłanie pakietu poprzez UART*/
          SendPacketViaUart(uartPacket);
     }
  }
```

Deinicjalizacja połączenia

Mikrokontroler deinicjalizuje połączenie poprzez przesłanie do płytki Discovery 1 pakietu deinicjalizacyjnego zgodnie z poniższym schematem. Założono tutaj, że chcemy zdeinicjalizować moduł nr 1 urządzenia nr 1.

Pseudokod w języku C:

```
void DeinitModule ()
{
      /*Inicjalizacja struktury przechowującej pola pakietu zerami*/
   struct UartPacket uartPacket = {0};

      /*Przypisanie odpowiednich wartości znakowych kolejnym bajtom
   pakietu*/
   uartPacket.Source = '1';
   uartPacket.Module = '1';
   uartPacket.Function = '3';
   uartPacket.Parameter = '0';
   uartPacket.Sign = '1';
   uartPacket.Length = '0';

   /*Obliczanie sumy CRC pakietu*/
   int crc32 = CalculateCrc32(uartPacket);

   /*Zapisanie sumy CRC w 4 ostatnich bajtach pakietu*/
   AppendCrc32ToPacket(uartPacket, crc32);

   /*Przesłanie pakietu poprzez UART*/
   SendPacketViaUart(uartPacket);
}
```

Aktywacja parametru

Mikrokontroler aktywuje parametr, gdy odbierze od płytki Discovery 1 pakiet aktywacyjny zgodnie z poniższym schematem. Założono tutaj, że poprzez moduł UART odebrany został pakiet aktywujący parametr nr 1 modułu nr 1 urządzenia nr 1.

Pseudokod w języku C:

```
void ActivateParameter ()
{
      /*Inicjalizacja struktury przechowującej pola pakietu danymi
   z odebranego pakietu*/
   struct UartPacket uartPacket = PacketReceived();

      /*Aktywacja parametru nr 1, którego stan przechowywany jest w
   zmiennej w pamięci*/
   if(uartPacket.Module == '1')
   {
         if(uartPacket.Function == '4')
         {
               if(uartPacket.Parameter == '1'
               {
                     parameter1Enabled = true;
               }
         }
   }
}
```

Deaktywacja parametru

Mikrokontroler deaktywuje parametr, gdy odbierze od płytki Discovery 1 pakiet deaktywacyjny zgodnie z poniższym schematem. Założono tutaj, że odebrany zostanie pakiet deaktywujący parametr nr 1 modułu nr 1 urządzenia nr 1.

Pseudokod w języku C:

```
void DeactivateParameter ()
{
      /*Inicjalizacja struktury przechowującej pola pakietu danymi
   z odebranego pakietu*/
   struct UartPacket uartPacket = PacketReceived();

      /*Deaktywacja parametru nr 1, którego stan przechowywany jest
   w zmiennej w pamięci*/
   if(uartPacket.Module == '1')
   {
         if(uartPacket.Function == '5')
         {
               If(uartPacket.Parameter == '1'
               {
                     parameter1Enabled = true;
               }
         }
   }
}
```

Ustawianie wartości parametru

Mikrokontroler ustawia wartość parametru, gdy odbierze od płytki Discovery 1 pakiet ustawiający, zgodnie z poniższym schematem. Założono tutaj, że odebrany zostanie pakiet ustawiający wartość parametru nr 1 modułu nr 1 urządzenia nr 1.

Pseudokod w języku C:

```
  /*Argument value to liczba zmiennoprzecinkowa o długości maksymalnie
10 znaków*/
  void SetParameterValue (double value)
  {
       /*Inicjalizacja struktury przechowującej pola pakietu danymi
     z odebranego pakietu*/
     struct UartPacket uartPacket = PacketReceived();

     if(uartPacket.Module == '1')
     {
          if(uartPacket.Function == '6')
          {
               if(uartPacket.Parameter == '1')
               {
                     /*Ustawienie wartości parametru nr 1 na value.
                    Wartość ta przechowywana jest w zmiennej w
                    pamięci*/
                    parameter1Value = value;
               }
          }
     }
  }
```

Ustawianie zakresu dolnego grafu

Mikrokontroler zdalnie ustawia dolny zakres grafu rysowanego na ekranie Graph płytki Discovery poprzez przesłanie 1 ramki ustawiającej zgodnie z poniższym schematem. Założono tutaj, że chcemy ustawić zakres dolny grafu modułu nr 1 urządzenia nr 1.

Pseudokod w języku C:

```
  /*Argument value to liczba zmiennoprzecinkowa o długości maksymalnie
10 znaków która ma stanowić dolny limit grafu*/
  void SetGraphRangeMinimum (double value)
  {
       /*Inicjalizacja struktury przechowującej pola pakietu zerami*/
       struct UartPacket uartPacket = {0};

       /*Przypisanie odpowiednich wartości znakowych kolejnym bajtom
     pakietu*/
     uartPacket.Source = '1';
     uartPacket.Module = '1';
     uartPacket.Function = '7';
     uartPacket.Parameter = '0';

       /*Sprawdzenie znaku przesyłanej liczby i przypisanie do pola
     pakietu odpowiedniej wartości*/
     if(value >= 0)
     {
          uartPacket.Sign = '1'
     }
     else
     {
          uartPacket.Sign = '2'
     }

       /*Tablica znakowa przechowująca liczbę w postaci łańcucha
     znaków*/
       char valueAsString[10];

       /*Konwersja liczby na postać znakową*/
       ConvertNumericToString(value, valueAsString);

       /*Przypisanie długości łańcucha do zmiennej*/
     int stringLength = length(valueAsString);

       /*Konwersja długości łańcucha do postaci znakowej i
     przypisanie do odpowiedniego bajtu tablicy pakietu*/
     uartPacket.Length = ToCharacter(stringLength);

       /*Wpisanie znaków liczby w postaci łańcucha znaków do kolejnych
     odpowiednich pól tablicy pakietu*/
     for(int i=0; i < stringLength; i++)
     {
          uartPacket.Payload[i] = valueAsString[i];
     }

     /*Obliczenie sumy kontrolnej CRC pakietu*/
```

```
    crc32 = CalculateCrc32(uartPacket);

      /*Zapisanie obliczonej sumy CRC w czterech ostatnich bajtach
    pakietu*/
    AppendCrc32ToPacket(uartPacket, crc32);

    /*Przesłanie pakietu poprzez UART*/
    SendPacketViaUart(uartPacket);
}
```

Ustawianie zakresu górnego grafu

Mikrokontroler zdalnie ustawia górny zakres grafu rysowanego na ekranie Graph płytki Discovery poprzez przesłanie 1 ramki ustawiającej zgodnie z poniższym schematem. Założono tutaj, że chcemy ustawić zakres górny grafu modułu nr 1 urządzenia nr 1.

Pseudokod w języku C:

```
/*Argument value to liczba zmiennoprzecinkowa o długości maksymalnie
10 znaków która ma stanowić górny limit grafu*/

void SetGraphRangeMaximum (double value)
{
      /*Inicjalizacja struktury przechowującej pola pakietu zerami*/
      struct UartPacket uartPacket = {0};

      /*Przypisanie odpowiednich wartości znakowych kolejnym bajtom
    pakietu*/
    uartPacket.Source = '1';
    uartPacket.Module = '1';
    uartPacket.Function = '8';
    uartPacket.Parameter = '0';

      /*Sprawdzenie znaku przesyłanej liczby i przypisanie do pola
    pakietu odpowiedniej wartości*/
    if(value >= 0)
    {
         uartPacket.Sign = '1'
    }
    else
    {
         uartPacket.Sign = '2'
    }

      /*Tablica znakowa przechowująca liczbę w postaci łańcucha
    znaków*/
      char valueAsString[10];

      /*Konwersja liczby na postać znakową*/
      ConvertNumericToString(value, valueAsString);

      /*Przypisanie długości łańcucha do zmiennej*/
    int stringLength = length(valueAsString);
```

```
    /*Konwersja długości łańcucha do postaci znakowej i
  przypisanie do odpowiedniego bajtu tablicy pakietu*/
  uartPacket.Length = ToCharacter(stringLength);

    /*Wpisanie znaków liczby w postaci łańcucha znaków do kolejnych
  odpowiednich pól tablicy pakietu*/
  for(int i=0; i < stringLength; i++)
  {
       uartPacket.Payload[i] = valueAsString[i];
  }

  /*Obliczenie sumy kontrolnej CRC pakietu*/
  crc32 = CalculateCrc32(uartPacket);

    /*Zapisanie obliczonej sumy CRC w czterech ostatnich bajtach
  pakietu*/
  AppendCrc32ToPacket(uartPacket, crc32);

  /*Przesłanie pakietu poprzez UART*/
  SendPacketViaUart(uartPacket);
}
```

Ustawianie zakresu czasowego grafu

Mikrokontroler zdalnie ustawia zakres czasowy grafu rysowanego na ekranie Graph płytki Discovery poprzez przesłanie 1 ramki ustawiającej zgodnie z poniższym schematem. Założono tutaj, że chcemy ustawić zakres czasowy grafu modułu nr 1 urządzenia nr 1.

Pseudokod w języku C:

```
/*Argument value to liczba całkowita w zakresie od 360 do 3600
stanowiąca wielokrotność liczby 360 mająca stanowić zakres czasowy
grafu*/

void SetGraphTimeRange(int value)
{
    /*Inicjalizacja struktury przechowującej pola pakietu zerami*/
    struct UartPacket uartPacket = {0};

    /*Przypisanie odpowiednich wartości znakowych kolejnym bajtom
  pakietu*/
  uartPacket.Source = '1';
  uartPacket.Module = '1';
  uartPacket.Function = '9';
  uartPacket.Parameter = '0';
  uartPacket.Sign = '1'

    /*Tablica znakowa przechowująca liczbę w postaci łańcucha
  znaków*/
    char valueAsString[10];

    /*Konwersja liczby na postać znakową*/
    ConvertNumericToString(value, valueAsString);
```

```
  /*Przypisanie długości łańcucha do zmiennej*/
int stringLength = length(valueAsString);

  /*Konwersja długości łańcucha do postaci znakowej i
przypisanie do odpowiedniego bajtu tablicy pakietu*/
uartPacket.Length = ToCharacter(stringLength);

  /*Wpisanie znaków liczby w postaci łańcucha znaków do kolejnych
odpowiednich pól tablicy pakietu*/
for(int i=0; i < stringLength; i++)
{
     uartPacket.Payload[i] = valueAsString[i];
}

/*Obliczenie sumy kontrolnej CRC pakietu*/
crc32 = CalculateCrc32(uartPacket);

  /*Zapisanie obliczonej sumy CRC w czterech ostatnich bajtach
pakietu*/
AppendCrc32ToPacket(uartPacket, crc32);

