



power  
Bank

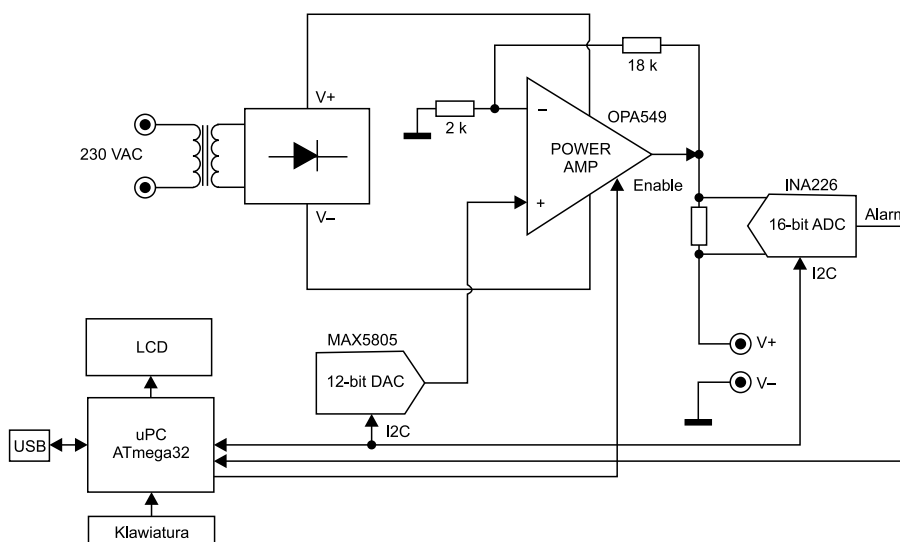
# Zasilacz arbitralny powerBank

Zasilacz laboratoryjny należy do podstawowego wyposażenia warsztatu każdego elektronika amatora i profesjonalisty. Nie dziwi więc fakt, że wielu z nas urządzenie tego typu czyni celem jednej z pierwszych inwestycji lub samodzielnie zbudowanego projektu. Współczesne zasilacze laboratoryjne często są wyposażane w dodatkową funkcjonalność, to jest w możliwość programowania kształtu napięcia wyjściowego oraz ogranicznika prądowego. Taki zasilacz, oprócz realizowania podstawowej funkcjonalności, może również służyć do testowania zasilanych obwodów – sprawdzania, jak zachowują się w różnych warunkach.

**Rekomendacje:** zasilacz o rozszerzonej funkcjonalności przyda się w warsztacie każdego elektronika.

Autor składa podziękowania panu Sławomirowi Szweda z firmy Unisystem oraz panu Damianowi Lewandowskiemu z firmy Artronic za dostarczenie próbek wyświetlaczy LCD oraz panu Zbigniewowi Mucha z firmy EBV za dostarczenie próbek wzmacniaczy OPA549. Podziękowania dla firmy Zakład Elektroniczny „FOSTER” za nieocenioną pomoc w projekcie obudowy i dostarczenie profesjonalnie wykonanego prototypu. Osoby zainteresowane nabyciem kompletnego zestawu elementów obudowy zapraszam do kontaktu mailowego pod adresem konstrukcja@foster-pleszew.com.pl.

Korzystając z ekonomicznych dobrodziejstw dalekowschodniej myśli technicznej, nabyłem kilka lat temu zasilacz laboratoryjny charakteryzujący się podstawową funkcjonalnością, która wydawała się wystarczająca w wielu wypadkach. Niemniej jednak, skonstruowanie porządnego zasilacza o zdecydowanie bardziej rozbudowanej funkcjonalności było od dawna na mojej liście „rzeczy do zrobienia”, a zimowa aura stała się w tym wypadku dodatkowym sprzymierzeńcem. Dodatkowo, decyzję o samodzielnym wykonaniu zasilacza przesądziła w moim wypadku potrzeba ingerencji w posiadany sprzęt, która to zakończyła się na rozkręceniu i szybkim, ponownym skręceniu jego obudowy. Niestety, ekstremalnie niska cena gotowego produktu (poniżej 150 złotych) nawet w przypadku dalekowschodnich urządzeń musi odbić się na jakości wykonania i sposobie montażu, co dobitnie utwierdziło mnie w przekonaniu, iż „nic za darmo”. Osobom, które posiadają tego typu urządzenia zdecydowanie odradzam „lekturę ich wnętrzności”, no chyba, że jej celem będzie wiedza,



Rysunek 1. Schemat blokowy urządzenia powerBank

## Ustawienie fusebitów:

CKSEL3...0: 1111  
 SUT1...0: 11  
 CKOPT: 0  
 JTAGEN: 1  
 BODEN: 1  
 EESAVE: 0

jak nie należy realizować projektu... Tak, czy inaczej, przysłała pora na zmierzenie się z tematem i zaprojektowanie zasilacza arbitralnego „z prawdziwego zdarzenia”.

Tym razem rozpocząłem od przeglądu popularnych rozwiązań konstrukcyjnych dostępnych w sieci. Ku mojemu zdziwieniu okazało się, że większość z implementacji zasilaczy tego typu bazuje na układach, których korzenie są osadzone mocno w latach osiemdziesiątych, jakby od tego czasu w elektronice nie wymyślono niczego lepszego. Nie pomyślcie, że jestem przeciwnikiem starych, dobrych rozwiązań, ale idźmy z duchem czasu i stosujmy rozwiązania na miarę współczesnych wymagań czy potrzeb, które, przyznacie przecież, są nieco inne niż 30 lat temu!

W tym samym czasie, w toku moich, nazwijmy to, prac przygotowawczych, natknąłem się na bardzo ciekawą aplikację wzmacniacza operacyjnego o niecodziennych właściwościach, jakim okazał się być układ OPA549 aktualnie produkowany przez Texas Instruments. Wzmacniacz ten, określany przez producenta „High-Voltage, High-Current Operational Amplifier”, w jednej ze swoich przykładowych aplikacji był polecany w roli elementu wykonawczego mocy we wszelkiego rodzaju programowanych zasilaczach laboratoryjnych, co znalazło swoje odzwierciedlenie w jego dokumentacji w postaci przykładowych rozwiązań układowych z przetwornikami C/A. No cóż, nie sposób nie zgodzić się z tak uznanym producentem, a biorąc pod uwagę podstawowe parametry elektryczne układu, jak napięcie zasilania z zakresu  $\pm 30$  V lub maksymalny prąd wyjściowy równy 8 A (szczytowo 10 A) należało bez wątpliwości wybrać to peryferium, jako podstawę do konstrukcji nowoczesnego zasilacza arbitralnego. Ostatecznie, o wyborze tego elementu zamiast typowych rozwiązań w postaci stabilizatora i kilku tranzystorów mocy, zdecydowały dodatkowe cechy funkcjonalne jak:

- Wbudowany ogranicznik prądu wyjściowego sterowany napięciowo lub rezystancyjnie.
- Wbudowane zabezpieczenie termiczne z sygnalizacją zadziałania.
- Wyprowadzenie sterujące wyjściem końcówki mocy (włącz/wyłącz).

Zacznę więc trochę nietypowo, bo od schematu blokowego, dzięki któremu łatwiej będzie zrozumieć zasadę działania całego urządzenia. Bazując na nocie aplikacyjnej układu OPA549 i podstawowych założeniach funkcjonalnych projektu powstał

wstępny schemat blokowy zasilacza arbitralnego, który pokazano na **rysunku 1**.

Jak widać, nasz główny element, w postaci układu OPA549 pracującego w konfiguracji wzmacniacza nieodwracającego o wzmocnieniu równym 10 ( $1+18\text{ k}\Omega/2\text{ k}\Omega$ ). Stanowi on jednocześnie element mocy i stabilizator napięcia wyjściowego. Zasilany wyprostowanym napięciem pozyskanym w aplikacji typowego prostownika dwupołkowego wykonanego przy udziale transformatora toroidalnego, mostka Graetza o dużej mocy i bloku kondensatorów o dużej pojemności, realizuje bazową funkcjonalność stabilizatora napięcia wyjściowego, dla którego napięciem odniesienia jest napięcie referencyjne 12-bitowego przetwornika C/A sterowanego z mikrokontrolera ATmega32 za pomocą magistrali I<sup>2</sup>C pracującej w trybie High Speed (400 kHz).

Minimalne napięcie wyjściowe układu OPA549 nie może być niższe niż napięcie ujemnej szyny zasilającej ten układ plus 3,5 V (dla prądu wyjściowego 5 A), a korzystamy tu z nieskomplikowanego zasilacza o dużej mocy z niesymetrycznym wyjściem, więc konieczne było zbudowanie zasilacza dostarczającego ujemne napięcie zasilania elementu mocy. Co oczywiste, można by było skorzystać z aplikacji typowego zasilacza symetrycznego o jednakowej wydajności prądowej obu uzwojeń, lecz w takim wypadku należałoby zastosować znacznie droższy transformator toroidalny z kilkoma odczepami napięć wyjściowych (plus dodatkowy blok elementów dyskretnych i półprzewodnikowych). Aby uprościć konstrukcję bloku zasilającego, skorzystano w tym wypadku z typowej aplikacji ujemnego źródła napięcia zasilania wykorzystującego scalony stabilizator liniowy 7905 oraz drugi z odczepów transformatora małej mocy przeznaczonego do zasilania cyfrowej części urządzenia. Zabieg tego typu był możliwy dzięki temu, że wzmacniacz mocy OPA549 nie pobiera z ujemnej szyny zasilającej prądu większego niż kilkadziesiąt mA (około 35 mA) pod warunkiem, że jego napięcie wyjściowe jest zawsze wyższe lub równe zero, co ma miejsce w tym urządzeniu.

Przyznam, że początkowo, do generowania ujemnego napięcia zasilającego zastosowałem pompę ładunku, jednak szybko okazało się, że nie sprawdza się ona w wypadku szybkich zmian obciążenia zasilacza, gdyż w czasie takich stanów przejściowych możemy spodziewać się nieco większego poboru prądu z ujemnej szyny zasilającej układ OPA549. Dzięki implementacji rozwiązania ze stabilizatorem liniowym 7905, można zastosować transformator toroidalny o prostej i taniej budowie, i w konsekwencji napięcie wyjściowe możemy regulować od samego zera, nie zaś od 3,5 V (w przypadku zasilania niesymetrycznego wzmacniacza mocy).

## W ofercie AVT\*

AVT-5508 A  
 AVT-5508 UK

## Podstawowe informacje:

- Napięcie wyjściowe: 0...25 V.
- Maksymalny prąd wyjściowy: 5 A.
- Krok regulacji napięcia wyjściowego (dokładnie/zgrubnie): 10 mV/200 mV.
- Zakres nastaw wbudowanego ogranicznika prądu wyjściowego: 0...5 A.
- Krok regulacji wbudowanego ogranicznika prądu wyjściowego (dokładnie/zgrubnie): 10 mA/200 mA.
- Czas zadziałania wbudowanego ogranicznika prądowego: ok. 2,5 ms.
- Zakres pomiarowy prądu pobieranego przez odbiornik: 0...5 A.
- Rozdzielczość pomiaru prądu: 1 mA.
- Próg zadziałania wbudowanego zabezpieczenia termicznego: 160°C.
- Zakres pomiarowy wbudowanego termometru: 0...125°C.
- Próg zadziałania dla wbudowanego wentylatora: 40...70°C.
- Krok regulacji progu zadziałania dla wbudowanego wentylatora: 1°C.
- Maksymalna liczba punktów przebiegu arbitralnego: 40.
- Zakres napięć wyjściowych dla przebiegu arbitralnego: 0...25 V.
- Krok regulacji napięcia wyjściowego dla przebiegu arbitralnego (dokładnie/zgrubnie): 10 mV/200 mV.
- Zakres czasu dla pojedynczego punktu przebiegu arbitralnego: 1...1000 ms.
- Krok regulacji czasu dla pojedynczego punktu przebiegu arbitralnego (dokładnie/zgrubnie): 1 ms/20 ms.
- Zakres czasu dla funkcji STORE: 100...1000 ms.
- Krok regulacji czasu dla funkcji STORE: 100 ms.
- Liczba wbudowanych banków pamięci nastaw urządzenia: 5.
- Liczba wbudowanych banków pamięci parametrów przebiegu arbitralnego: 5.
- Parametry transmisji interfejsu szeregowego: 57600, 8, n, 1.

## Dodatkowe materiały na FTP:

<ftp://ep.com.pl>, user: 10758, pass: 27qrq9k9

## • wzory płytek PCB

## Projekty pokrewne na FTP:

(wymienione artykuły są w całości dostępne na FTP)

- AVT-1788 Stabilizator napięcia do układów lampowych (EP 1/2014)
- AVT-5417 Zasilacz warsztatowy (EP 9/2013)
- Pro. 204 Zasilacz cyfrowy (EP 11/2012)
- AVT-1667 Stabilizator impulsowy 3 A z układem LM2576 (EP 3/2012)
- AVT-1731 Regulowany zasilacz uniwersalny 1,5... 32 V/3 A (EP 8/2011)
- AVT-1522 Regulowany stabilizator impulsowy 0...25 V, 0...5 A (EP 5/2009)
- AVT-5161 Zasilacz sterowany cyfrowo (EP 12/2008)
- AVT-2757 Zasilacz „mikroprocesorowy” (EdW 7/2005)
- AVT-2674 Cyfrowy zasilacz (EdW 8/2003)
- AVT-5083 Mikroprocesorowy zasilacz laboratoryjny (EP 10/2002)
- AVT-366 Programowany zasilacz laboratoryjny (EP 12/1997)

## \* Uwaga:

Zestawy AVT mogą występować w następujących wersjach: AVT xxxx UK to zaprogramowany układ. Tylko i wyłącznie. Bez elementów dodatkowych.

AVT xxxx A płytka drukowana PCB (lub płytki drukowane, jeśli w opisie wyraźnie zaznaczono), bez elementów dodatkowych.

AVT xxxx A+ płytka drukowana i zaprogramowany układ (czyli połączenie wersji A i wersji UK) bez elementów dodatkowych.

AVT xxxx B płytka drukowana (lub płytki) oraz komplet elementów wymienionych w załączniku pdf

AVT xxxx C to nic innego jak zmontowany zestaw B, czyli elementy wmontowane w PCB. Należy mieć na uwadze, że o ile nie zaznaczono wyraźnie w opisie, zestaw ten nie ma obudowy ani elementów dodatkowych, które nie zostały wymienione w załączniku pdf

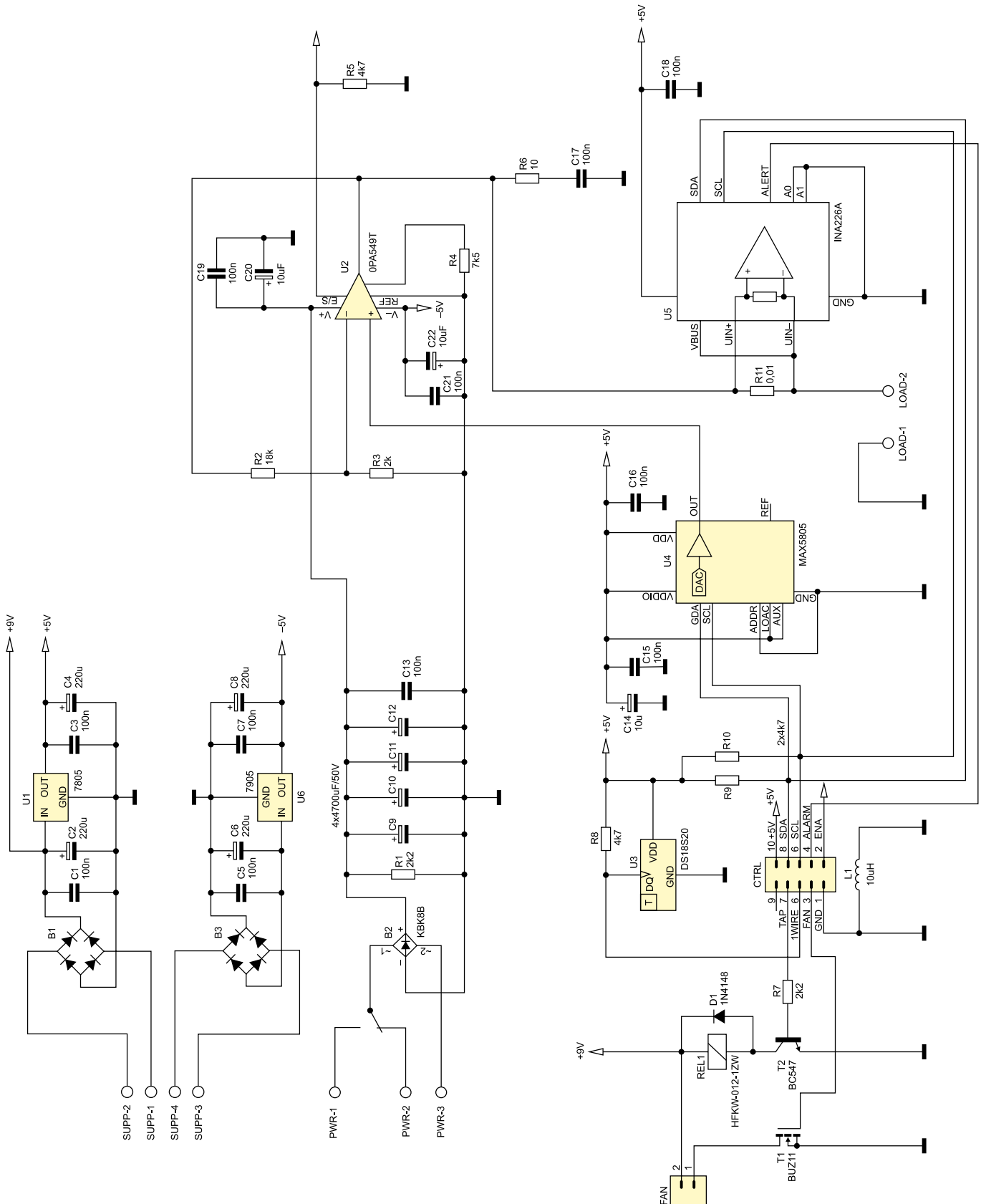
AVT xxxx CD oprogramowanie (nieczęsto spotykana wersja, lecz jeśli występuje, to niezbędne oprogramowanie można ściągnąć, klikając w link umieszczony w opisie kitu)

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! (UK, A, A+, B lub C). <http://sklep.avt.pl>

Należy mieć jednak świadomość pewnego ograniczenia tego rodzaju układu, które to może się ujawnić w ekstremalnych warunkach pracy. Otóż, przy dużym prądzie wyjściowym zasilacza powerBank i zasilania odbiorników o charakterze pojemnościowym, czas narastania napięcia wyjściowego może

się wydłużyć, co jest wynikiem niższej wydajności prądowej zasilacza napięcia ujemnego i co może mieć znaczenie w przypadku korzystania z funkcji *WAVE*, czyli podczas generowania przez urządzenie powerBank programowanych przebiegów napięciowych. W takim wypadku, aby wyeliminować

opisywane powyżej zjawisko, należałoby zwiększyć wydajność prądową uzwojenia transformatora tworzącego obwód zasilania ujemnym napięciem oraz pojemność kondensatorów filtrujących C6 i C8. Niemniej jednak, jest to zjawisko, którego możemy spodziewać się w ekstremalnych warunkach



Rysunek 2. Schemat ideowy modułu mocy urządzenia powerBank

pracy urządzenia i do tego nie zawsze istotne z punktu widzenia użytkownika, więc przedstawiony powyżej kompromis wydaje się być na wskroś akceptowalny.

Kontynuując opis modułu mocy należy zauważyć, że sygnał z wyjścia wzmacniacza operacyjnego OPA549 stanowiący źródło stabilizowanego napięcia wyjściowego urządzenia, trafia poprzez dokładny rezystor bocznikujący o rezystancji 10 mΩ na zaciski odbiornika. Spadek napięcia na wspomnianym boczniku jest mierzony przez specjalizowany, dokładny, 16-bitowy, różnicowy przetwornik A/C typu INA226, co pozwala na pomiar prądu pobieranego przez odbiornik i realizację funkcjonalności ogranicznika prądowego lub zabezpieczenia nadprądowego (dzięki funkcjonalności wbudowanej w układ INA226).

Tak w skrócie przedstawia się zasada działania naszego zasilacza arbitralnego, w związku z czym pora na przejście do szczegółów implementacyjnych. Z uwagi na sposób montażu mechanicznego wszystkich podzespołów, jak również logiczny podział poszczególnych elementów składowych urządzenia w świetle pełnionych przez nie funkcji, schemat urządzenia i stosowne obwody drukowane, został podzielony na trzy części: moduł mocy, moduł sterujący i moduł interfejsu zewnętrznego.

## Moduł mocy

Schemat ideowy modułu mocy zasilacza powerBank pokazano na rysunku 2. W porównaniu do schematu blokowego urządzenia, który to przedstawiono wcześniej (rys. 1), wzbogacono go o kilka funkcjonalności, które stały się niezbędne w przypadku optymalnej, praktycznej realizacji zasilacza arbitralnego. Po pierwsze, by ograniczyć straty mocy na elemencie wykonawczym – wzmacniaczu OPA549 – równe iloczynowi prądu wyjściowego i różnicy pomiędzy napięciem zasilania układu a napięciem wyjściowym, wprowadzono możliwość przełączania odzeczpów toroidalnego transformatora zasilającego w zależności od ustawionego napięcia wyjściowego (przełącznik REL1/tranzystor T2). W tym celu zastosowano transformator o dwóch uzwojeniach wtórnych, każde o parametrach 15 V/5 A, w związku z czym dla napięcia wyjściowego z zakresu 0...12 V do mostka prostowniczego B2 jest przyłączone wyjście pierwszego z uzwojeń transformatora (15 V), zaś dla napięcia wyjściowego

powyżej 12 V, drugie z uzwojeń, co daje sumaryczne napięcie równe 30 V. Dodatkowo, wprowadzono rozszerzoną funkcjonalność w postaci pomiaru temperatury radiatora elementów mocy (układu OPA549 i mostka prostowniczego) i możliwość sterowania wbudowanym wentylatorem wspomagającym proces chłodzenia. W tym celu zastosowano popularny układ termometru DS18S20 (U3) oraz wykonawczy układ wyjściowy sterujący pracą wentylatora, zbudowany przy użyciu tranzystora polowego BUZ11. Ponadto, przewidziano zupełnie niezależne, od źródła napięcia zasilającego wzmacniacz mocy, zasilanie części cyfrowej urządzenia, co znalazło swoje odzwierciedlenie w postaci typowej aplikacji zasilacza stabilizowanego zbudowanego przy użyciu transformatora małej mocy (TR1), prostownika B1 i stabilizatora napięcia +5 V (7805). Skorzystano przy tym z wbudowanej funkcji odłączania wyjścia mocy układu OPA549 za pomocą wejścia *Enable*, a z której korzystamy za każdym razem, gdy zadziała zabezpieczenie nadprądowe zasilacza. Ponadto, element mocy ma wejście *lim*, które pozwala na implementację sprzętowego ogranicznika prądowego końcówki mocy. Mimo że konfiguracja tego ogranicznika jest niezmiernie prosta, gdyż sprowadza się do podłączenia między to wejście a masę rezystora ustalającego prąd ograniczenia. Zasilacz korzysta z tej funkcjonalności wyłącznie w celu stałego ograniczenia maksymalnego prądu wyjściowego wzmacniacza OPA549 do wartości 5 A, nie zaś w celu realizacji dokładnego ogranicznika prądowego całego zasilacza. Wynika to z faktu, iż ograniczenie prądowe wykonane przy użyciu tej funkcjonalności byłoby bardzo niedokładne, a dla prądu poniżej 500 mA w zasadzie niemożliwe w praktycznej realizacji, o czym wspomina producent układu. Konfigurowalny i bardzo dokładny ogranicznik prądowy całego urządzenia wykonano wykorzystując w tym celu jedną z wbudowanych funkcji układu INA226.

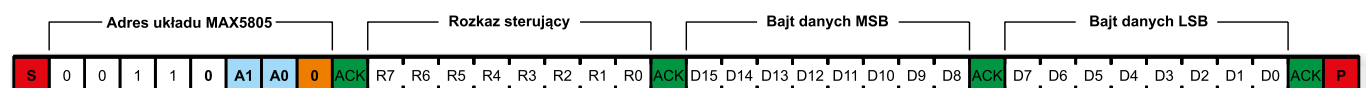
Aby zrozumieć zasadę działania zasilacza, należałoby choćby pokrótce opisać funkcjonalność układów zastosowanych w jego budowie. Zaczniemy od 12-bitowego przetwornika C/A typu MAX5805, którego napięcie wyjściowe wprowadzono na wejście nieodwracające wzmacniacza mocy i które to po 10-krotnym wzmocnieniu ustala poziom napięcia wyjściowego zasilacza powerBank. Układ MAX5805 jest dokładnym,

12-bitowym przetwornikiem C/A produkowanym przez firmę Maxim Integrated, charakteryzującym się następującymi parametrami funkcjonalnymi:

- Szeroki zakres napięcia zasilania 2,7...5,5 V.
- Wbudowane, dokładne, konfigurowalne źródło napięcia odniesienia 2,048...2,500 V i 4,096 V.
- Szybki czas ustalania się napięcia wyjściowego 6,3 μs.
- Wbudowany bufor wyjściowy typu rail-to-rail.
- Szybki interfejs komunikacyjny I<sup>2</sup>C pracujący z częstotliwością zegarową do 450 kHz.
- Asynchroniczne wejście sprzętowe LDAC.
- Konfigurowalne, asynchroniczne wejście sprzętowe AUX.
- Automatyczne zerowanie i kalibracja po włączeniu zasilania.

Oprócz typowej funkcjonalności układ MAX5805 ma specjalne wejście asynchroniczne AUX aktywne na poziomie niskim, którego funkcja jest konfigurowana. Wejście to może służyć do zerowania wyjścia przetwornika C/A lub do ustawiania tego wyjścia w określonym stanie konfigurowalnym programowo. Oprócz tego układ ma asynchroniczne wejście LDAC, które niezależnie od rozkazów sterujących przesyłanych magistralą I<sup>2</sup>C, wymusza aktualizację napięcia wyjściowego przetwornika wartością napięcia zapisaną w odpowiednim rejestrze konfiguracyjnym. Wejście takie może być przydatne w przypadku konieczności jednoczesnej aktualizacji napięć wyjściowych kilku przetworników C/A pracujących na tej samej magistrali I<sup>2</sup>C.

Układ MAX5805 jest wyposażony w szereg rejestrów, za pomocą których odbywa się współpraca przetwornika z systemem nadrzędnym. Ciekawie rozwiązano cyfrowy bufor wejściowy, który wykonano wykorzystując dwa rejestry danych oznaczone *CODE* i *DAC*. Zapis do rejestru *CODE* nie powoduje jakichkolwiek zmian napięcia wyjściowego, jest to jak gdyby rejestr tymczasowy, którego zawartość jednym rozkazem możemy przepisać na wyjście układu. Z kolei zapis do rejestru *DAC* powoduje natychmiastową zmianę napięcia wyjściowego przetwornika. Tak czy inaczej, aby poznać możliwości „drzemiące” w tym układzie warto przyjrzeć się jego podstawowym rejestrom konfiguracyjnym. Opis



S – sygnał Start magistrali I<sup>2</sup>C.