/*Przesłanie pakietu poprzez UART*/
SendPacketViaUart(uartPacket);}
```

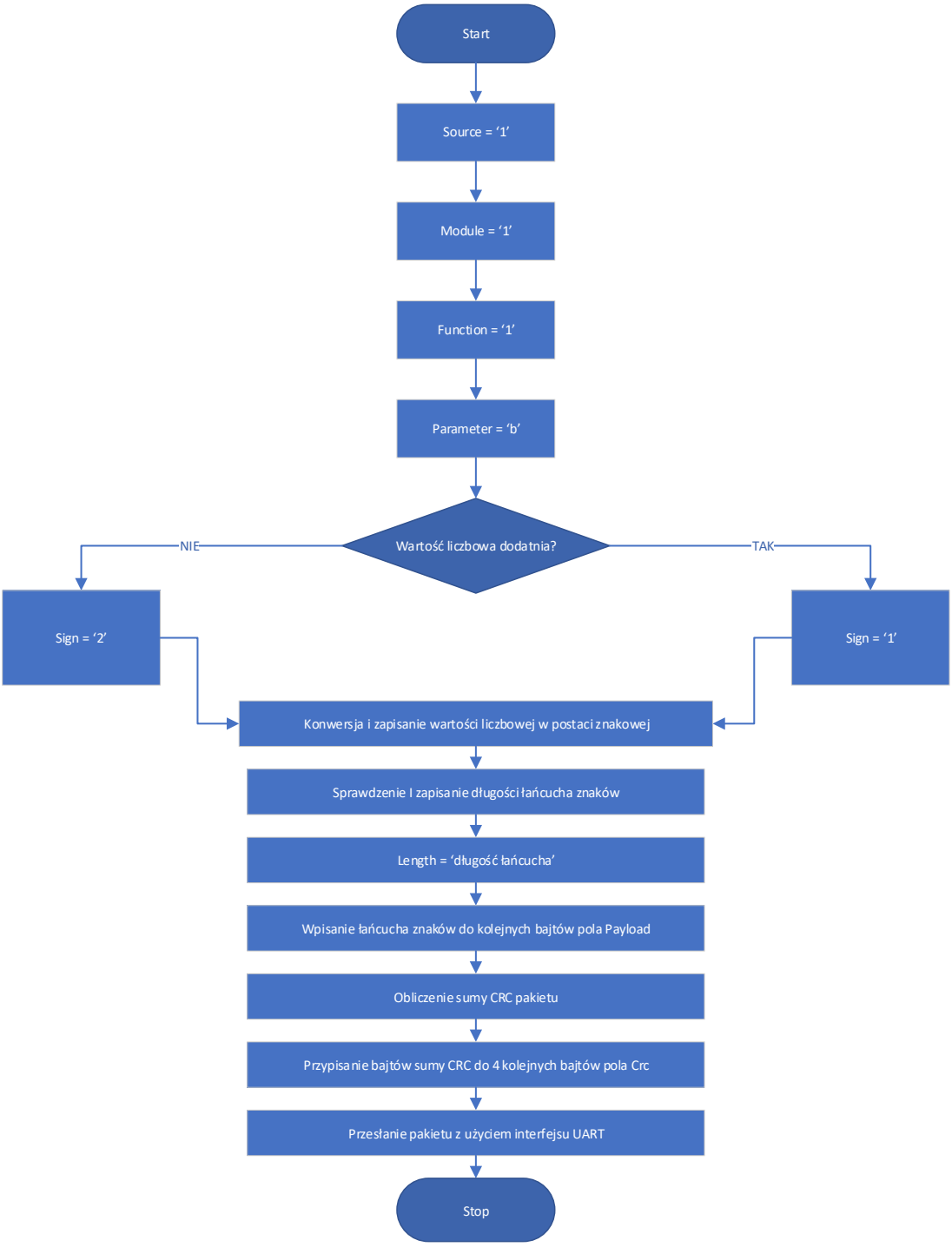
7.3 Schematy blokowe funkcjonalności systemu

Niniejszy podrozdział prezentuje schematy blokowe funkcjonalności realizowanych w systemie.

Nadawanie danych

Warunki początkowe:

- Określona jest liczba zmiennoprzecinkowa o długości maksymalnie 10 znaków

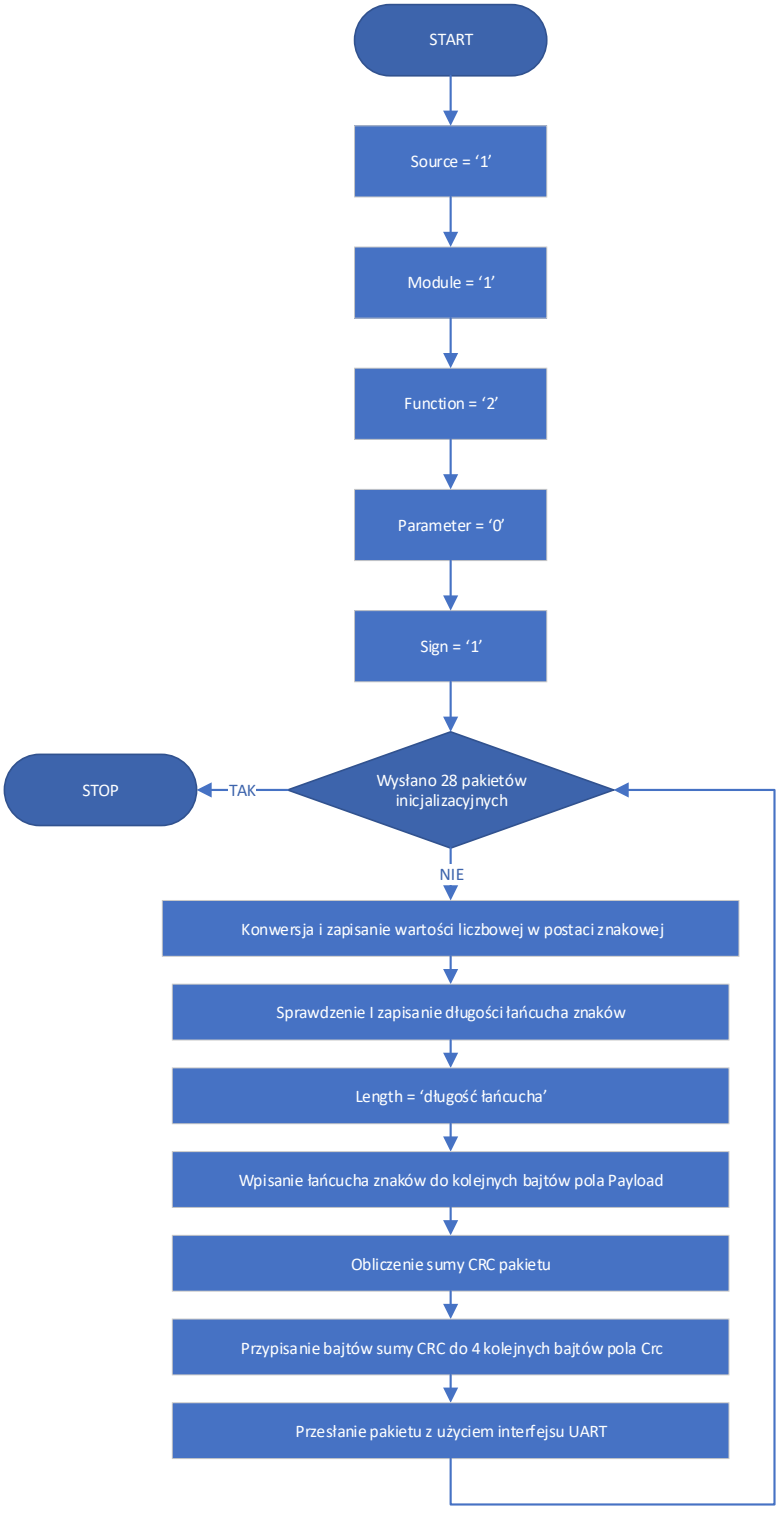


Rys. 7.1 Schemat blokowy funkcjonalności Nadawanie danych

Inicjalizacja połączenia

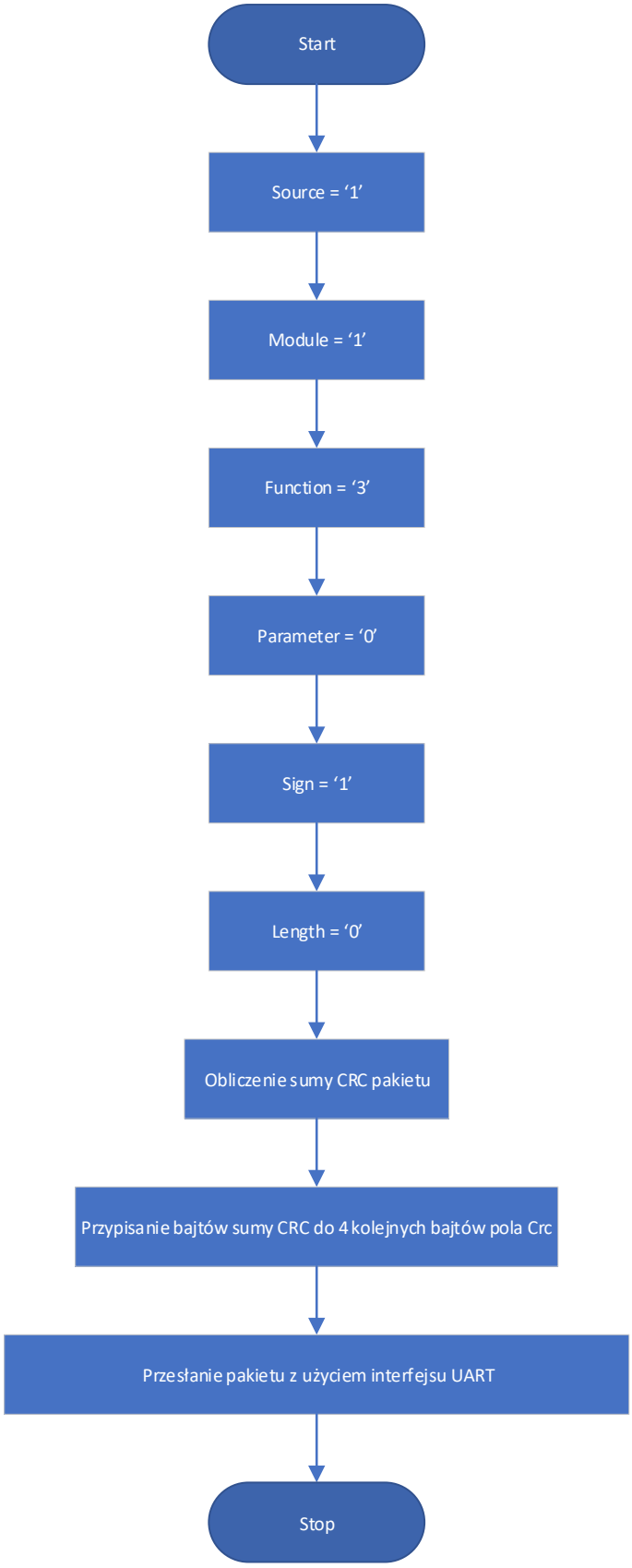
Warunki początkowe:

- Nazwy i wartości parametrów inicjalizacyjnych wczytane z dowolnego źródła i obecne w pamięci



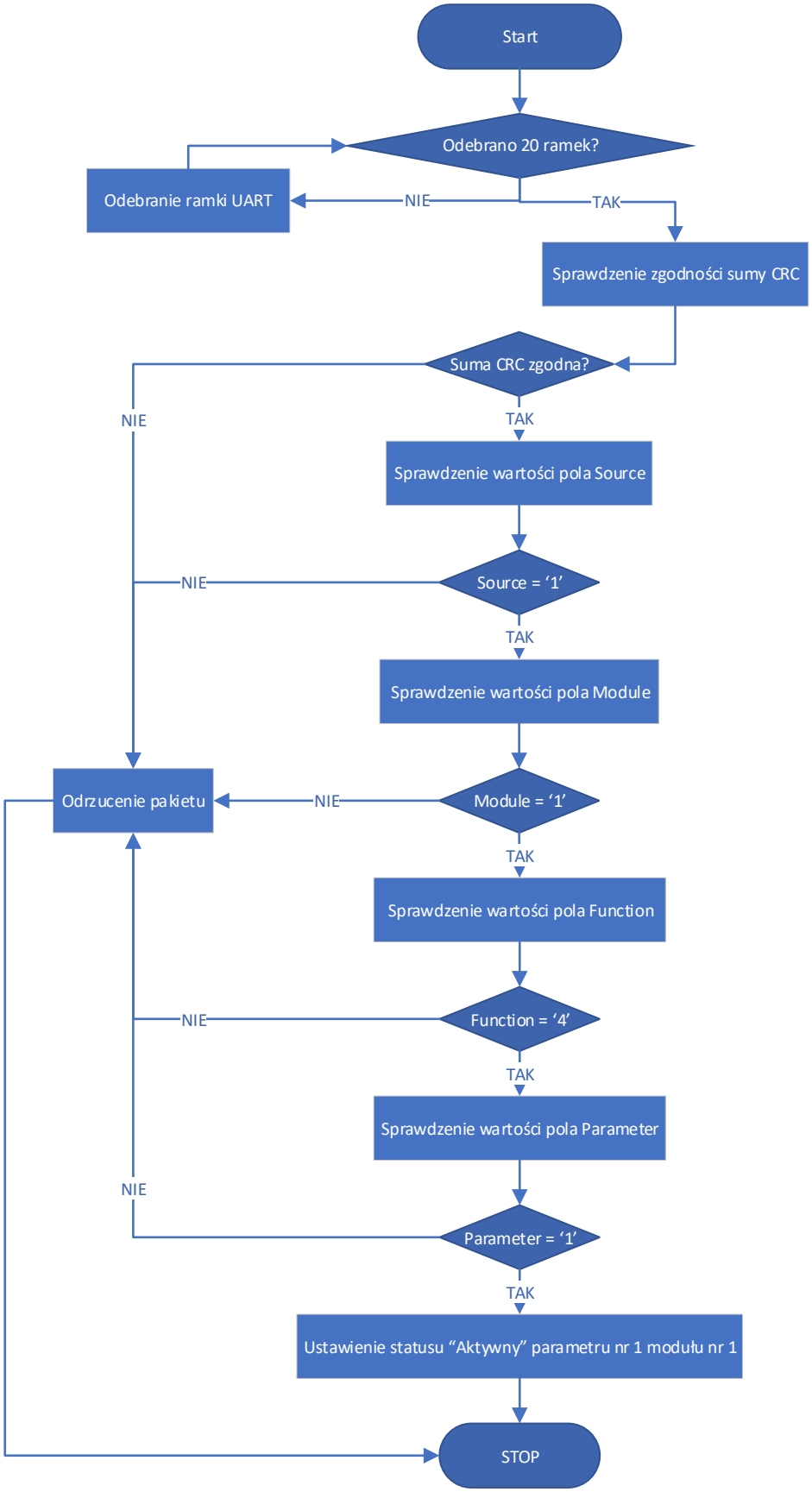
Rys. 7.2 Schemat blokowy funkcjonalności inicjalizacja połączenia

Deinicjalizacja połączenia



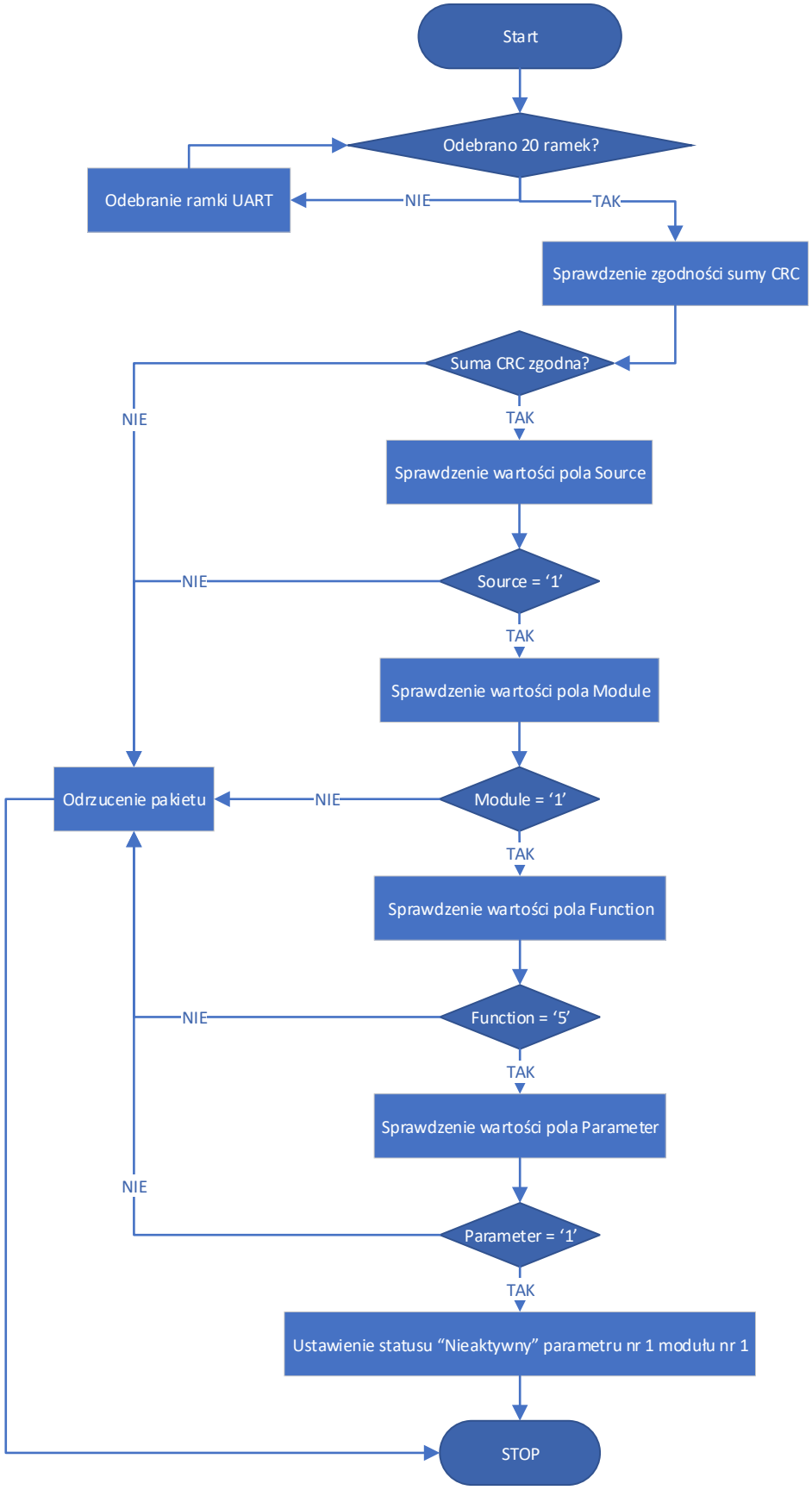
Rys. 7.3 Schemat blokowy funkcjonalności Deinicjalizacja połączenia

Aktywacja parametru



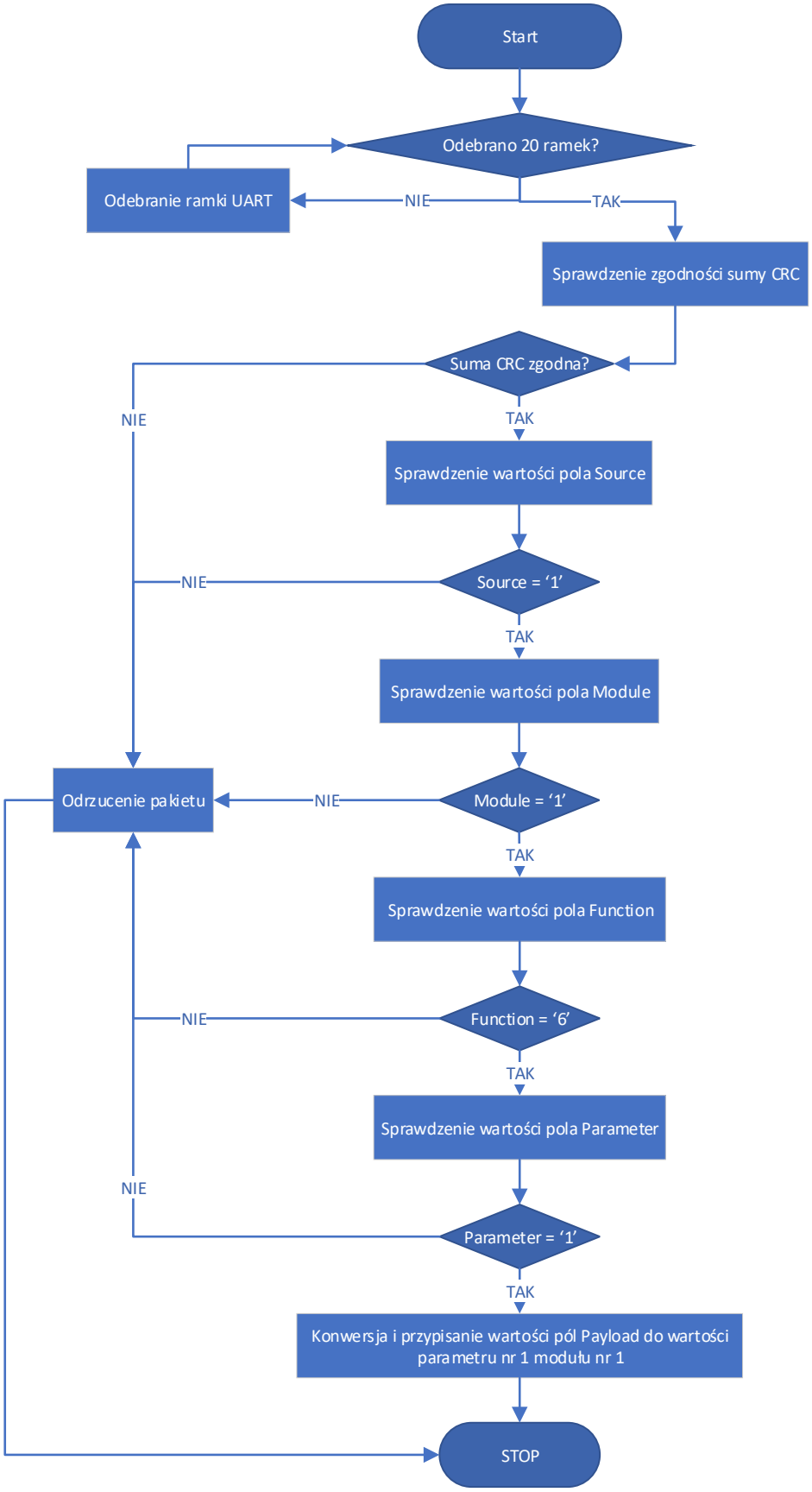
Rys. 7.4 Schemat blokowy funkcjonalności Aktywacja parametru

Deaktywacja parametru



Rys. 7.5 Schemat blokowy funkcjonalności Deaktywacja parametru

Ustawianie wartości parametru

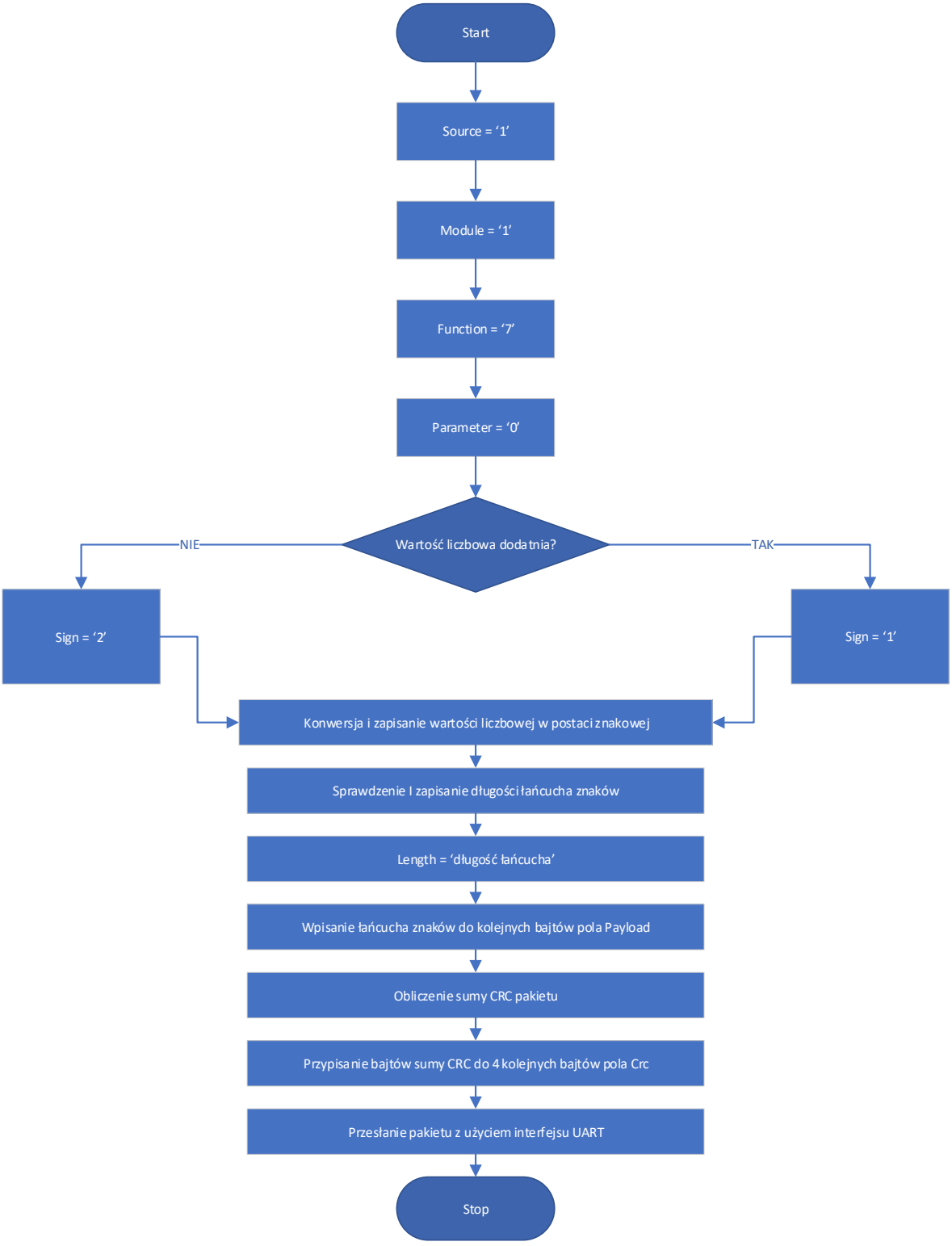


Rys. 7.6 Schemat blokowy funkcjonalności Ustawianie wartości parametru

Ustawianie dolnego zakresu grafu

Warunki początkowe:

- Określona jest liczba całkowita składająca się z maksymalnie 10 znaków mająca stanowić wartość dolnego zakresu grafu

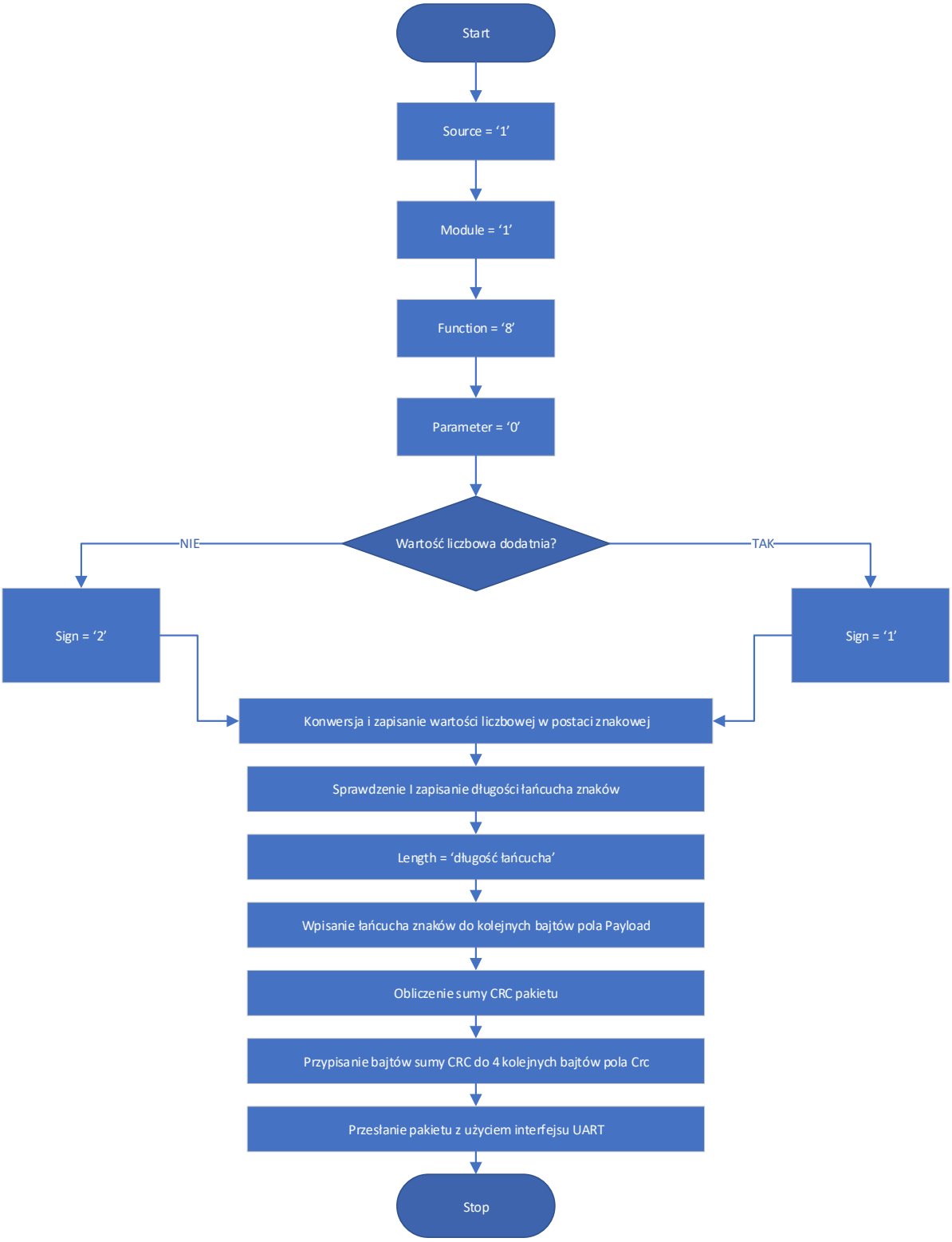


Rys. 7.7 Schemat blokowy funkcjonalności Ustawianie dolnego zakresu grafu

Ustawianie górnego zakresu grafu

Warunki początkowe:

- Określona jest liczba całkowita składająca się z maksymalnie 10 znaków mająca stanowić wartość górnego zakresu grafu

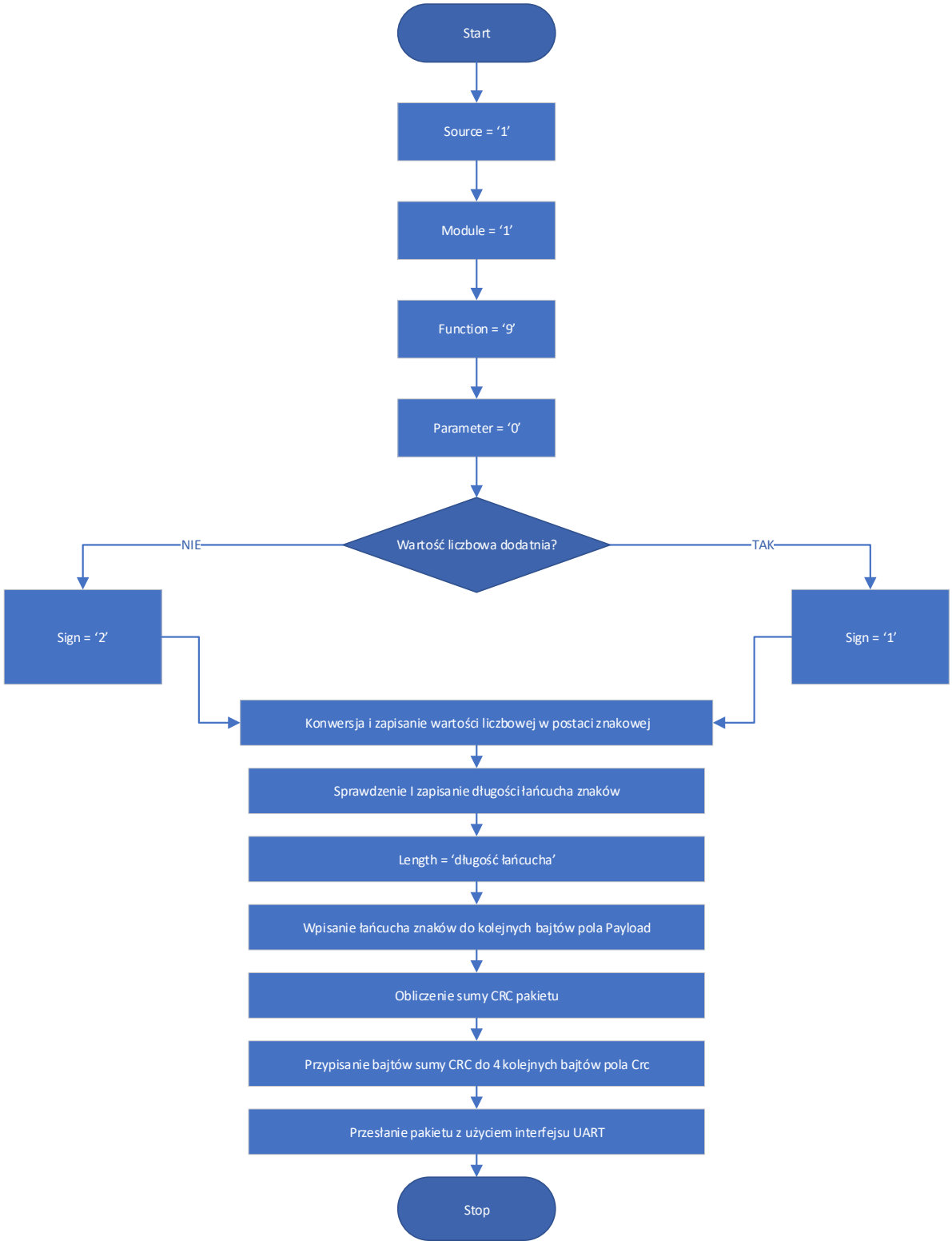


Rys. 7.8 Schemat blokowy funkcjonalności Ustawianie górnego zakresu grafu

Ustawianie zakresu czasowego grafu

Warunki początkowe:

- Określona jest liczba całkowita w zakresie od 360 do 3600 będąca wielokrotnością liczby 360 mająca stanowić zakres czasowy grafu



Rys. 7.9 Schemat blokowy funkcjonalności Ustawianie zakresu czasowego grafu

8 Aplikacja testowa na płytce STM32VL Discovery

Po zaimplementowaniu aplikacji na dotykowym pulpicie STM32F469 Discovery i dogłębnym przetestowaniu komunikacji w systemie z użyciem aplikacji GUI przyszła pora na test praktyczny systemu. Polegał on na przetestowaniu komunikacji między dotykowym pulpitem STM32F469 Discovery i mikrokontrolerem symulującym sterownik przekształtnika.

Do tego celu w niniejszej pracy wybrana została płytka rozwojowa STM32VL Discovery, której częścią jest relatywnie tani i mało wydajny mikrokontroler STM32F100RBT6B dysponujący o wiele mniejszą ilością pamięci RAM i Flash niż mikrokontroler STM32F469 co musiało zostać wzięte pod uwagę w trakcie implementacji aplikacji testowej. Kod aplikacji testowej zaimplementowano bazując na pseudokodzie opisanym w rozdziale 7.

8.1 Komendy testowe

Testowanie komunikacji między dwoma kontrolerami wymaga bezpośredniej kontroli nad każdym z nich. W przypadku płytki STM32F469 Discovery jest to bardzo proste, gdyż wszystkimi funkcjami steruje się przy pomocy interfejsu graficznego wyświetlanego na wbudowanym ekranie dotykowym. W przypadku płytki STM32VL Discovery wymagana była implementacja dodatkowych funkcjonalności.