P – sygnał Stop magistrali I<sup>2</sup>C.

ACK – potwierdzenie po stronie odbiornika.

A1, A0 – sprzętowo adres układu

Rysunek 3. Konstrukcja ramki danych magistrali I<sup>2</sup>C dla operacji zapisu układu MAX5805

ograniczyć wyłącznie do tych, które są istotne z punktu widzenia aplikacji i operacji zapisu, która dla układu MAX5805 powinna być sekwencją sygnałów pokazaną na **rysunku 3**.

Co ciekawe, można tu zauważyć pewną logiczną niekonsekwencję. Otóż, niektóre rozkazy sterujące mają predefiniowaną i stałą wartość, zaś towarzyszące im dane decydują o zmienianych właściwościach układu MAX5805. Inne mają predefiniowaną wyłącznie starszą część

bajta reprezentującego dany rozkaz sterujący, podczas gdy pozostała część określa wprowadzone zmiany, zaś towarzyszące dane nie mają wtedy jakiegokolwiek znaczenia. Dość dziwne rozwiązanie, jeśli porównać je z tym, co spotykane jest najczęściej. W **ramce 1** umieszczono listę najważniejszych rozkazów sterujących układem MAX5805 wraz z opisem znaczenia poszczególnych bajtów danych im towarzyszących (przesłanie danych

towarzyszących jest konieczne, niezależnie od faktu ich znaczenia dla rozkazu sterującego).

Przetwornik MAX5805 jest on bardzo elastycznym układem, które z powodzeniem może znaleźć zastosowanie w wielu aplikacjach. W zasilaczu powerBank skorzystano ze sprzętowej funkcji wyprowadzenia LDAC na stałe dołączając je do masy zasilania. Dzięki takiemu połączeniu wykonanie rozkazu *CODE* powoduje natychmiastową zmianę napięcia

**Najważniejsze rozkazy sterujące układem MAX5805**

Rozkaz: **CODE [0x80]**

Dane towarzyszące:

Bajt MSB								Bajt LSB							
D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	X	X	X	X

Rozkaz **CODE** powoduje zapis danych towarzyszących do rejestru CODE układu MAX5805 (12 bitów reprezentujących wartość napięcia wyjściowego).

Rozkaz: **LOAD [0x90]**

Dane towarzyszące:

Bajt MSB								Bajt LSB							
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Rozkaz **LOAD** powoduje przepisanie danych znajdujących się w rejestrze CODE układu MAX5805 do jego rejestru DAC, czyli stosowną do ich zawartości zmianę napięcia wyjściowego przetwornika.

Rozkaz: **CODE\_LOAD [0xA0]**

Dane towarzyszące:

Bajt MSB								Bajt LSB							
D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	X	X	X	X

Rozkaz **CODE\_LOAD** powoduje jednoczesny zapis danych towarzyszących do rejestru CODE i DAC układu MAX5805, czyli stosowną do ich zawartości zmianę napięcia wyjściowego przetwornika.

Rozkaz: **RETURN [0x70]**

Dane towarzyszące:

Bajt MSB								Bajt LSB							
D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	X	X	X	X

Rozkaz **RETURN** powoduje zapis danych towarzyszących do specjalnego rejestru RETURN układu MAX5805 (12 bitów reprezentujących wartość napięcia wyjściowego).

Rozkaz: **REF [0x2X]**

Bajt rozkazu:

Bajt rozkazu									
0	0	1	0	D	ST	M1	M0		

Dane towarzyszące:

Bajt MSB								Bajt LSB							
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Rozkaz **REF** służy do konfiguracji źródła napięcia odniesienia układu MAX5805. Znaczenie poszczególnych bitów bajta rozkazu przedstawia się następująco:

- **D**: ustawienie tego bitu powoduje, że na wyprowadzeniu REF układu pojawi się napięcie wybranego źródła napięcia odniesienia, co pozwala na wykorzystanie go jako referencji dla innych podzespołów, lecz jednocześnie zwiększa pobór mocy przetwornika,
- **ST**: ustawienie tego bitu powoduje, że źródło napięcia odniesienia pozostaje aktywne nawet wtedy, gdy układ MAX5805 zostaje wprowadzony w stan o niskim poborze mocy (Power-down),
- **M1...M0**: ustawienia tych bitów decydują o wyborze źródła napięcia odniesienia według następującej specyfikacji: 00: zewnętrzne źródło napięcia odniesienia, 01 2.500V, 10 2.048V, 11 4.096V.

Rozkaz: **SOFTWARE [0x3X]**

Bajt rozkazu:

Bajt rozkazu									
0	0	1	1	X	S2	S1	S0		

Dane towarzyszące:

Bajt MSB								Bajt LSB							
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Przesłanie rozkazu **SOFTWARE** powoduje wykonanie przez układ MAX5805 pewnych, predefiniowanych akcji programowych, których typ zależy od ustawień bitów S2...S1 według następującej specyfikacji:

**000**: przetwornik zakończy bieżącą akcją **GATE** i wróci do ustawień poprzedzających wywołanie tejże akcji.

**001**: przetwornik wykona akcję **GATE**, co oznacza, że jego napięcie wyjściowe wynikać będzie z ustawień zapisanych w specjalnym rejestrze **DEFAULT**.

**100**: przetwornik wykona akcję **CLEAR**, co oznacza wyzerowanie zawartości rejestrów CODE i DAC.

**101**: przetwornik wykona akcję **RESET**, co oznacza przywrócenie wszystkim rejestrów konfiguracyjnym takich samych wartości jak po włączeniu zasilania.

Rozkaz: **POWER [0x40]**

Dane towarzyszące:

Bajt MSB								Bajt LSB							
X	X	X	X	X	X	X	X	P1	P0	X	X	X	X	X	X

Rozkaz **POWER** służy do zmiany trybu pracy układu MAX5805. Znaczenie bitów P1...P0 przedstawia się następująco:

**00**: normalny tryb pracy układu.

**01**: przetwornik w trybie Power-down z wyjściem dołączonym poprzez wbudowany rezystor 1 kV do masy.

**10**: przetwornik w trybie Power-down z wyjściem dołączonym poprzez wbudowany rezystor 100 kV do masy.

**11**: przetwornik w trybie Power-down z wyjściem o wysokiej impedancji (Hi-Z).

Rozkaz: **CONFIG [0x50]**

Dane towarzyszące:

Bajt MSB								Bajt LSB							
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	A2	A1	A0	X	X	X

Rozkaz **CONFIG** służy do zmiany trybu pracy asynchronicznego wejścia AUX. Znaczenie poszczególnych bitów A2...A0 przedstawia się następująco:

**011**: poziom niski na wejściu AUX spowoduje wykonanie akcji **GATE**, co oznacza, że jego napięcie wyjściowe wynikać będzie z ustawień zapisanych w specjalnym rejestrze **DEFAULT**.

**110**: poziom niski na wejściu AUX spowoduje wykonanie akcji **CLEAR**, co oznacza wyzerowanie zawartości rejestrów CODE i DAC.

**111**: wejście AUX wyłączone.

Rozkaz: **DEFAULT [0x60]**

Dane towarzyszące:

Bajt MSB								Bajt LSB							
X	X	X	X	X	X	X	X	D2	D1	D0	X	X	X	X	X

Rozkaz **DEFAULT** służy do zmiany ustawień specjalnego rejestru **DEFAULT**, czyli rejestru, który ustala wartość napięcia wyjściowego przetwornika dla akcji typu **GATE**. Znaczenie poszczególnych bitów D2...D0 przedstawia się następująco:

**000**: napięcie wyjściowe równe domyślnej wartości po włączeniu zasilania (POR).

**001**: napięcie wyjściowe równe zero (ZERO).

**010**: napięcie wyjściowe równe połowie napięcia odniesienia (MID)

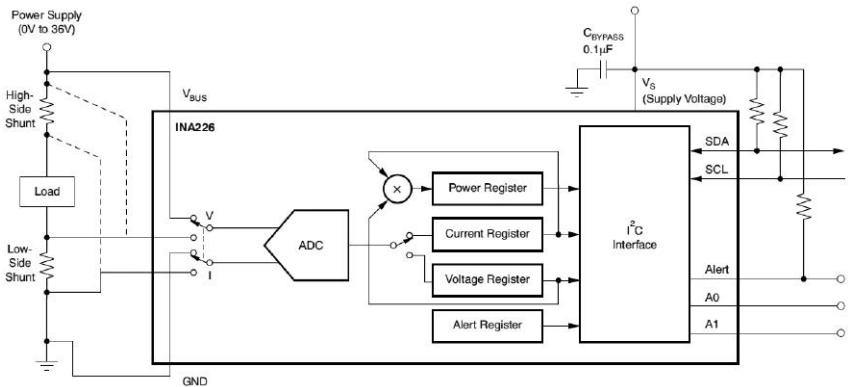
**011**: napięcie wyjściowe równe napięciu odniesienia (FULL).

**100**: napięcie wyjściowe równe napięciu wynikającemu z ustawień specjalnego rejestru **RETURN**.

wyjściowego przetwornika. Na **listingu 1** przedstawiono zawartość pliku nagłówkowego modułu odpowiedzialnego za obsługę układu MAX5805 oraz podstawowe funkcje.

Z mojego punktu widzenia, najciekawszym układem peryferyjnym zastosowanym w budowie zasilacza arbitralnego jest INA226, ponieważ charakteryzuje się niespotykaną wręcz funkcjonalnością. Układ INA226, produkcji Texas Instruments, jest specjalizowanym, bardzo dokładnym, 16-bitowym, przetwornikiem pomiarowym A/C z wejściem różnicowym, przeznaczonym do zastosowania w układach pomiarowych zbudowanych z wykorzystaniem bocznika rezystancyjnego. Układ ten wyróżnia się następującymi, wybranymi parametrami:

- Szeroki zakres napięć zasilania 2,7...5,5 V.
- Bardzo duża dokładność pomiaru rzędu 0,1%.



Rysunek 4. Schemat blokowy układu INA226

- Możliwość pracy w systemach o szerokim zakresie napięcia 0...36 V.
- Możliwość pracy w konfiguracji Low-side i High-side.
- Pomiar napięcia, prądu i mocy.
- Konfigurowalny czas przetwarzania.

- Konfigurowalna funkcja uśredniania pomiarów.
- Dwa tryby pracy: ciągły i wyzwalany.
- Możliwość alarmowania o przekroczeniu zadanego poziomu prądu, napięcia lub mocy.

Układ INA226 idealnie wpisuje się w wymagania naszej aplikacji oferując niespotykaną funkcjonalność i dokładność pomiarów. Schemat blokowy układu INA226 pokazano na **rysunku 4**.

Układ INA226 dokonuje ciągłego (lub wyzwalanego przez aplikację użytkownika) pomiaru dwóch wartości napięć: napięcia szyny zasilającej odbiornik ( $V_{BUS}$ ) oraz napięcia na zaciskach bocznika rezystancyjnego ( $V_{SHUNT}$ ) włączonego szeregowo z odbiornikiem. Na podstawie tych dwóch wielkości i wartości rejestru konfiguracyjnego *Calibration*, którego wartość zależy od wymaganej rozdzielczości pomiaru i parametrów zastosowanego bocznika rezystancyjnego, układ oblicza prąd oraz moc pobieraną przez odbiornik i udostępnia je aplikacji użytkownika za pomocą odpowiednich rejestrów oraz ustawiając flagi zakończenia konwersji. Ponadto, dzięki wyposażeniu go w grupę specjalnych rejestrów konfiguracyjnych odpowiedzialnych za porównywanie zmierzonych i obliczonych wartości z wartościami progowymi, jak również wyprowadzenie *Alert*, umożliwia generowanie alarmów po przekroczeniu zdefiniowanych przez użytkownika progów dotyczących:

REKLAMA

Listing 1. Zawartość pliku nagłówkowego modułu odpowiedzialnego za obsługę układu MAX5805 oraz ciała podstawowych funkcji

```
#define MAX5805_WRITE_ADDR 0x30 //ADDR connected to GND
#define MAX5805_READ_ADDR 0x31 //ADDR connected to GND
#define MAX5805_CODE_CMND 0x80
#define MAX5805_LOAD_CMND 0x90
#define MAX5805_CODE_LOAD_CMND 0xA0
#define MAX5805_RETURN_CMND 0x70
#define MAX5805_REFERENCE_CMND 0x20
    #define REFERENCE_DRIVEN (1<<3)
    #define REFERENCE_NOT_DRIVEN (0<<3) //Default
    #define ON_WHEN_IN_STANDBY (1<<2)
    #define OFF_WHEN_IN_STANDBY (0<<2) //Default
    #define REFERENCE_EXT 0x00 //Default
    #define REFERENCE_2500MV 0x01
    #define REFERENCE_2048MV 0x02
    #define REFERENCE_4096MV 0x03

#define MAX5805_SOFTWARE_ACTION_CMND 0x30
    #define ACTION_END 0x00 //Default
    #define ACTION_GATE 0x01
    #define ACTION_CLEAR 0x04
    #define ACTION_RESET 0x05

#define MAX5805_POWER_MODE_CMND 0x40
    #define POWER_NORMAL (0<<6) //Default
    #define POWER_DOWN_1K_TO_GND (1<<6)
    #define POWER_DOWN_100K_TO_GND (2<<6)
    #define POWER_DOWN_HI_Z (3<<6)

#define MAX5805_CONFIG_AUX_PIN_CMND 0x50
    #define AUX_AS_GATE (3<<3)
    #define AUX_AS_CLEAR (6<<3) //Default
    #define AUX_UNUSED (7<<3)

#define MAX5805_DEFAULT_CMND 0x60
    #define DEFAULT_IS_FOR (0<<5) //Default
    #define DEFAULT_IS_ZERO (1<<5)
    #define DEFAULT_IS_MID (2<<5)
    #define DEFAULT_IS_FULL (3<<5)
    #define DEFAULT_IS_RETURN (4<<5)

void MAX5805writeCommand(uint8_t Command, uint16_t Data)
{
    i2cStart();
    i2cWriteByte(MAX5805_WRITE_ADDR); //MAX5805 WR address
    i2cWriteByte(Command); //Command to write
    i2cWriteByte(Data>>8); //Data MSB to write
    i2cWriteByte(Data & 0xFF); //Data LSB to write
    i2cStop();
}

void MAX5805init(void)
{
    //Konfiguracja źródła napięcia odniesienia dla DACa
    MAX5805writeCommand(MAX5805_REFERENCE_CMND|REFERENCE_DRIVEN | ON_WHEN_IN_STANDBY | REFERENCE_4096MV, 0x0000);
    //Konfiguracja wyprowadzenia AUX DACa: nieuzywane (ustawienie niestandardowe)
    MAX5805writeCommand(MAX5805_CONFIG_AUX_PIN_CMND, AUX_UNUSED);
}

void MAX5805setVoltage(uint16_t Voltage) //[mV]
{
    //Każdy rozkaz CODE powoduje natychmiastową zmianę na wyjściu DAC, gdyż wejście LDAC połączone jest z GND
    MAX5805writeCommand(MAX5805_CODE_CMND, Voltage<<4);
}
```

napięcia szyny zasilającej, napięcia na boczniku pomiarowym i mocy pobieranej przez odbiornik. Dodatkowo, producent tego peryferium wyposażył je w możliwość niezależnej konfiguracji czasu przetwarzania przetwornika ADC oddzielnie dla napięcia szyny zasilającej i napięcia bocznika rezystancyjnego jak również możliwość uśredniania pomiarów tychże wielkości spośród wielu, kolejnych pomiarów. Dzięki takiemu podejściu zwiększono wydawnie funkcjonalności użytkownika układu i możliwość dostosowania trybu jego pracy do wymagań konkretnej aplikacji. Pamiętać należy jedynie, że wydłużenie czasu przetwarzania wbudowanego przetwornika ADC wydawnie zwiększa uzyskaną dokładność pomiaru, zaś uśrednianie większej liczby próbek zdecydowanie polepsza odstęp sygnału od szumu, w związku z czym w rzeczywistych aplikacjach należy dobrać maksymalne i możliwe do zaakceptowania wartości tychże parametrów kierując się dla przykładu szybkością zmian badanych przebiegów, jako kryterium wyjściowym. Podobnie jak poprzednio, by poznać możliwości „drzemiące” w układzie INA226, warto przyjrzeć się jego podstawowemu rejestrom konfiguracyjnym. Tym razem korzystać będziemy zarówno z operacji zapisu jak i odczytu rejestrów konfiguracyjnych, w związku z czym na **rysunku 5** pokazano sekwencję sygnałów magistrali I<sup>2</sup>C dla obu operacji. W **ramce 2** umieszczono listę najważniejszych rejestrów układu INA226 (uwaga: 16-bitowych!) wraz z opisem znaczenia umieszczonych tam danych.

Na **listingu 2** przedstawiono zawartość pliku nagłówkowego modułu odpowiedzialnego za obsługę układu INA226, zaś na **listingu 3** podstawowe funkcje pozwalających na jego zastosowanie w zasilaczu powerBank.

### Moduł sterujący

Schematu ideowy modułu sterującego pokazano na **rysunku 6**. Jest to nieskomplikowany system mikroprocesorowy, którego „sercem” jest mikrokontroler ATmega32A taktowany zewnętrznym rezonatorem kwarcowym o częstotliwości 12 MHz. Wybór tego typu mikrokontrolera z szerokiej palety układów produkowanych przez firmę Atmel był podyktowany niską ceną i wielkością dostępną, nieulotnej pamięci EEPROM, gdyż program obsługi przechowuje w niej szereg konfigurowalnych ustawień użytkownika (ponad 800 bajtów danych!), gdy sam program obsługi aplikacji zajmuje jedynie 36% pamięci Flash). Głównym zadaniem mikrokontrolera w przedstawionym układzie jest obsługa interfejsu użytkownika, który w tym wypadku stanowi:

- 9 mikroprzełączników dających bezpośredni dostęp do podstawowych funkcji zasilacza (dwa z nich wyposażone z sygnalizacyjne diody LED).

### Najważniejsze rejestry układu INA226

Rejestr: CONFIGURATION [0x00]

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
RST	X	X	X	AVG2	AVG1	AVG0	BU-SCT2	BU-SCT1	BU-SCT0	SHCT2	SHCT1	SHCT0	M2	M1	M0

Rejestr **CONFIGURATION** służy do konfiguracji podstawowych parametrów pracy wbudowanego w układ INA226 przetwornika ADC. Znaczenie poszczególnych bitów przedstawia się następująco:

- **RST**: ustawienie tego bitu wymusza zerowanie układu INA226 i powrót ustawień wszystkich rejestrów konfiguracyjnych do wartości jak po włączeniu zasilania.
- **AVG2...AVG0**: ustawienia tych bitów determinują liczbę pomiarów wykonywanych przez przetwornik ADC w celu uśrednienia wartości wynikowych (napięć szyny zasilającej i bocznika) umieszczonych następnie w stosownych rejestrach danych. Co oczywiste, uśrednianie coraz większej liczby pomiarów zwiększa wydawnie dokładność pomiarów, lecz z drugiej strony wydłuża sumaryczny czas konwersji co nie zawsze jest dopuszczalne. Znaczenie poszczególnych ustawień tychże bitów przedstawia się następująco (wynikiem ustawień jest liczba uśrednianych próbek): 000 1, 001 4, 010 16, 011 64, 100 128, 101 256, 110 512, 111 1024.
- **BUSCT2... BUSCT0**: ustawienia tych bitów determinują czas przetwarzania (konwersji) przetwornika ADC dla pomiaru napięcia szyny zasilającej  $V_{BUS}$ . Znaczenie poszczególnych ustawień tychże bitów przedstawia się następująco: 000 140µs, 001 204µs, 010 332µs, 011 588µs, 100 1.1ms, 101 2.116ms, 110 4.156ms, 111 8.244ms.
- **SHCT2... SHCT0**: ustawienia tych bitów determinują czas przetwarzania (konwersji) przetwornika ADC dla pomiaru napięcia bocznika pomiarowego  $V_{SHUNT}$ . Znaczenie poszczególnych ustawień tychże bitów jest analogiczna, jak w przypadku pomiaru napięcia szyny zasilającej.
- **M2... M0**: ustawienia tych bitów determinują tryb pracy przetwornika ADC. Znaczenie poszczególnych ustawień tychże bitów przedstawiono w **tabeli 1**.

Tabela 1. Znaczenie ustawień bitów M2...M0 rejestru CONFIGURATION

M2...M0	Tryb pracy przetwornika ADC
000	Power-down
001	Pomiar napięcia bocznika (wyzwalany)
010	Pomiar napięcia szyny zasilającej (wyzwalany)
011	Pomiar napięcia bocznika i szyny zasilającej (wyzwalany)
100	Power-down
101	Pomiar napięcia bocznika (ciągły)
110	Pomiar napięcia szyny zasilającej (ciągły)
111	Pomiar napięcia bocznika i szyny zasilającej (ciągły)

Rejestr: SHUNT VOLTAGE [0x01]

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
S	SD14	SD13	SD12	SD11	SD10	SD9	SD8	SD7	SD6	SD5	SD4	SD3	SD2	SD1	SD0

Rejestr **SHUNT VOLTAGE** przechowuje 16-bitowy (ze znakiem, w standardzie U2) wynik przetwarzania napięcia bocznika pomiarowego  $V_{SHUNT}$ . Dostęp do tego rejestru z poziomu magistrali I<sup>2</sup>C nie podlega żadnym ograniczeniom, jednak wartość tam umieszczona jest prawidłowa dopiero po zakończeniu pomiaru stosownego napięcia (zakończeniu przetwarzania) lub po zakończeniu serii pomiarów, w przypadku wykorzystania mechanizmu uśredniania pomiarów. Wartość najmniej znaczącego bitu dla tego rejestru wynosi 2,5 µV.

Rejestr: BUS VOLTAGE [0x02]

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
X	BD14	BD13	BD12	BD11	BD10	BD9	BD8	BD7	BD6	BD5	BD4	BD3	BD2	BD1	BD0

Rejestr **BUS VOLTAGE** przechowuje 15-bitowy wynik przetwarzania napięcia szyny zasilającej  $V_{BUS}$ . Dostęp do tego rejestru z poziomu magistrali I<sup>2</sup>C nie podlega żadnym ograniczeniom, jednak wartość tam umieszczona jest prawidłowa dopiero po zakończeniu pomiaru stosownego napięcia (zakończeniu przetwarzania) lub po zakończeniu serii pomiarów, w przypadku wykorzystania mechanizmu uśredniania pomiarów. Wartość najmniej znaczącego bitu dla tego rejestru wynosi 1,25 mV.

Rejestr: POWER [0x03]

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
PD15	PD14	PD13	PD12	PD11	PD10	PD9	PD8	PD7	PD6	PD5	PD4	PD3	PD2	PD1	PD0

Rejestr **POWER** przechowuje 16-bitowy wynik obliczeń mocy pobieranej przez odbiornik. Dostęp do tego rejestru z poziomu magistrali I<sup>2</sup>C nie podlega żadnym ograniczeniom, jednak wartość tam umieszczona jest prawidłowa dopiero po zakończeniu pomiarów napięć szyny zasilającej i bocznika. Wartość najmniej znaczącego bitu dla tego rejestru zależna jest od wybranej przez użytkownika rozdzielczości pomiaru prądu odbiornika (**CURRENT\_LSB**), o czym później, i wynosi 25\* **CURRENT\_LSB**.

Rejestr: CURRENT [0x04]

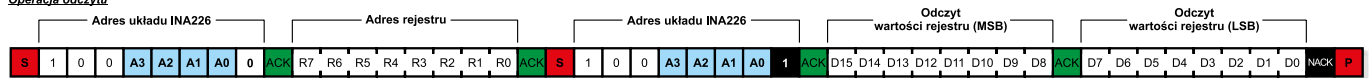
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
S	CD14	CD13	CD12	CD11	CD10	CD9	CD8	CD7	CD6	CD5	CD4	CD3	CD2	CD1	CD0

Rejestr **CURRENT** przechowuje 16-bitowy (ze znakiem, w standardzie U2) wynik obliczeń prądu pobieranego przez odbiornik. Prąd ten obliczany jest na podstawie poniższej zależności (użyte nazwy reprezentują wartości umieszczone w stosownych rejestrach układu) **CURRENT = (SHUNT\_VOLTAGE\*CALIBRATION)/2048**.

## Operacja zapisu



## Operacja odczytu



S – sygnał Start magistrali I2C.

P – sygnał Stop magistrali I2C.

ACK – potwierdzenie po stronie odbiornika.

NACK – brak potwierdzenia po stronie mikrokontrolera (koniec operacji odczytu).

A3, A2, A1, A0 – sprzętowy adres układu.

Rysunek 5. Konstrukcja ramki danych magistrali I<sup>2</sup>C dla operacji zapisu i odczytu układu INA226

Wartość najmniej znaczącego bitu tego rejestru równa jest wybranej w procedurze obliczania wartości dla rejestru kalibracyjnego, rozdzielczości pomiaru prądu odbiornika (CURRENT\_LSB). Dostęp do tego rejestru z poziomu magistrali I<sup>2</sup>C nie podlega żadnym ograniczeniom, jednak wartość tam umieszczona jest prawidłowa dopiero po zakończeniu pomiaru napięcia bocznika.

Rejestr: CALIBRATION [0x05]

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
X	BD14	BD13	BD12	BD11	BD10	BD9	BD8	BD7	BD6	BD5	BD4	BD3	BD2	BD1	BD0

Rejestr CALIBRATION przechowuje 15-bitową wartość kalibracji niezbędną dla przeprowadzenia przez układ INA226 obliczeń prądu i mocy pobieranej przez odbiornik. Potrzeba wprowadzenia takiego, dodatkowego rejestru wynika z faktu, iż układ INA226 mierzy tak naprawdę wyłącznie napięcie bocznika i szyny zasilającej i na ich podstawie wyznacza inne wartości, w związku z czym, jeśli nie dysponowałby jakąkolwiek informacją o rezystancji zastosowanego bocznika (i wymaganej rozdzielczości obliczeń), nie byłby w stanie dostarczyć gotowych wartości prądu i mocy pobieranej przez odbiornik. Aby temu sprostać, do rejestru CALIBRATION należy wpisać wartość, która zależy od oczekiwanej rozdzielczości pomiaru (czyli wartości najmniej znaczącego bitu) i wartości zastosowanego bocznika rezystancyjnego. Wartość rejestru CALIBRATION wyznaczamy na podstawie wzoru  $CALIBRATION = (5120 / (CURRENT\_LSB * SHUNT\_RESISTOR))$ , gdzie wartość CURRENT\_LSB jest wyrażona w [mA], natomiast wartość SHUNT\_RESISTOR w [mΩ].