Sterowanie funkcjonalnościami płytki STM32VL Discovery odbywa się poprzez przesyłanie do jej modułu USART1 komend wpisywanych przez użytkownika znak po znaku. Każdy wpisany znak dopisywany jest do bufora przechowującego dotychczas wpisane znaki komendy i przesyłany z powrotem do użytkownika poprzez moduł USART2. Dzięki temu możliwe jest symulowanie wpisywania komend jak do konsoli komputera PC.

Komendy to łańcuchy znakowe pisane z małych liter rozpoczynające się od znaku „#” z dodatkowymi argumentami podawanymi po przecinkach np. „#sendpacket,1,1,500”. Ta komenda spowoduje wysłanie do parametru 1 do modułu 1 wartości 500. Wartość ta zostanie następnie wyświetlona na odpowiednim ekranie (ekran Data) płytki STM32F469 Discovery.

Aplikacja testowa interpretuje przesłane komendy po czym realizuje podstawową walidację liczby i rodzaju przesłanych argumentów.

Należy zaznaczyć, że płytka STM32VL Discovery przechowuje w swojej pamięci zarówno wartości inicjalizacyjne parametrów jak i stan oraz wartości parametrów każdego modułu. Pełną listę stanów i wartości parametrów każdego z modułów można wyświetlić dzięki komendzie #getparameters podając jako argument numer modułu. Wyświetlanie odbywa się na zasadzie odebrania powyższych danych na komputerze PC wysłanych z płytki poprzez moduł diagnostyczny USART2.

Komunikacja między płytkami STM32F469 Discovery i STM32VL Discovery odbywa się w identyczny sposób jak przetestowana wcześniej komunikacja między płytką STM32F469 Discovery, a komputerową aplikacją GUI tzn. płytka wysyłająca dla każdego przesyłanego pakietu oblicza, a następnie dołącza do pakietu sumę CRC32, a płytka odbierająca sprawdza zgodność wspomnianej sumy CRC32 zanim przystąpi do dalszego procesowania pakietu.

Tabela 8.1 Lista dostępnych komend testowych

Treść komendy	Liczba argumentów	Argumenty	Funkcja
#sendpacket	3	Numer modułu, Numer parametru, Wartość parametru (liczba rzeczywista)	Wysłanie pakietu o określonej wartości do określonego parametru określonego modułu
#initmodule	1	Numer modułu	Inicjalizacja określonego modułu parametrami inicjalizacyjnymi zapisanymi w pamięci płytki
#deinitmodule	1	Numer modułu	Deinicjalizacja określonego modułu
#setgraphmin	2	Numer modułu, Wartość liczbowa (liczba całkowita)	Ustawienie określonej wartości jako dolny zakres grafu określonego modułu
#setgraphmax	2	Numer modułu, Wartość liczbowa (liczba całkowita)	Ustawienie określonej wartości jako górny zakres grafu określonego modułu
#setgraphtime	2	Numer modułu, Wartość liczbowa (liczba całkowita od 360 do 3600, podzielna przez 360)	Ustawienie określonej wartości jako zakres czasowy grafu określonego modułu
#getparameters	1	Numer modułu	Wyświetlenie w konsoli stanów i wartości parametrów określonego modułu
#adc1	2	Numer modułu, liczba pakietów	Wczytanie z przetwornika ADC wartości napięcia oraz przesłanie jej do ekranu grafu pulpitu dotykowego
#adc2	2	Numer modułu, liczba pakietów	Wczytanie z przetwornika ADC wartości napięcia oraz przesłanie jej do ekranu tabeli danych pulpitu dotykowego

Tabela 8.1 przedstawia pełną listę obsługiwanych komend wraz z liczbą i rodzajem przyjmowanych argumentów oraz krótkim opisem funkcji każdej komendy.

9 Wnioski

Ekran dotykowy mikrokontrolera STM32F469NI-Discovery zgodnie z oczekiwaniami okazał się bardzo dobrym interfejsem kontrolnym zdolnym zarówno do efektywnego wyświetlania danych odbieranych z aplikacji testowej jak i również łatwego ustawiania wartości wysyłanych następnie do aplikacji testowej.

Mimo wielu trudności udało się zrealizować bardzo elastyczną funkcjonalność grafu umożliwiającą równoległe rysowanie do 4 wykresów w zadowalającym tempie oraz w zakresie wybieranym przez użytkownika z poziomu płytki Discovery lub aplikacji testowej. Wartości zakresu grafu ograniczone są jedynie przez zakres możliwych wartości minimalnych i maksymalnych, które można przesłać w pakiecie.

Wspomniana funkcjonalność stała się dostępna po zaadaptowaniu kodu udostępnionego przez twórców TouchGFX gdzie punktem wyjściowym był graf, który potrafił rysować jedynie dodatnie liczby całkowite w przedziale od 0 do 1000.

Istotną funkcjonalnością do zrealizowania było łatwe ustawianie z poziomu ekranu dotykowego wartości liczbowych o długości do 10 znaków włącznie na dość ograniczonej powierzchni ekranu. Zastosowano zbiór widgetów - kół przewijalnych (ang. scroll wheel) – dzięki czemu nie było potrzeby implementacji typowej klawiatury dotykowej.

Można mieć zastrzeżenia do szybkości rysowania grafu, jednakże po bliższym przyjrzeniu się można stwierdzić, że jest to wina zbyt wolnego odbierania danych z interfejsu UART. Niestety biblioteka HAL nie jest idealna i jej uniwersalność oraz wygoda użycia okupiona jest sporym narzutem czasowym wykonania jej kodu. Sam mikroprocesor Cortex-M4 jest bardzo wydajną jednostką zapewniającą płynne i responsywne działanie graficznego interfejsu graficznego mimo taktowania 180Mhz, które de facto jest o rząd wielkości niższe niż częstotliwości mikroprocesorów współczesnych telefonów komórkowych sięgających i przekraczających wielkości 2GHz.

Framework TouchGFX okazał się być bardzo wygodnym, darmowym narzędziem do tworzenia graficznego interfejsu użytkownika dla płytki Discovery. Stworzenie podstawowego interfejsu użytkownika z użyciem tego oprogramowania sprowadza się do stworzenia projektu, intuicyjnego umieszczenia na ekranie kilku widgetów i wciśnięcia przycisku, który automatycznie buduje i flashuje projekt na płytkę Discovery.

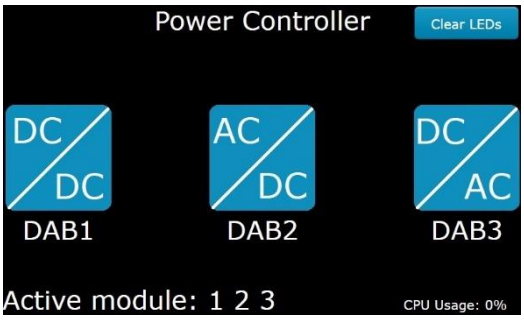
UART jest stosunkowo prostym i mocno ograniczonym funkcjonalnie i wydajnościowo interfejsem komunikacyjnym w porównaniu choćby do komunikacji realizowanej przy użyciu protokołu SPI czy I2C, ale jak się okazuje po odpowiednim skonfigurowaniu i zabezpieczeniu przed błędami może być z powodzeniem użyty nawet w bardziej skomplikowanych projektach.

System zaimplementowany i testowany z użyciem wyłącznie płytki STM32F469 Discovery i aplikacji testowej GUI działa również poprawnie - bez wprowadzania żadnych modyfikacji po stronie płytki – po zastąpieniu aplikacji testowej GUI niskobudżetową płytką STM32VL Discovery. Fakt ten dowodzi, że aplikacja STM32F469 Discovery jest w stanie komunikować się poprawnie z dowolnym mikrokontrolerem wyposażonym w moduł UART.

Dodatek A

Niniejszy dodatek prezentuje ekrany dotykowego pulpitu zainicjalizowane przykładowymi wartościami.

Ekran Main Menu



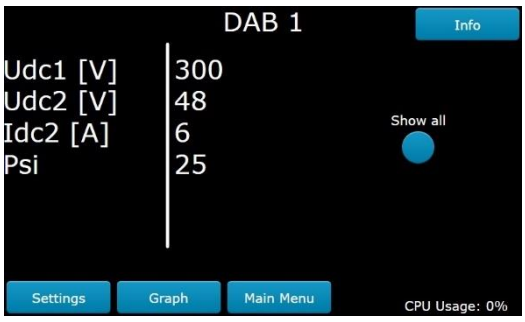
Rys. A.1 Ekran Main Menu