Rejestr: MASK/ENABLE [0x06]

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
SOL	SUL	BOL	BUL	POL	CNVR	X	X	X	X	X	AFF	CVRF	OVF	APOL	LEN

Rejestr MASK/ENABLE służy do konfiguracji bardzo ciekawej funkcjonalności, jaką udostępnił układ INA226 a mianowicie możliwości zgłaszania sprzętowego alarmu (dedykowane wyprowadzenie ALERT) po przekroczeniu przez wybrane wielkości mierzone czy też obliczone zadane progno wyzwalania. Znaczenie poszczególnych bitów tego rejestru przedstawia się następująco:

- SOL:** ustawienie tego bitu powoduje wywołanie alarmu po przekroczeniu przez napięcie bocznika wartości progowej zdefiniowanej w rejestrze ALERT LIMIT.
- SUL:** ustawienie tego bitu powoduje wywołanie alarmu w przypadku, gdy napięcie bocznika spadnie poniżej wartości progowej zdefiniowanej w rejestrze ALERT LIMIT.
- BOL:** ustawienie tego bitu powoduje wywołanie alarmu po przekroczeniu przez napięcie szyny zasilającej wartości progowej zdefiniowanej w rejestrze ALERT LIMIT.
- BUL:** ustawienie tego bitu powoduje wywołanie alarmu w przypadku, gdy napięcie szyny zasilającej spadnie poniżej wartości progowej zdefiniowanej w rejestrze ALERT LIMIT.
- POL:** ustawienie tego bitu powoduje wywołanie alarmu po przekroczeniu przez moc pobieraną przez odbiornik wartości progowej zdefiniowanej w rejestrze ALERT LIMIT.
- CNVR:** ustawienie tego bitu powoduje wywołanie alarmu po zakończeniu bieżącej konwersji napięć (i wykonaniu stosownych obliczeń) i jest jednoznaczne z gotowością układu INA226 do wykonania kolejnych pomiarów.
- AFF:** flaga, która jest ustawiana za każdym razem, gdy wystąpi alarm od przekroczenia wartości progowych. Pozwala na rozróżnienie przez aplikację użytkownika, czy wyprowadzenie ALERT zgłosiło alarm od przekroczenia wartości progowych czy po zakończeniu konwersji pomiarów napięć, w przypadku wykorzystywania tej ostatniej funkcjonalności.
- CVRF:** flaga, która jest ustawiana po zakończeniu bieżącej konwersji napięć (to znaczy wszystkich konwersji w ramach całego procesu uśredniania pomiarów, jeśli korzysta się z tej funkcjonalności).
- OVF:** flaga, która jest ustawiana w przypadku wystąpienia błędów obliczeń arytmetycznych. W takim wypadku wartości dostępne w rejestrach CURRENT I POWER mogą nie być poprawne.
- APOL:** ustawienia tego bitu determinują polaryzację wyprowadzenia ALERT, czyli stan aktywny w przypadku wystąpienia alarmu według następującej specyfikacji: 0 aktywny poziom niski, 1 aktywny poziom wysoki.
- LEN:** ustawienia tego bitu determinują funkcjonalność zatraskiwania stanu wyprowadzenia ALERT (i stosownych flag) po wystąpieniu alarmu. Po wyzerowaniu tego bitu wyprowadzenie ALERT (i stosowne flagi) powróci do swojego stanu nieaktywnego, gdy tylko zdarzenie wywołujące alarm ustąpi. W przeciwnym wypadku wyprowadzenie ALERT i stosowne flagi pozostaną w stanie aktywnym do czasu wykonania operacji odczytu rejestru MASK/ENABLE.

Rejestr: ALERT LIMIT [0x07]

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
AL15	AL14	AL13	AL12	AL11	AL10	AL9	AL8	AL7	AL6	AL5	AL4	AL3	AL2	AL1	AL0

Rejestr ALERT LIMIT przechowuje 16-bitową wartość progno zadziałania dla mechanizmu alarmowania.

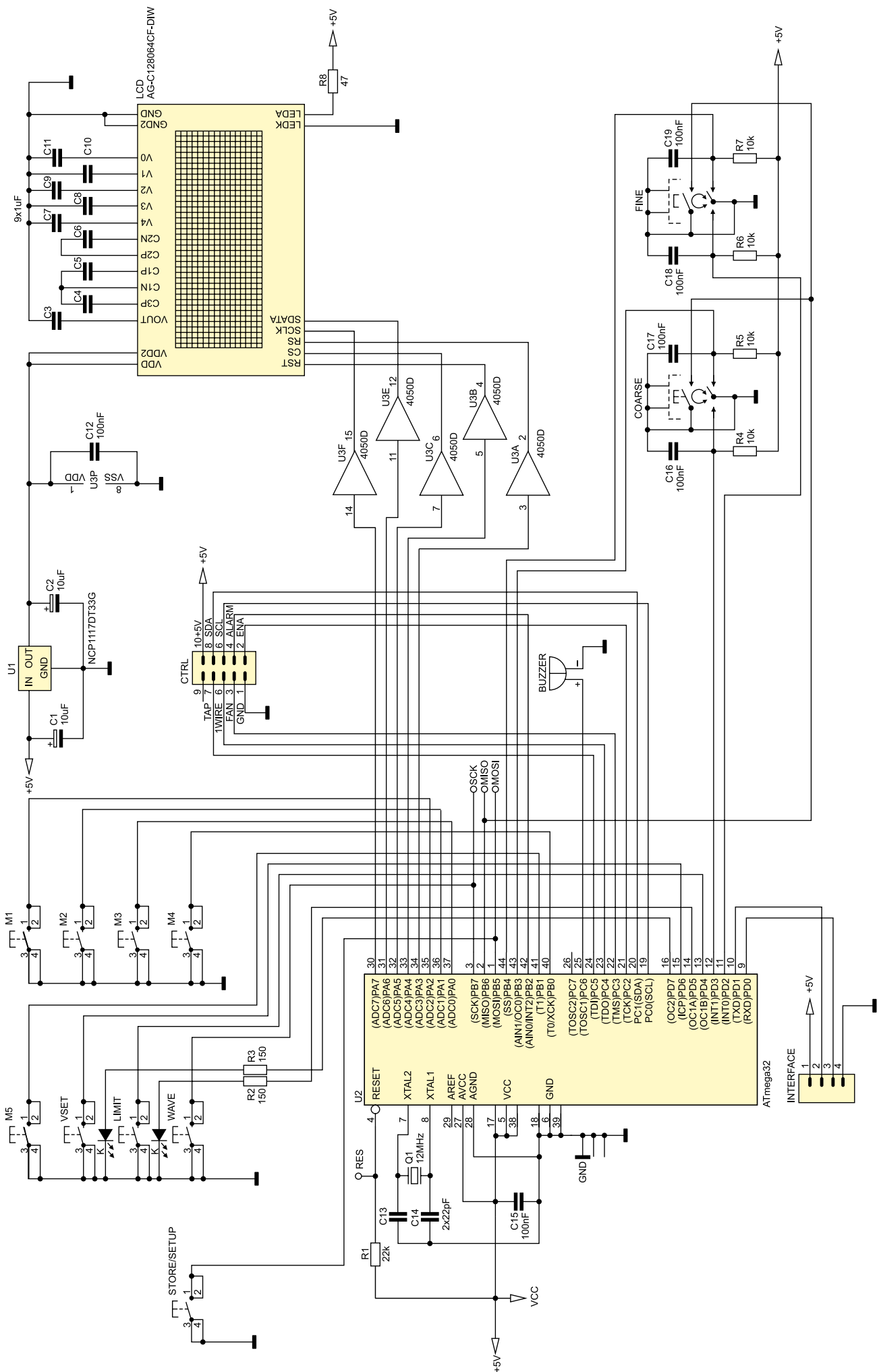
- 2 enkodery przeznaczone do zgrubnej i dokładnej regulacji edytowanych parametrów (w tym wypadku, do obsługi tych elementów wykorzystano przerwanie zewnętrzne INT0/INT1 mikrokontrolera).
- Wyświetlacz graficzny typu COG o rozdzielczości 128x64 piksele wyposażony w popularny kontroler ST7565R.
- Buzzer piezoelektryczny,
- Szeregowy, dwukierunkowy, asynchroniczny interfejs komunikacyjny pracujący z prędkością 57600 bps.

Z uwagi na fakt, iż zastosowany typ wyświetlacza graficznego zasilany jest napięciem 3,3 V, zaś mikrokontroler i cały system po stronie modułu mocy, napięciem 5V, przewidziano stosowny stabilizator napięcia zasilania wyświetlacza U1 (NCP1117DT33G) oraz jednokierunkowy konwerter poziomów logicznych U3 (4050D). W takim wypadku jest to rozwiązanie całkowicie wystarczające, gdyż zastosowany typ wyświetlacza korzysta z interfejsu SPI, lecz wyłącznie w trybie zapisu. Dodatkowe zadania, jakie realizuje mikrokontroler wynikają z wymagań modułu mocy i sygnałów, które wyprowadzono na złącze CTRL. Są to:

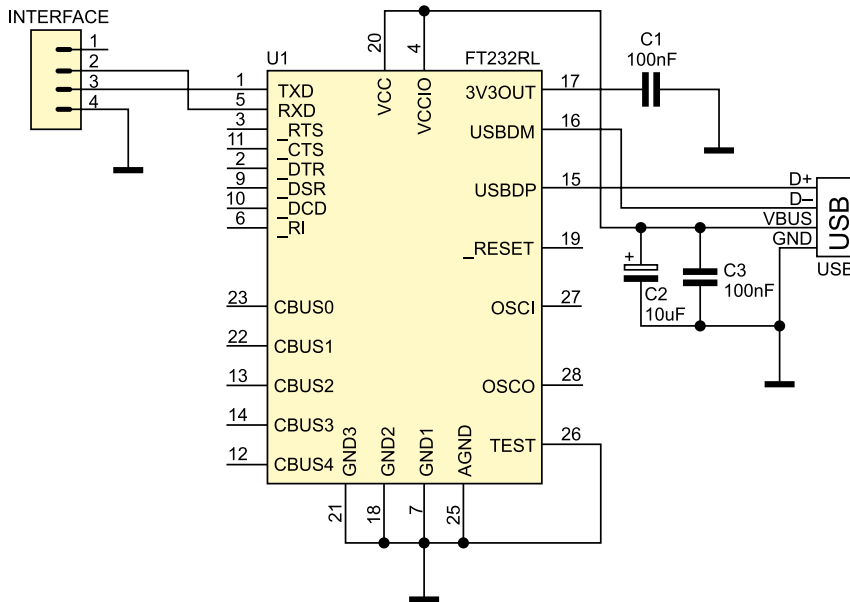
- Obsługa sprzętowej magistrali I<sup>2</sup>C (w mikrokontrolerach Atmela nazywanej TWI), przy której udziale odbywa się komunikacja z układami MAX5805 i INA226 (piny złącza oznaczone SDA i SCL).
- Obsługa programowego interfejsu 1-wire, za którego pomocą mikrokontroler komunikuje się ze scalonym termometrem DS18S20 umieszczonym na module mocy (pin złącza oznaczony 1WIRE).

REKLAMA





Rysunek 6. Schemat ideowy modułu sterującego zasilacza powerBank



Rysunek 7. Schemat ideowy modułu interfejsu szeregowego zasilacza powerBank

Listing 2. Zawartość pliku nagłówkowego modułu odpowiedzialnego za obsługę układu INA226

```

#define SHUNT_RESISTOR_VALUE 10 // [mohm]
#define CHOSEN_CURRENT_LSB 1 // [mA]
#define CALCULATED_CALIBRATION_VALUE (5120 / (CHOSEN_CURRENT_LSB * SHUNT_RESISTOR_VALUE))

#define INA226_WRITE_ADDR 0x80 // A1..A0 connected to GND
#define INA226_READ_ADDR 0x81 // A1..A0 connected to GND

#define INA226_CONFIG_REG 0x00
#define SOFTWARE_RESET (1<<15)
#define AVERAGES_1 (0<<9) // Default
#define AVERAGES_4 (1<<9)
#define AVERAGES_16 (2<<9)
#define AVERAGES_64 (3<<9)
#define AVERAGES_128 (4<<9)
#define AVERAGES_256 (5<<9)
#define AVERAGES_512 (6<<9)
#define AVERAGES_1024 (7<<9)
#define BUS_CONV_TIME_140US (0<<6)
#define BUS_CONV_TIME_204US (1<<6)
#define BUS_CONV_TIME_332US (2<<6)
#define BUS_CONV_TIME_588US (3<<6)
#define BUS_CONV_TIME_1100US (4<<6) // Default
#define BUS_CONV_TIME_2116US (5<<6)
#define BUS_CONV_TIME_4156US (6<<6)
#define BUS_CONV_TIME_8244US (7<<6)
#define SHUNT_CONV_TIME_140US (0<<3)
#define SHUNT_CONV_TIME_204US (1<<3)
#define SHUNT_CONV_TIME_332US (2<<3)
#define SHUNT_CONV_TIME_588US (3<<3)
#define SHUNT_CONV_TIME_1100US (4<<3) // Default
#define SHUNT_CONV_TIME_2116US (5<<3)
#define SHUNT_CONV_TIME_4156US (6<<3)
#define SHUNT_CONV_TIME_8244US (7<<3)
#define MODE_POWER_DOWN (0<<0)
#define MODE_SHUNT_TRIG (1<<0)
#define MODE_BUS_TRIG (2<<0)
#define MODE_SHUNT_BUS_TRIG (3<<0)
#define MODE_ADC_OFF (4<<0)
#define MODE_SHUNT_CONT (5<<0)
#define MODE_BUS_CONT (6<<0)
#define MODE_SHUNT_BUS_CONT (7<<0) // Default

#define INA226_SHUNT_VOLTAGE_REG 0x01
#define INA226_BUS_VOLTAGE_REG 0x02
#define INA226_POWER_REG 0x03
#define INA226_CURRENT_REG 0x04
#define INA226_CALIBRATION_REG 0x05

#define INA226_ALARM_ENABLE_REG 0x06
#define SHUNT_OVER_VOLTAGE_ALARM (1<<15)
#define SHUNT_UNDER_VOLTAGE_ALARM (1<<14)
#define BUS_OVER_VOLTAGE_ALARM (1<<13)
#define BUS_UNDER_VOLTAGE_ALARM (1<<12)
#define OVER_POWER_ALARM (1<<11)
#define CONVERSION_READY_ALARM (1<<10)
#define ALERT_FUNCTION_FLAG (1<<4)
#define CONVERSION_READY_FLAG (1<<3)
#define MATH_OVERFLOW_FLAG (1<<2)
#define ALARM_PIN_ACTIVE_HIGH (1<<1)
#define ALARM_PIN_ACTIVE_LOW (0<<1)
#define ALARM_LATCH_ENABLED (1<<0)
#define ALARM_LATCH_DISABLED (0<<0)

#define INA226_ALERT_LIMIT_REG 0x07
#define INA226_DIE_ID_REG 0xFF