Ekran główny jest pierwszym ekranem widocznym po włączeniu płytki Discovery. Umożliwia podgląd które z modułów są aktywne w danym momencie oraz przejście do poszczególnych modułów pod warunkiem, że dany moduł został wcześniej aktywowany.

Aktywne moduły wymienione są w polu tekstowym na dole ekranu, podczas gdy przyciski nieaktywnych modułów są lekko zaciemnione co symbolizuje, że nie są one dostępne w danym momencie.

Dodatkowo naciśnięcie przycisku „Clear LEDs” powoduje zgaszenie wszystkich 4 diod sygnalizacyjnych znajdujących się obok ekranu dotykowego. Zaświecone diody sygnalizują, że co najmniej jeden z pakietów odebranych przez płytkę był błędny i został odrzucony – miał niepoprawną sumę CRC.

Ekran Module Data



Rys. A.2 Ekran Module Data

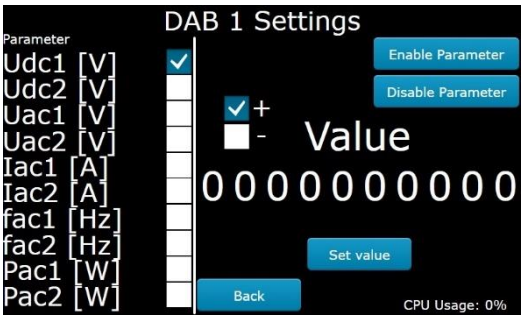
Ekran Module Data umożliwia – po lewej - podgląd nazw zainicjalizowanych parametrów oraz ich wartości – po prawej. Naciśnięcie pola tekstowego nazwy parametru powoduje ukrycie tej nazwy oraz wartości danego parametru. W ten sposób można ukryć każdy parametr. Naciśnięcie niebieskiego przycisku w kształcie kropki powoduje ponowne pokazanie wszystkich parametrów.

Po zainicjalizowaniu modułu, wartości początkowe pól tekstowych nadpisywane są odpowiednio nazwami i wartościami inicjalizacyjnymi parametrów.

W celu przesłania nowej wartości do jednego z 4 parametrów należy przesłać pakiet typu Przesył danych (funkcja ‘1’) o numerze parametru odpowiednio od ‘1’ do ‘4’ i umieścić w jego payloadzie pożądaną wartość. Najlepiej skorzystać w tym celu z grupy Custom packet aplikacji testowej.

Przyciski Settings, Graph, Main Menu oraz Info powodują przejście do odpowiednich ekranów.

Ekran Module Settings



Rys. A.3 Ekran Module Settings

Jest to rozbudowany ekran umożliwiający ustawienie, aktywację oraz deaktywację parametrów w aplikacji testowej z poziomu płytki Discovery. Jest to również jedyny ekran nieodbierający danych z zewnątrz ze względu na wyłączanie przetwarzania przerwań odbioru UART podczas inicjalizacji ekranu. Działanie to jest wykonywane w celu łatwego uniknięcia konfliktów jednoczesnego przesyłu i odbioru na jednym interfejsie UART. Wspomniane przerwania są uruchamiane ponownie w przypadku przejścia do innego ekranu.

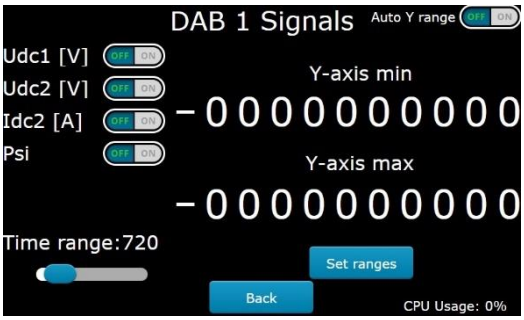
Ekran zawiera 10 pól tekstowych zainicjalizowanych odpowiednimi nazwami parametrów widocznymi również w aplikacji testowej. Każdy z parametrów ma przyporządkowany własny przycisk jednokrotnego wyboru (ang. radio button), którego zaznaczenie sprawia, że wszystkie inne dane ustawiane na tym ekranie dotyczą tego parametru. Logika przycisku jednokrotnego wyboru zapewnia, że zawsze aktywny jest jeden i tylko jeden parametr.

Aktywny parametr może być aktywowany lub deaktywowany w aplikacji testowej po naciśnięciu przycisku, odpowiednio Enable Parameter i Disable Parameter.

Po prawej stronie ekranu znajduje się zbiór 10 przewijalnych kół (ang. scroll wheel). Są to widgety umożliwiające pionowe przewijanie wartości w zakresie cyfr od 0 do 9 oraz dodatkowo kropka przecinkowa. Dzięki takiemu mechanizmowi możliwe jest łatwe i szybkie wybranie dowolnej 10-cyfrowej wartości, zarówno liczby całkowitej jak i ułamkowej. Znak wybranej w ten sposób liczby ustala się wybierając odpowiedni przycisk jednokrotnego wyboru znajdujący się nieco wyżej, domyślnie jest to znak dodatni.

Wartość wybrana przy użyciu zbioru przewijalnych kół może zostać wysłana do aplikacji testowej poprzez naciśnięcie przycisku Set value. Dotknięcie przycisku Back skutkuje przejściem do ekranu Module Data.

Ekran Signals



Rys. A.4 Ekran Signals

Jest to rozbudowany ekran umożliwiający kontrolę nad wartościami wyświetlanymi na innej warstwie – grafie.

Obsługiwane funkcje to:

- kontrola wyświetlania sygnałów na grafie tj. dowolny sygnał może być ustawiony jako widoczny lub niewidoczny
- ustawienie zakresu czasowego grafu jako wielokrotności liczby 360 stopni
- ustawienie dolnego i górnego zakresu danych grafu
- aktywacja i deaktywacja automatycznego ustawiania zakresu osi pionowej

Wybieranie wartości dolnego i górnego zakresu grafu odbywa się podobnie jak w przypadku ekranu Settings – z użyciem przewijalnych kół, jednakże w tym przypadku nie jest dostępna kropka ułamkowa, ponieważ wartość zakresu grafu musi być liczbą całkowitą.

Wybór znaku wartości odbywa się poprzez kliknięcie pola reprezentującego znak plus/minus. Pole to nie jest polem tekstowym, a przyciskiem przełącznika (ang. toggle button) o zmodyfikowanej grafice.

Należy zaznaczyć, że powyższe obiekty służące do ręcznego ustawiania zakresu grafu widoczne są na ekranie tylko wtedy, kiedy automatyczne ustawianie zakresu Y jest wyłączone. Uaktywnienie tej opcji powoduje ukrycie powyższych elementów ekranu i włączenie w aplikacji logiki ustawiającej zakres grafu automatycznie w zależności od odbieranych wartości.

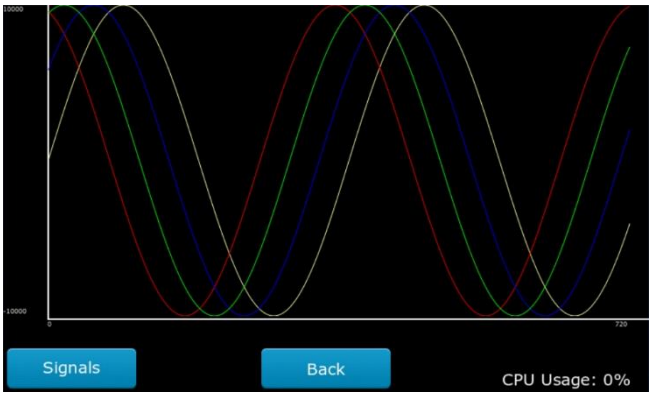
W celu wybrania zakresu czasowego należy ustawić odpowiednią wartość suwakiem znajdującym się w lewym dolnym rogu ekranu. Dostępne wartości to wielokrotności liczby 360 w zakresie od 360 do 3600.

Po wybraniu pożądanych zakresów czasowych oraz osi Y należy wcisnąć przycisk Set ranges w celu zapisania zmian. W przeciwnym razie zakresy nie zostaną zapamiętane.

Próba wybrania dolnego zakresu, który jest większy lub równy zakresowi górnemu zostanie odrzucona.

Należy tu podkreślić, że ustawienie zakresu czasowego oraz górnego i dolnego zakresu osi Y możliwe jest również zdalnie, z poziomu aplikacji testowej. Obydwie opcje są sobie funkcjonalnie równoważne.

Ekran Graph



Rys. A.5 Ekran Graph

Ekran umożliwiający narysowanie grafu na podstawie wartości odbieranych przez płytkę. Jest on w pełni sterowany z poziomu omówionego już ekranu – Signals. Możliwe jest również wspomniane wcześniej zdalne zarządzanie zakresami grafu z poziomu aplikacji testowej, również w trakcie rysowania grafu. Zdalna zmiana zakresów grafu wiąże się z jego wyczyszczeniem i rozpoczęciem rysowania od początku.

Graf rysowany jest w zakresie od 0 do wybranego zakresu czasowego – wielokrotności liczby 360 w przedziale od 360 do 3600. Wybór liczby 360 jako podstawy czasowej grafu jest nieprzypadkowy. Liczba ta jednocześnie odpowiada 360 stopniom w sensie trygonometrycznym co oznacza, że np. zakres czasowy 360 umożliwia obserwację na jednym ekranie jednego cyklu sinusa. Odpowiednio wybranie zakresu wynoszącego 3600 umożliwia obserwację 10 cykli sinusa na jednym ekranie. Wybranie większej liczby nie jest możliwe bez dalszych modyfikacji grafu ze względu na ograniczenie wielkości pamięci stosu aplikacji, w której przechowywany jest bufor zawierający wszystkie widoczne na ekranie punkty grafu.