```

- Obsługa przekaźnika przełączającego zaczepty transformatora mocy zasilającego wzmacniacz OPA549 (pin złącza oznaczony TAP).
- Obsługa wentylatora wspomagającego chłodzenie radiatora elementów mocy (pin złącza oznaczony FAN).
- Obsługa sterowania wyjściem wzmacniacza mocy (pin złącza oznaczony ENA).
- Obsługa mechanizmu alarmowania układu INA226, czyli realizacja zabezpieczenia nadprądowego (pin złącza oznaczony ALARM wykorzystujący przerwanie INT2 mikrokontrolera).

Mikroprzełączniki oznaczone *VSET*, *LIMIT*, *WAVE* i *STORE/SETUP* dają bezpośredni dostęp do 5 trybów pracy zasilacza powerBank, których to znaczenie przedstawia się następująco:

- **VSET**: w tym trybie pracy zasilacza regulacji podlega wyłącznie napięcie wyjściowe urządzenia. Enkoder oznaczony **COARSE** przeznaczony jest do zgrubej regulacji tego napięcia (*krok 200mV*), zaś enkoder oznaczony **FINE** do jego dokładnej regulacji (*krok 10mV*).
- **LIMIT**: w tym trybie pracy zasilacza regulacji podlega wyłącznie wartość ogranicznika prądowego urządzenia. Enkoder oznaczony **COARSE** przeznaczony jest do zgrubej regulacji wartości prądu ogranicznika prądowego (*krok 200 mA*), zaś enkoder oznaczony **FINE** do jego dokładnej regulacji (*krok 10 mA*).
- **WAVE**: ten tryb pracy przeznaczony jest do skonfigurowania parametrów przebiegu arbitralnego, który ma zostać wygenerowany przez zasilacz jak i uruchomienia samej procedury generującej tak sparametryzowany przebieg. Enkoder oznaczony **COARSE** przeznaczony jest do zgrubej regulacji edytowanego parametru, zaś enkoder oznaczony **FINE** do jego dokładnej regulacji.
- **STORE**: ten tryb pracy pozwala na parametryzację i uruchomienie funkcji pozwalającej na „zrzut” parametrów prądu i napięcia odbiornika poprzez interfejs szeregowy do aplikacji PC. Enkoder

Listing 3. Ciało podstawowych funkcji umożliwiających obsługę układu INA226

```

void INA226writeRegister(uint8_t registerAddr, uint16_t registerValue)
{
    i2cStart();
    i2cWriteByte(INA226_WRITE_ADDR); //INA226 WR address
    i2cWriteByte(registerAddr); //Written register address
    i2cWriteByte(registerValue>>8); //Register MSB value
    i2cWriteByte(registerValue & 0xFF); //Register LSB value
    i2cStop();
}

uint16_t INA226readRegister(uint8_t registerAddr)
{
    register uint16_t readValue;
    i2cStart();
    i2cWriteByte(INA226_WRITE_ADDR); //INA226 WR address
    i2cWriteByte(registerAddr); //Written register address
    i2cStart(); //Restart
    i2cWriteByte(INA226_READ_ADDR); //INA226 RD address
    readValue = i2cReadByte(ACK)<<8;
    readValue |= i2cReadByte(NACK);
    i2cStop();
    return readValue;
}

void INA226init(uint16_t Configuration)
{
    INA226writeRegister(INA226_CONFIG_REG, Configuration); //Konfiguracja INA226
    INA226writeRegister(INA226_CALIBRATION_REG, CALCULATED_CALIBRATION_VALUE); //Kalibracja INA226
}

void INA226setOverCurrentAlarm(uint16_t Current) // [mA]
{
    register uint16_t shuntVoltage;
    /* Konfiguracja mechanizmu alarmowania: rodzaj alarmu, rodzaj aktywnego stanu, konfiguracja zatrzaszkiwania */
    INA226writeRegister(INA226_ALARM_ENABLE_REG, SHUNT_OVER VOLTAGE_ALARM|ALARM_PIN_ACTIVE_LOW|ALARM_LATCH_DISABLED);
    /* Obliczamy wartość napięcia bocznika, jaką należy wpisać do rejestru alarmowania by odpowiadała ona żądanej wartości prądu alarmowania
    shuntVoltage = (Current [mA] * SHUNT_RESISTOR_VALUE [mohm])/2.5, gdyż LSB dla SHUNT_VOLTAGE_REG wynosi 2,5uV */
    shuntVoltage = (Current*SHUNT_RESISTOR_VALUE*2UL) / 5;
    INA226writeRegister(INA226_ALERT_LIMIT_REG, shuntVoltage);
}

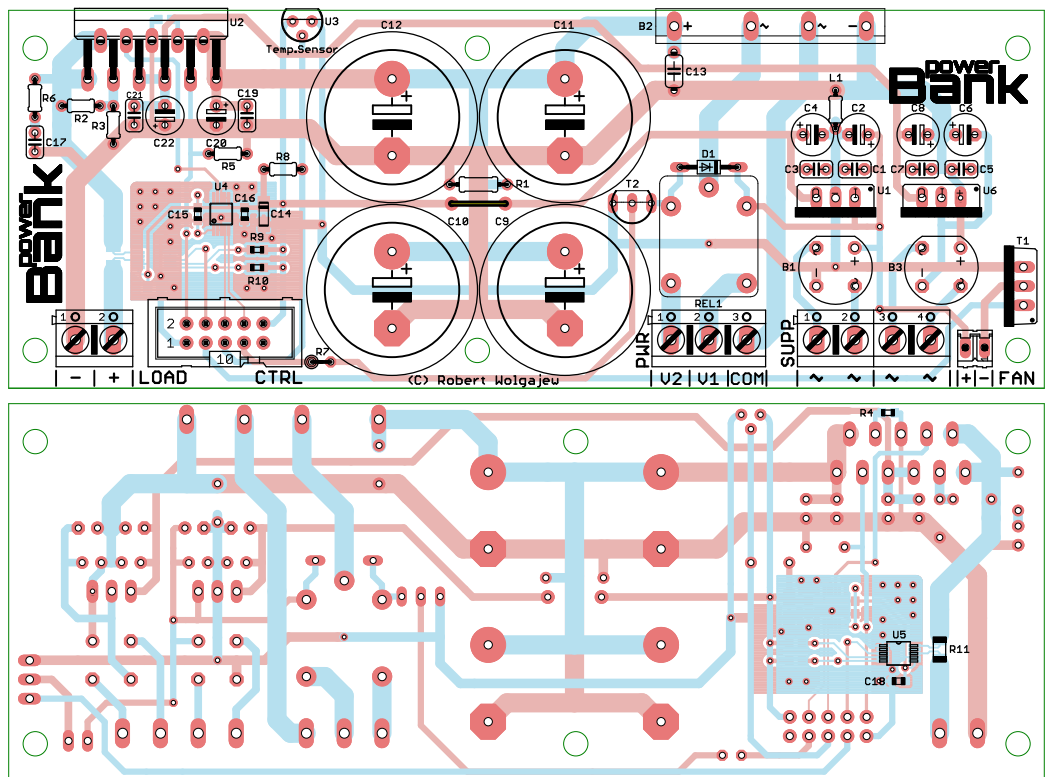
uint16_t INA226readCurrent(void) //CHOSEN_CURRENT_LSB = 1mA
{
    register uint16_t readValue;
    readValue = INA226readRegister(INA226_CURRENT_REG);
    return readValue;
}

uint16_t INA226readBusVoltage(void) // [mV]
{
    register uint16_t readValue;
    readValue = INA226readRegister(INA226_BUS_VOLTAGE_REG); //LSB = 1.25mV
    readValue += readValue>>2; //readValue = 1.25*readValue -> otrzymamy wartość w [mV]
    return readValue;
}
    
```

oznaczony **COARSE** przeznaczony jest do zgrubnej regulacji edytowanego parametru, zaś enkoder oznaczony **FINE** do jego dokładnej regulacji.

- **SETUP**: ten tryb pracy pozwala skonfigurowanie podstawowych ustawień sprzętowych zasilacza powerBank. Enkoder oznaczony **COARSE** przeznaczony jest do zgrubnej regulacji edytowanego parametru, zaś enkoder oznaczony **FINE** do jego dokładnej regulacji.

Mikroprzełączniki oznaczone M1...M5 służą do odczytu lub zapisu bieżących parametrów pracy urządzenia (napięcia wyjściowego i prądu ogranicznika prądowego) w przypadku pracy w trybach **VSET** lub **LIMIT** lub też do odczytu/ zapisu parametrów przebiegu arbitralnego,



Rysunek 8. Schemat montażowy modułu mocy zasilacza powerBank



Fotografia 9. Widok zmontowanego modułu mocy zasilacza powerBank

w przypadku pracy w trybie **WAVE**. Jak widać, przewidziano 5 banków pamięci ustawień urządzenia i 5 banków pamięci ustawień przebiegu arbitralnego, co czyni zasilacz powerBank urządzeniem na wskroś funkcjonalnym i nowoczesnym.

### Moduł interfejsu szeregowego

Schemat modułu interfejsu szeregowego pokazano na **rysunku 7**. Jest on typową aplikacją układu FT232RL, który to stanowi sprząc pomiędzy interfejsem USART mikrokontrolera a interfejsem USB komputera PC. Interfejs szeregowy pozwala, w tym przypadku, na realizację następujących funkcjonalności:

- Funkcji **STORE**, czyli cyklicznego „zrzutu” wartości prądu i napięcia odbiornika, według następującej specyfikacji: „UXXXX,IXXXX”, gdzie wartość napięcia (XXXX) wysyłana jest z rozdzielczością 10mV (0...2500), zaś wartość prądu (XXXX) z rozdzielczością 1mA (0...5000).
- Funkcji sterowania bieżącymi parametrami zasilacza, przy pomocy prostych komend złożonych z ciągów znaków ASCII przesyłanych przy udziale interfejsu USB, według następującej specyfikacji: napięcie wyjściowe „UXXXX” (rozdzielczość 10 mV, zakres 0...2500), prąd ogranicznika prądowego „IXXXX” (rozdzielczość 10 mA, zakres 0...500), przy czym należy mieć na uwadze, iż zawsze konieczne jest przesłanie kompletu znaków

(tj. zer nieznaczących), nawet wtedy, gdy są one nieznaczące z punktu widzenia reprezentującej je wartości.