Wartość zakresu czasowego odpowiada liczbie punktów rysowanych w danym cyklu grafu potrzebnych by graf wizualnie zajął całą dostępną mu przestrzeń od lewej do prawej. Po osiągnięciu zakresu czasowego pole grafu jest czyszczone, podstawa czasowa się zeruje, a cykl rozpoczyna się od nowa.

Ekran ten pozornie wydaje się dość prosty, lecz jest on równocześnie bardzo elastyczny w kwestii danych które może z powodzeniem wyświetlać. Ta elastyczność możliwa jest dzięki relatywnie skomplikowanej logice i przekształceniom umieszczonym w kodzie grafu, zwłaszcza w partiach kodu odpowiedzialnych za rysowanie i skalowanie grafu działającym na niskim poziomie abstrakcji, czyli operujących na prostych klasach typu malarz (PainterRGB565) budujących i rysujących graf jako zbiór punktów.

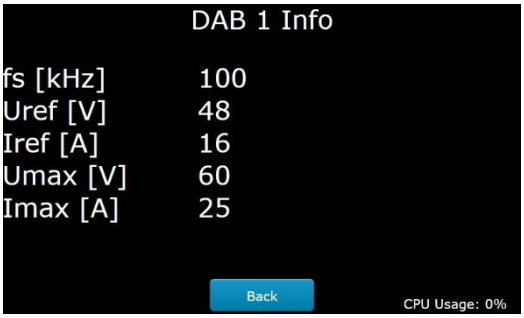
Wspomniana część kodu pobrana została z oficjalnego wymienionego w bibliografii repozytorium projektu TouchGFX. Należy zaznaczyć jednak, że oprogramowanie TouchGFX jest wciąż rozwijane. Z tego względu graf jako widget – przy całej swojej użyteczności i wygodzie użycia - nie jest jeszcze do końca dopracowany przez twórców przez co nie jest jeszcze częścią oficjalnego pakietu widgetów dostępnych w środowisku TouchGFX. Na chwilę obecną przede wszystkim nie obsługuje on liczb zmiennoprzecinkowych oraz obsługuje bezbłędnie tylko niewielki - określony empirycznie - zakres liczb całkowitych. Przypadkowe wyjście poza ten zakres wywołuje nieprzewidywalne działanie grafu. Dodatkowo biorąc pod

uwagę ogólne duże możliwości obliczeniowe płytki Discovery z mikroprocesorem z rodziny Cortex-M4 sama wydajność rysowania grafu wydaje się pozostawać wiele do życzenia.

Z wymienionych względów efektywne użycie grafu wiąże się z dodatkowymi działaniami polegającymi na skalowaniu każdej wartości przychodzącej tak by nie przekroczyła ona minimalnej oraz maksymalnej wartości obsługiwanej poprawnie przez graf, a jednocześnie by zachowana została właściwa struktura grafu. Wspomniane minimalne i maksymalne wartości to odpowiednio -2500 oraz +2500. Każda wartość, która ma być umieszczona na grafie musi zostać przeskalowana by ostatecznie zawierać się w tym zakresie.

Stosunkowo kiepska wydajność rysowania grafu spowodowana jest opóźnieniami w odbiorze danych przez interfejs UART. Jest to efekt zastosowania bibliotek HAL, które bardzo ułatwiają pracę z kodem, jednakże kosztem ich uniwersalności jest spory narzut czasowy wykonania ich kodu. Stwierdzono empirycznie, że dotykowy pulpit jest w stanie odebrać, przetworzyć i narysować na grafie zawartość pakietu w około 15 milisekund, co daje prędkość około 65 pakietów na sekundę. Przekroczenie tej bariery powoduje występowanie błędów typu UART Overrun co oznacza, że ramki UART na siebie nachodzą tzn. nowa ramka dociera do bufora nim jeszcze poprzednia została z niego usunięta. Łatwe wykrycie i klasyfikacja tego typu błędów jest niewątpliwą zaletą biblioteki HAL.

Ekran Module Info



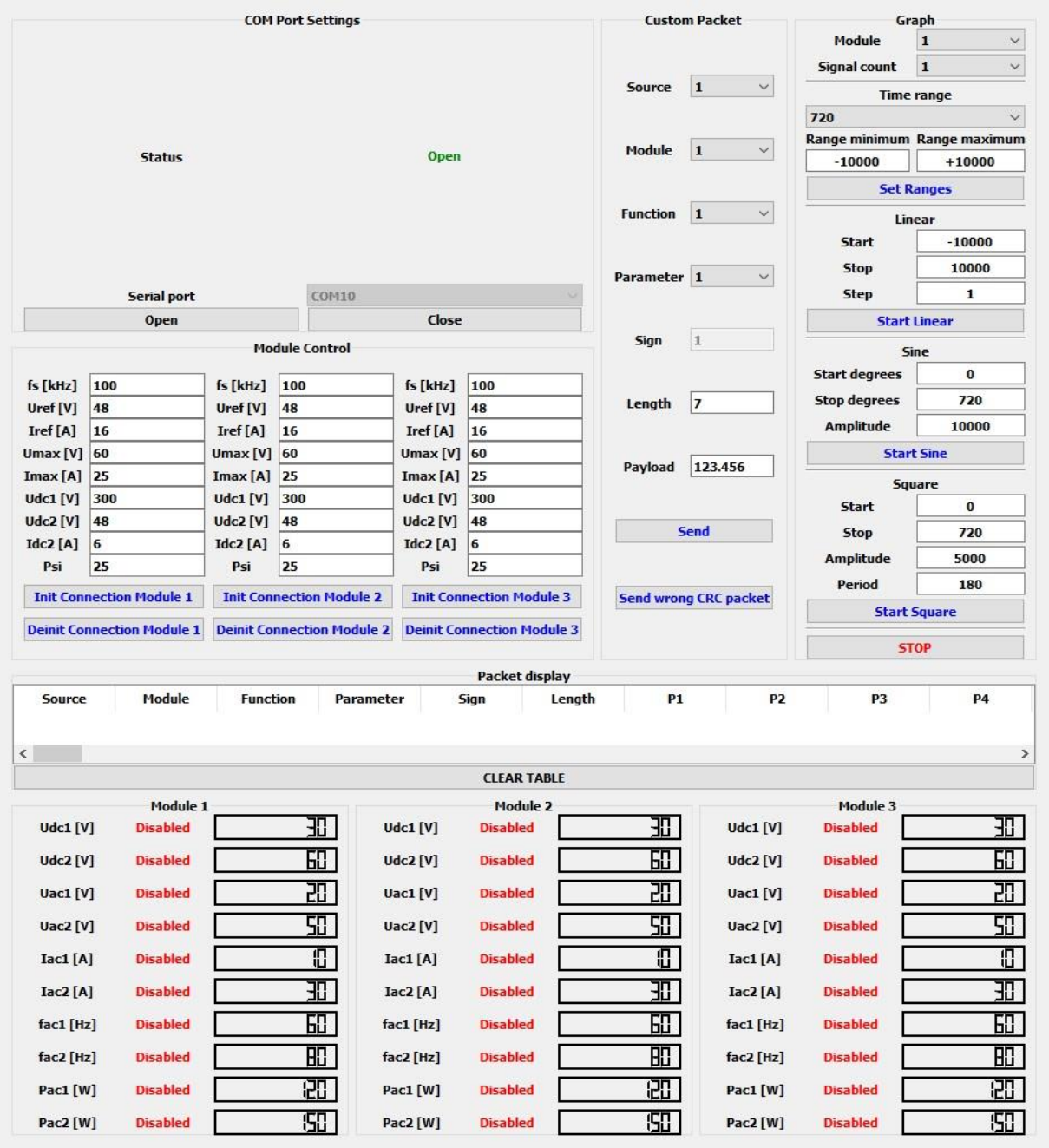
Rys. A.6 Ekran Module Info