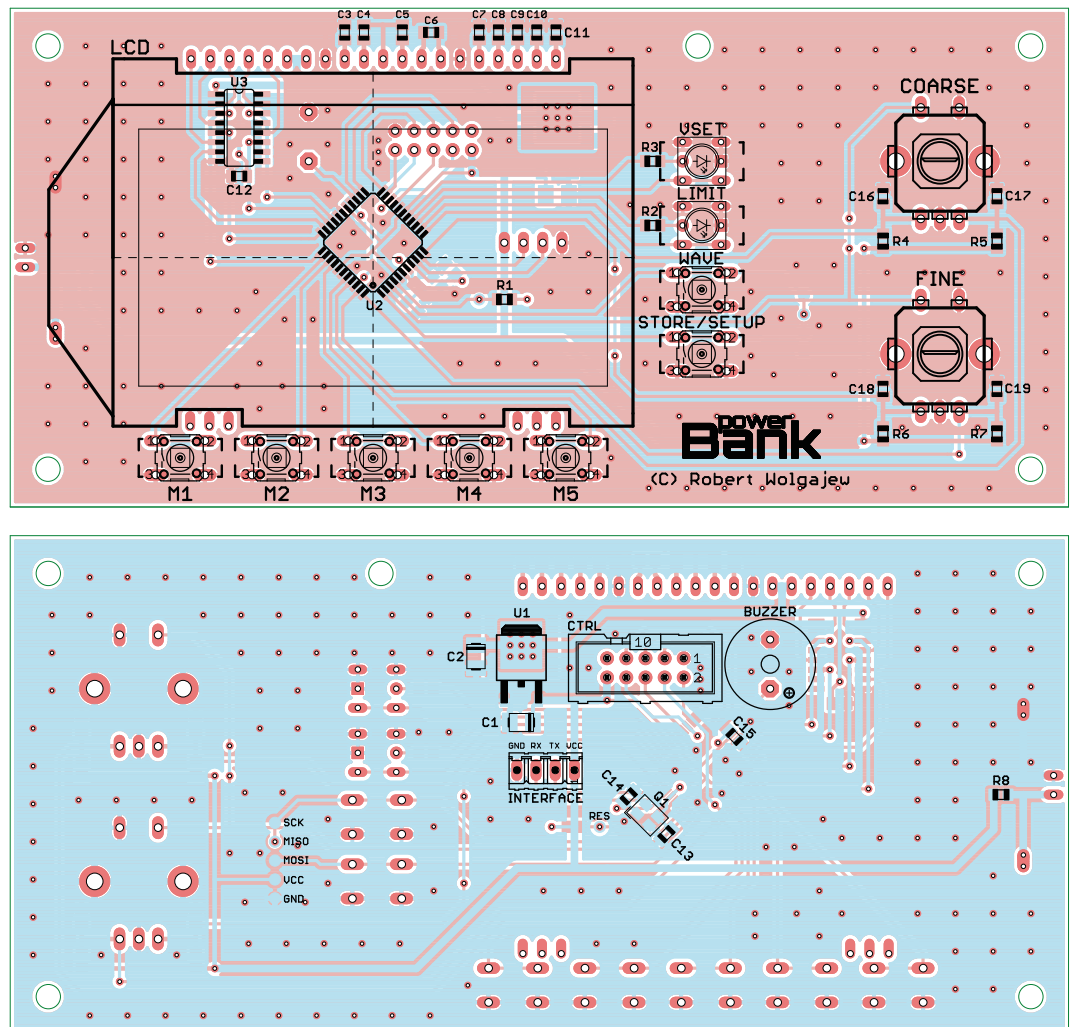
Parametry transmisji dla tych funkcjonalności zostały ustawione na stałe: 57600 bps, 8, n, 1. Jako rozwiązanie opcjonalne (zamiast przedstawionego modułu) można rozważyć podłączenie do złącza modułu sterującego oznaczonego **INTERFACE** modułu Bluetooth np. HC-05 i obsługę transmisji z aplikacji mobilnej, co staje się coraz bardziej modne. Jest to tym bardziej łatwe, iż na wspomnianym złączu wyprowadzono sygnały TX i RX

szeregowej magistrali danych oraz napięcia zasilania: VCC (+5V) i GND.

### Montaż

Montaż poszczególnych modułów urządzenia powerBank zostanie opisany oddzielnie, gdyż ich konstrukcja mechaniczna znacznie różni się pod względem typów zastosowanych elementów jak i samej logiki montażu.

**Moduł mocy.** Schemat montażowy modułu mocy zasilacza powerBank pokazano na **rysunku 8**. Jego montaż rozpoczynamy od wlotowania układów scalonych typu SMD, które umieszczone są po obu stronach laminatu. Mimo, że są to podzespoły o dość gęstym rastrze wyprowadzeń i w niewielkich obudowach, ich przylutowanie jest możliwe bez użycia plecionki rozlutowniczej czy specjalistycznych narzędzi. W tym wypadku z powodzeniem wystarczy zwykła stacja lutownicza, spora dawka topnika i niewielkiej grubości stop lutowniczy. Następnie montujemy pozostałe elementy bierne typu SMD, po czym przystępujemy do lutowania pozostałych elementów biernych o małych gabarytach przeznaczonych do montażu przewlekane, typu rezystory, niewielkie kondensatory ceramiczne czy diody. Na tym etapie, a przed montażem elementów o większych rozmiarach,



Rysunek 10. Schemat montażowy modułu sterującego zasilacza powerBank

warto nanieść nieco cyny na wszystkie szerokie ścieżki znajdujące się po obydwu stronach obwodu drukowanego, które przewodzić będą duże prądy i które w tym celu nie zostały pokryte tzw. soldermaską. Po tej czynności przystępujemy do montażu pozostałych elementów biernych oraz półprzewodnikowych o większych gabarytach, a na końcu przylutowujemy przekaźnik, złącza i elementy mocy. Widok zmontowanego modułu mocy zasilacza powerBank pokazano na **fotografii 9**.

**Moduł sterujący.** Schemat montażowy modułu sterującego zasilacza powerBank

pokazano na **rysunku 10**. Jego montaż rozpoczynamy od przylutowania układów scalonych oraz rezonatora kwarcowego SMD po odpowiednich stronach laminatu. Przylutowanie tego ostatniego elementu może przysporzyć trudności z uwagi na rodzaj obudowy i trudno dostępne wyprowadzenia, jednak w prosty sposób można poradzić sobie z tym problemem. Wystarczy pocynować grubą warstwą cyny wyprowadzenia układu oraz pola na płycie drukowanej, a następnie przyłożyć tak przygotowany element do płytki nagrzewając kolejne miejsca

połączeń, aby spowodować skuteczne ich zlutowanie.

Po zamontowaniu elementów jak wyżej, przystępujemy do montażu pozostałych elementów SMD, po czym montujemy wszystkie przyciski, enkodery a na samym końcu złącza połączeniowe i buzzer piezoelektryczny (od spodu płytki). Ostatnim krokiem jest montaż podświetlenia wyświetlacza LCD, które to należy umiejscowić w taki sposób, aby znaleźć się w prawidłowym położeniu w odniesieniu do bryły modułu tegoż wyświetlacza (jeśli występuje jako oddzielny element). Na samym końcu montujemy sam moduł wyświetlacza mocując go w taki sposób, aby górna płaszczyzna jego obudowy (szkła) znalazła się o 1 do 2 mm poniżej płaszczyzny wyznaczonej przez końcówki osi przycisków M1...M5.

Po przylutowaniu wszystkich elementów z osi przycisków wyposażonych w zintegrowane podświetlenie tj. z przycisków VSET i LIMIT zdejmujemy oryginalne, przezroczyste elementy mechaniczne przeznaczone do ich wciskania, gdyż w naszym urządzeniu rolę tę pełnić będą specjalnie zaprojektowane, prostokątne elementy mechaniczne (przezroczyste przyciski będące elementami frontu urządzenia). Widok zmontowanego modułu sterującego zasilacza powerBank pokazano na **fotografii 11**.

**Moduł interfejsu.** Schemat montażowy modułu interfejsu zasilacza powerBank pokazano na **rysunku 12**. W tym wypadku montaż rozpoczynamy od przylutowania układu FT232RL, co – nie ukrywam – wymaga pewnej wprawy. Najprostszym sposobem montażu elementów o takim zagęszczeniu wyprowadzeń niewymagającym jednocześnie posiadania specjalistycznego sprzętu jest użycie typowej stacji lutowniczej, dobrej jakości cyny z odpowiednią ilością topnika oraz plecionki rozlutowniczej, która umożliwi usunięcie nadmiaru cyny spomiędzy wyprowadzeń układów. Należy przy tym uważać by nie uszkodzić termicznie tegoż elementu. Następnie lutujemy pozostałe elementy SMD a na samym końcu złącze połączeniowe i gniazdo USB. Widok zmontowanego modułu interfejsu zasilacza powerBank pokazano na **fotografii 13**.

### Obsługa

Przy tworzeniu oprogramowania zasilacza powerBank priorytetami były ergonomia i prostota obsługi. Zgodnie z tym, co napisano już wcześniej, urządzenie powerBank może pracować w 5 trybach pracy, czemu towarzyszy wyświetlenie odpowiednich ekranów Menu oraz stosowna funkcjonalność elementów regulacyjnych, jednak niezależnie od trybu pracy enkoder oznaczony **COARSE** zawsze służy do **zgrubej** regulacji edytowanego parametru, zaś enkoder oznaczony **FINE**, do regulacji **dokładnej**, tak

### Wykaz elementów

#### Moduł sterujący

**Rezystory:** (SMD 0805)

R1: 22 kΩ

R2, R3: 150 Ω

R4...R7: 10 kΩ

R8 – 47 Ω

**Kondensatory:** (SMD 0805)

C1, C2: 10 μF/16 V (SMD „B”/3528-21R)

C3...C11: 1 μF

C12, C15...C19: 100 nF

C13, C14: 22 pF

**Półprzewodniki:**

U1: NCP1117DT33G (DPAK)

U2: ATmega32A (TQFP44)

U3: 4050D (SO16)

**Inne:**

LCD: wyświetlacz graficzny AG-C128064CF-DIW (COG, 128×64 pikseli, sterownik ST7565R)

Q1: 12 MHz (SMD, 12.00M-CFPX180)

BUZZER: buzzer piezoelektryczny 5 V

M1...M5, WAVE, STORE/SETUP: microswitch

TACT-69N-F (wysokość 9,5 mm)

VSET: microswitch HIGHLY PB6149L-3 (zielony LED)

LIMIT: microswitch HIGHLY PB6149L-1 (czerwony LED)

COARSE, FINE: enkoder ze zintegrowanym przyciskiem (oś moletowana fi=6 mm, wysokość całkowita 25 mm)

INTERFACE: gniazdo męskie 1×4 PIN z zatrzaskiem typ NCDW-04

CTRL: gniazdo IDC męskie 2×5 PIN typu

ZL231-10PG

#### Moduł mocy

**Rezystory:**

R1: 2,2 kΩ/1 W

R2: 18 kΩ/0,25 W/1%

R3: 2 kΩ/0,25 W/1%

R4: 7,5 kΩ/1% (SMD 0603)

R5, R8: 4,7 kΩ/0,125 W

R6: 10 Ω/0,25 W

R7: 2,2 kΩ/0,125 W

R9, R10: 4,7 kΩ (SMD 0603)

R11: 10 mΩ/500 mW/1% (SMD 1206)

**Kondensatory:**

C1, C3, C5, C7, C17, C19, C21: 100 nF (ceram., R=2,54 mm)

C2, C4, C6, C8: 220 μF/16V (R=2,54 mm)

C9...C12: 4700 μF/50 V (R=10 mm)

C13: 100 nF (ceram., R=5 mm)

C14: 10 μF/10 V (SMD 3216-18R)

C15, C16, C18: 100 nF (SMD 0603)

C20, C22: 10 μF/50 V (tantal., R=2,54 mm)

**Półprzewodniki:**

U1: 7805 (TO220)

U2: OPA549T (TO220-11)

U3: DS18S20 (TO92)

U4: MAX5805 (μMAX10)

U5: INA226 (MSOP-10)

U6: 7905 (TO220)

T1: BUZ11 (TO220)

T2: BC547 (TO92)

D1: 1N4148 (DO35)

B1, B3: mostek prost. W005M 1 A/50 V (okrągły, R=5 mm)

B2: mostek KBK8B 8 A/100 V (KBK)

**Inne:**

L1: dławik osiowy, miniaturowy 10 μH (R=5 mm)

REL1: przekaźnik HFKW-012-1ZW

LOAD: złącze śrubowe typu AK500/2

PWR: złącze śrubowe typu AK500/3

SUPP: złącze śrubowe typu AK500/4

FAN: gniazdo męskie pionowe NS25-W2P (2 pin)

CTRL: gniazdo męskie, rastrowe 2×5 pin

z wycięciem (raster 2,54 mm)

#### Moduł interfejsu

**Kondensatory:**

C1, C3: 100 nF (SMD 0805)

C2: 10 μF/10 V (SMD „A”/3216-18W)

**Półprzewodniki:**

U1: FT232RL (SSOP28)

**Inne:**

USB – gniazdo USB-B do druku typu USB-B-S-RA

INTERFACE – gniazdo męskie 1×4 PIN z zatrzaskiem typu NCDW-04

#### Pozostałe elementy

Transformator TEZ6/D230/9-9V lub podobny (2×9 V, 5...6 VA)

Transformator toroidalny (230/15/15 V, 5 A)

Gniazdo bananowe 4 mm, czarne, typu BS-244LSM-B

Gniazdo bananowe 4 mm, czerwone, typu BS-244LSM-R

Gniazdo bezpiecznikowe, rurkowe, typu

GBA-ZM

Gniazdo zasilające ADAM TECH IEC-C-1

(10 A)

Gałka aluminiowa ze wskaźnikiem typu MENTOR 5615.6614 (oś 6 mm, Ø15×15 mm)

– 2 szt.

Radiator 150×70, h=25 mm, profil P52317

Wentylator 12V typu SUNON KD1206PHS3

(60 mm×60 mm×15 mm)

Przełącznik MRS-101A-C3 NIEBIESKI

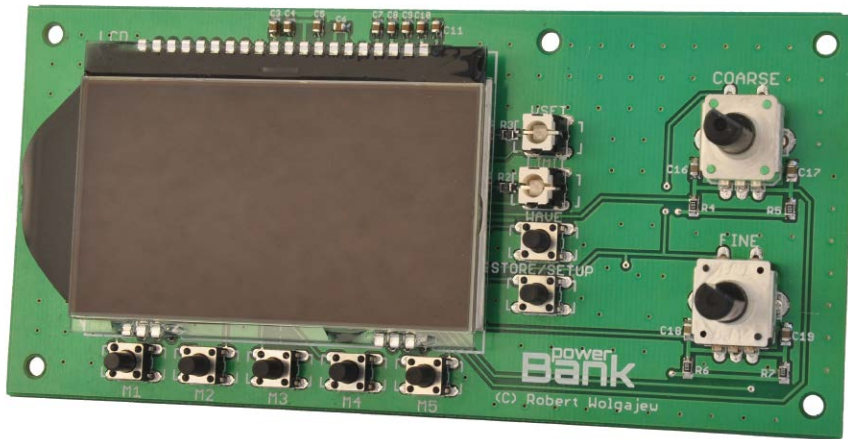
(6 A/250 V AC)

Nóżka do obudowy NF-004 (średnica 16 mm)

– 4 szt.