Jest to prosty ekran wyświetlający 10 pól tekstowych. Po lewej wyświetlane są nazwy poszczególnych parametrów np. napięcie, prąd, nazwa modelu, prędkość czy wersja oprogramowania, a po prawej wyświetlana jest wartość przypisana danemu parametrowi. Wspomniane parametry pojawiają się w aplikacji podczas inicjalizacji modułu.

Dodatek B

Niniejszy dodatek prezentuje - dla celów poglądowych - zrzuty ekranów aplikacji testowej będącej na różnych etapach działania.

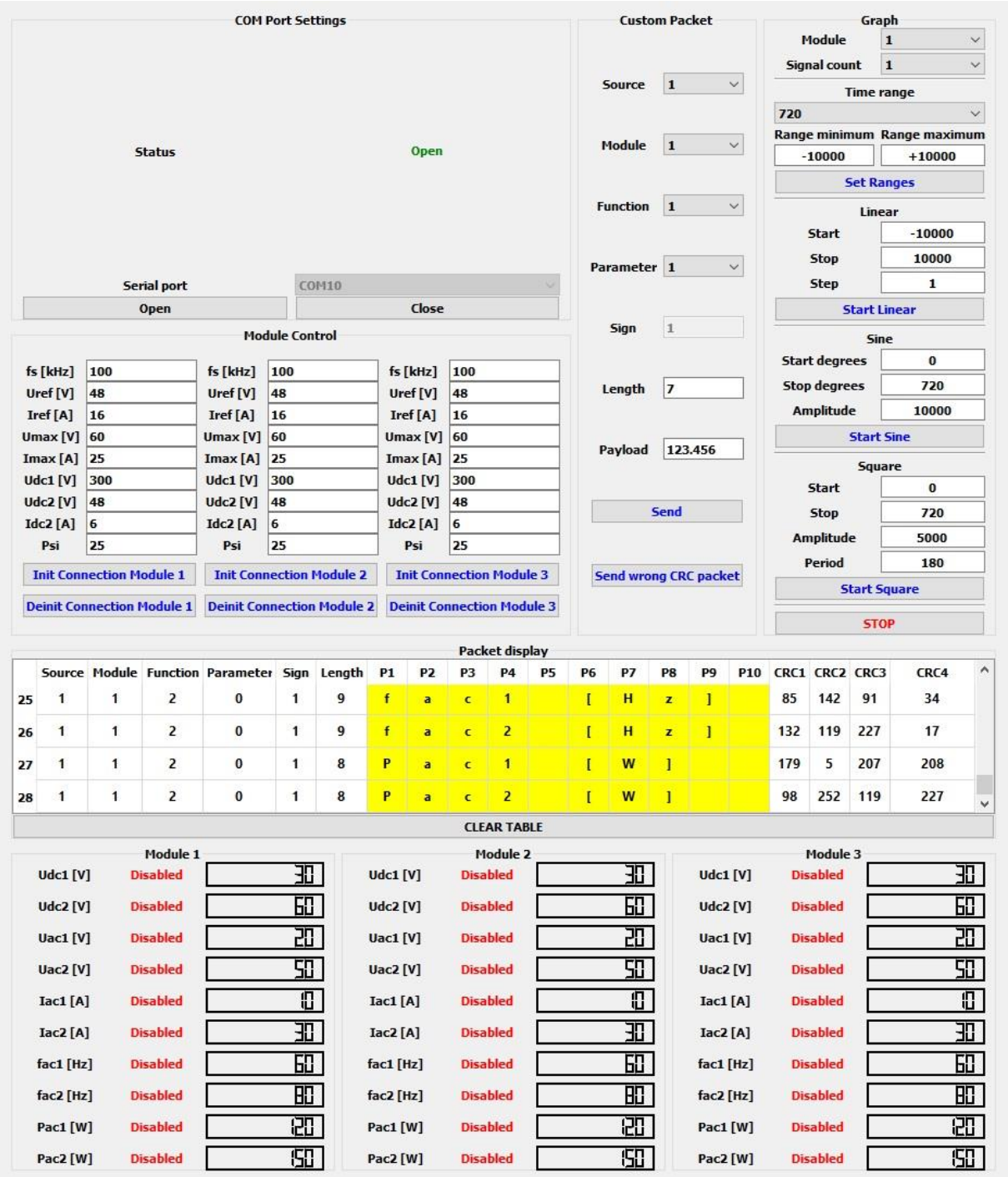
Aplikacja testowa po otwarciu portu komunikacyjnego



Rys. B.1 Zrzut ekranu aplikacji testowej po otwarciu portu komunikacyjnego

Rys. B.1 przedstawia zrzut ekranu graficznego interfejsu aplikacji testowej tuż po otwarciu portu komunikacyjnego. Na tym etapie wszystkie grupy widgetów są aktywne i aplikacja jest gotowa do wysyłania i odbierania pakietów.

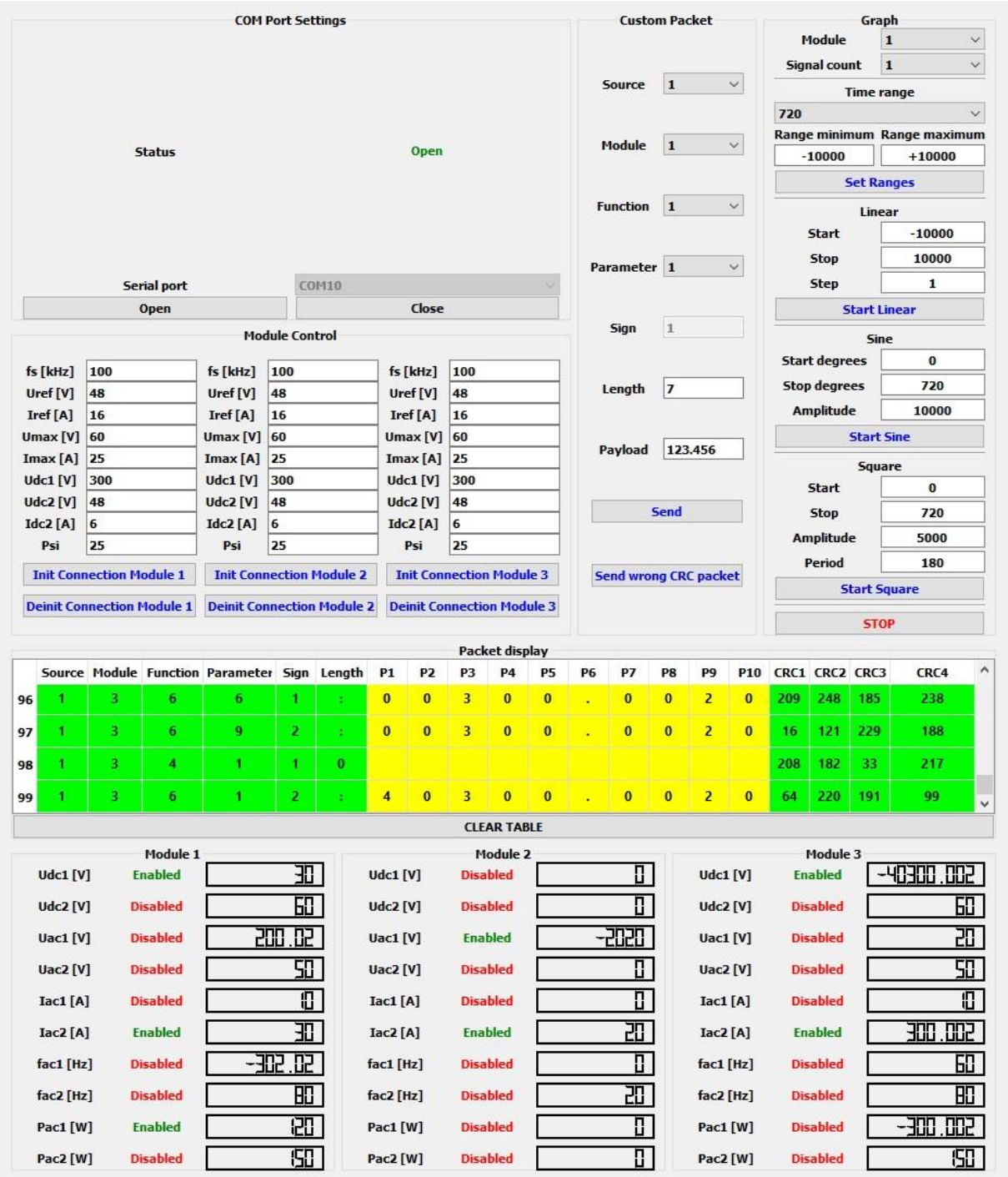
Aplikacja testowa po inicjalizacji połączenia



Rys. B.2 Zrzut ekranu aplikacji testowej po inicjalizacji połączenia

Rys. B.2 przedstawia zrzut ekranu graficznego interfejsu aplikacji testowej po inicjalizacji połączenia z modułem nr 3. Widok tabeli z grupy widgetów Packet display wyświetla zawartość każdego z pól poszczególnych pakietów. Możliwe jest przewinięcie widoku tabeli w górę co umożliwia podgląd historii odebranych i wysłanych pakietów. Widoczne jest 4 spośród 28 zarejestrowanych pakietów inicjalizacyjnych zawierających nazwy i wartości parametrów inicjalizacyjnych. Zastosowano żółte tło dla pól od P1 do P10 dla uwidocznienia payloadu pakietów.

Aplikacja testowa po aktywacji i ustawieniu części parametrów



Rys. B.3 Widok aplikacji testowej po aktywacji i ustawieniu części parametrów

Rys. B.3 przedstawia zrzut ekranu graficznego interfejsu aplikacji testowej po aktywacji i ustawieniu części parametrów każdego z modułów. Można zaobserwować, że część parametrów z każdego z modułów została aktywowana – tekst Enabled w kolorze zielonym – oraz części z parametrów została przypisana wartość. Zielone tło w tabeli podglądu pakietów oznacza, że dany pakiet jest pakietem przychodzącym.

Bibliografia

[1] M. P. Kaźmierkowski, J. T. Matysik, *Wprowadzenie do elektroniki i energoelektroniki*, Warszawa 2005, s. 277.

[2] M. Nowak, R. Barlik, *Poradnik inżyniera energoelektronika* s. 26.

[3] M. P. Kaźmierkowski, J. T. Matysik, *Wprowadzenie do elektroniki i energoelektroniki*, Warszawa 2005, s. 279.

[4] Amazon Web Services, *The FreeRTOS Reference Manual*, Amazon.com 2017, https://www.freertos.org/wp-content/uploads/2018/07/FreeRTOS_Reference_Manual_V10.0.0.pdf (dostęp 3.06.2020)

[5] R. Barry, *Mastering the FreeRTOS Real Time Kernel*, Real Time Engineers, 2016, https://www.freertos.org/wp-content/uploads/2018/07/161204_Mastering_the_FreeRTOS_Real_Time_Kernel-A_Hands-On_Tutorial_Guide.pdf (dostęp 3.06.2020)

[6] ST Microelectronics, Oficjalne repozytorium oprogramowania TouchGFX w serwisie GitHub, https://github.com/touchgfx/touchgfx-open-repository (dostęp 3.06.2020)

[7] ST Microelectronics, Repozytorium kodu źródłowego grafu dotykowego pulpitu będący częścią oficjalnego repozytorium oprogramowania TouchGFX w serwisie GitHub, https://github.com/touchgfx/touchgfx-open-repository/tree/master/widgets/Graph (dostęp 3.06.2020)

[8] ST Microelectronics, Dokumentacja środowiska TouchGFX, https://support.touchgfx.com/docs/introduction/welcome (dostęp 3.06.2020)