Przyciski przezroczyste 11×5 mm (głębokość

5 mm, kołnierz 1 mm) – 9 szt.



Fotografia 11. Widok zmontowanego modułu sterującego zasilacza powerBank

jak ma to miejsce w wypadku „zwykłych”, analogowych rozwiązań. Ponadto, przycisk zintegrowany w ośce enkoderów, oznaczony OK, (niezależnie od tego, którego enkodera używamy) służy zawsze do wejścia/wyjścia w tryb edycji wybranego (podświetlonego) parametru w przypadku ekranów Menu, gdzie regulacji poddawać można wiele parametrów (ekrany WAVE, STORE, SETUP). Ponadto, stanowią pracy urządzenia w trybie VSET (ustawiania napięcia wyjściowego) lub LIMIT (ustawiania wartości ogranicznika prądowego) towarzyszy zapalenie odpowiedniej diody w przycisku przeznaczonym do włączenia tegoż trybu pracy. W przypadku trybu VSET jest to zielona dioda LED, zaś w przypadku trybu LIMIT jest to dioda czerwona. Wygląd ekranu Menu urządzenia powerBank dla trybów VSET i LIMIT pokazano na rysunku 14.

W górnej części znajduje się informacja o poziomie napięcia wyjściowego (rozdzielczość 10 mV), ikonka „strzałki”, której pojawienie się świadczy o aktywności zewnętrznego interfejsu USB i nadchodzeniu rozkazów sterujących pracą zasilacza, ikonka wentylatora, której obecność świadczy o włączeniu wentylatora wspomagającego proces chłodzenia elementów mocy, informacja o temperaturze radiatora elementów mocy oraz ikonka „kłódki”, której pojawienie się świadczy o zablokowaniu przycisków na panelu urządzenia (poza przyciskiem OK zintegrowanym w ośkach enkoderów). Funkcja zablokowania przycisków na panelu urządzenia aktywowana/dezaktywowana jest po każdorazowym, długim naciśnięciu ośki dowolnego enkodera i służy zabezpieczeniu przed przypadkową zmianą parametrów wyjściowych urządzenia. W dolnej części wyświetlacza znajduje się informacja o rzeczywistym prądzie pobieranym z zasilacza przez odbiornik (rozdzielczość 1mA) oraz wartość nastawy ogranicznika prądowego (rozdzielczość 10mA). W trybach pracy VSET i LIMIT krótkie wciśnięcie przycisków M1...M5 powoduje odczyt parametrów pracy urządzenia (napięcia wyjściowego i prądu

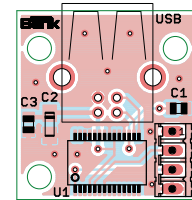
ogranicznika prądowego) z nieulotnej pamięci EEPROM mikrokontrolera (jednej z 5. pamięci), zaś ich długie naciśnięcie zapis tychże parametrów do wybranego banku pamięci, czemu każdorazowo towarzyszy odpowiednia sygnalizacja wbudowanego buzzera piezoelektrycznego. Dla porządku dodam, iż po włączeniu zasilania urządzenie automatycznie czyta nastawy umieszczone w banku M1 pamięci ustawień (VSET/LIMIT).

Kolejnym trybem pracy urządzenia powerBank jest tryb umożliwiający generowanie arbitralnych przebiegów napięcia zdefiniowanych przez użytkownika oznaczony umownie jako WAVE. Wygląd ekranu Menu dla trybu WAVE pokazano na rysunku 15.

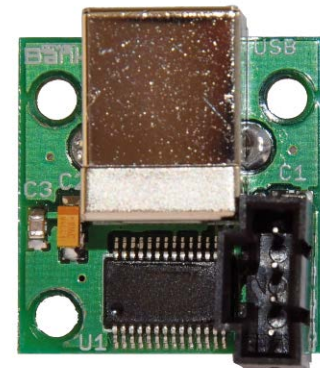
W tym trybie pracy urządzenia możliwe jest zdefiniowanie, zapamiętanie i uruchomienie generowania przez zasilacz powerBank napięciowego przebiegu arbitralnego, który może składać się maksymalnie z 40 punktów opisanych docelowym napięciem wyjściowym danego punktu (rozdzielczość 10 mV) i czasem osiągnięcia tegoż napięcia (rozdzielczość 1ms). Napięciem startowym jest w tym wypadku bieżące napięcie wyjściowe zasilacza ( $V_{SET}$ ), przy czym w przypadku, gdy korzystamy z funkcjonalności zapętlenia generowanego przebiegu, napięcie

Rysunek 14. Wygląd ekranu Menu urządzenia powerBank dla trybów VSET i LIMIT

Rysunek 15. Wygląd ekranu Menu urządzenia powerBank dla trybu WAVE



Rysunek 12. Schemat montażowy modułu interfejsu zasilacza powerBank



Fotografia 13. Widok zmontowanego modułu interfejsu zasilacza powerBank

to przyjmnie w drugim i każdym kolejnym kroku, wartość napięcia ostatniego punktu przebiegu. Jak widać, ekran Menu umożliwia zdefiniowanie liczby punktów ( $1 \div 40$ ), faktu zapętlenia przebiegu ( $1/0$ ), napięcia każdego z punktów ( $0 \div 25.00V$ ) oraz czasu osiągnięcia zadanego napięcia ( $1 \div 1000ms$ ). Dowolny z enkoderów służy w tym wypadku do poruszania się po opcjach tego Menu, zaś przycisk OK enkodera do wejścia/wyjścia w edycję wyświetlanego parametru. W trybie edycji parametrów każdy z enkoderów pełni swoje indywidualne funkcje regulacyjne. Wejście w opcję „Start” powoduje rozpoczęcie procesu generowania przebiegu arbitralnego, co sygnalizowane jest zmianą tego opisu na „In progress!”. W tym czasie wyłączana jest możliwość sterowania pracą zasilacza poprzez zewnętrzny interfejs komunikacyjny USB. Zakończenie procesu generowania przebiegu arbitralnego następuje samoistnie (po przejściu przez wszystkie punkty i w przypadku niezapętlonego przebiegu)

REKLAMA

lub może być przerwane w każdej chwili poprzez krótkie naciśnięcie przycisku WAVE. Po zakończeniu tegoż procesu opis „In progress!” zostanie z powrotem zamieniony na „Start” a urządzenie powraca do trybu edycji ustawień Menu WAVE włączając jednocześnie możliwość sterowania poprzez zewnętrzny interfejs USB. W tym trybie pracy urządzenia powerBank krótkie wciśnięcie przycisków M1...M5 powoduje odczyt parametrów zdefiniowanego przez użytkownika przebiegu arbitralnego z nieulotnej pamięci EEPROM mikrokontrolera (jednej z 5 pamięci), zaś ich długie naciśnięcie zapis bieżącego przebiegu do wybranego banku pamięci czemu każdorazowo towarzyszy odpowiednia sygnalizacja wbudowanego buzzera piezoelektrycznego oraz pojawia się stosowna informacja na ekranie urządzenia na czas zapisu. Definiując parametry przebiegu arbitralnego należy mieć na uwadze fakt, iż stosowna regulacja napięcia, czyli jego przebieg pomiędzy kolejnymi punktami, odbywa się w sposób dyskretny, więc przy dużych różnicach napięcia pomiędzy kolejnymi punktami i krótkich czasach napięcie wyjściowe zasilacza będzie regulowane w sposób, nazwijmy to, bardzo „skokowy”, gdyż wielkość kroku regulacji obliczana jest na podstawie następującej zależności  $V = |V_n - V_{n-1}| / T_n$ , przy czym dla kroku pierwszego  $V_{n-1} = V_{SET}$ .

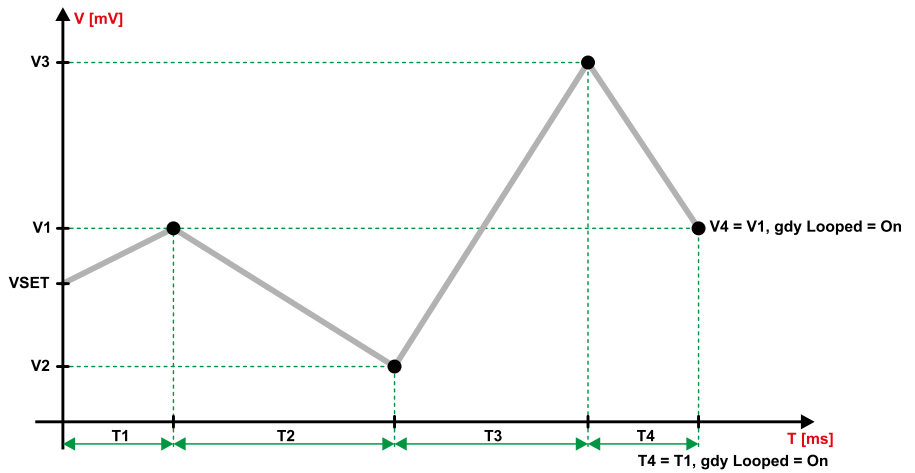
Wykres przykładowego, zapętłonego przebiegu arbitralnego  $V=f(T)$  z zaznaczeniem poszczególnych wielkości dla przypadku zdefiniowania 3 punktów przebiegu pokazano na **rysunku 16**.

Kolejnym trybem pracy urządzenia powerBank jest tryb STORE, dla którego wygląd ekranu Menu pokazano na **rysunku 17**.

Tryb ten umożliwia włączenie (1) lub wyłączenie (0) funkcji cyklicznego wysyłania bieżących wartości napięcia i prądu odbiornika poprzez zewnętrzny interfejs USB. Możliwe jest ustawienie odstępu czasu pomiędzy kolejnymi transmisjami danych z zakresu 100...1000 ms. Konstrukcję wysyłanej ramki danych opisano już wcześniej, więc nie będziemy jej tu ponownie przypominać.

Ostatnim trybem pracy urządzenia powerBank jest tryb SETUP, dla którego wygląd ekranu Menu pokazano na **rysunku 18**.

Tryb ten umożliwia ustawienie podstawowych właściwości sprzętowych zasilacza takich jak poziom kontrastu wyświetlacza LCD, offset dla napięcia wyjściowego, wartość temperatury radiatora elementów mocy, przy której nastąpi włączenie wbudowanego wentylatora, czy stan specjalnej funkcji *Retrip*. Słowa komentarza wymaga pozycja „Offset”, dla której zakres dostępnych wartości wynosi -9...+9 co odpowiada korekcie w zakresie -90...+90mV. Funkcjonalność tą wprowadzono by umożliwić zniwelowanie niedokładności rezystorów umieszczonych w ujemnej pętli sprzężenia zwrotnego układu OPA549



**Rysunek 16. Wykres przykładowego, zapętłonego przebiegu arbitralnego dla przypadku 3 punktów**

i co za tym idzie kompensacji nieprecyzyjnej regulacji napięcia wyjściowego. Funkcja Offset powoduje po prostu dodanie lub odjęcie od ustawionej wartości napięcia wyjściowego pewnej stałej definiowanej przez użytkownika, dzięki czemu rzeczywiste napięcie wyjściowe urządzenia powerBank ustawione w ramach interfejsu użytkownika może być skorygowane np. według pomiaru dokonanego przez dokładny multimetr. Regulacja parametru Offset powoduje natychmiastowe zmiany napięcia wyjściowego od wartości zadanej w Menu VSET.

Dla porządku dodam, iż opuszczenie trybów pracy WAVE, STORE i SETUP możliwe jest poprzez ponowne wciśnięcie przycisku przeznaczonego do wejścia w stosowny tryb pracy urządzenia, co spowoduje przejście urządzenia w tryb pracy aktywny przed wywołaniem bieżącego, czyli VSET lub LIMIT. Oczywiście, jak zawsze, zostanie to zasygnalizowane zapaleniem odpowiedniej diody sygnalizacyjnej.

**Ogranicznik prądowy**

**Wbudowany ogranicznik prądowy aktywny jest zawsze, niezależnie od trybu pracy, w jakim znajduje się urządzenie!** Jego zadziałanie następuje w chwili, gdy prąd pobierany przez odbiornik przekroczy wartość nastawioną w trybie LIMIT urządzenia (0...5,00 A z krokiem 10 mA). W takim wypadku urządzenie odłączy wyjście końcówki mocy od odbiornika, wyłączy odbieranie danych przez zewnętrzny interfejs USB i zatrzyma ewentualny proces generowania przebiegu arbitralnego, jeśli wcześniej znajdowało się w tym stanie. Dodatkowo, aby zasygnalizować zadziałanie ogranicznika prądowego, migać zacznie czerwona dioda LED wbudowana w przycisk LIMIT oraz usłyszymy długi dźwięk wbudowanego buzzera piezoelektrycznego. W tym stanie pracy jedynym aktywnym elementem interfejsu użytkownika będzie właśnie przycisk LIMIT, który służy do skasowania alarmu i powrotu urządzenia do trybu pracy



**Rysunek 17. Wygląd ekranu Menu urządzenia powerBank dla trybu STORE**



**Rysunek 18. Wygląd ekranu Menu urządzenia powerBank dla trybu SETUP**

przed zadziałania ogranicznika prądowego, ale tylko pod warunkiem zmniejszenia się prądu pobieranego przez odbiornik poniżej wartości nastawy ogranicznika prądowego! W przeciwnym wypadku, urządzenie pozostanie w takim stanie i naciśnięcie przycisku LIMIT nie spowoduje żadnej akcji, choć tak naprawdę, aby uszczegółowić opis tej funkcjonalności trzeba napisać, iż za każdym naciśnięciem przycisku LIMIT (po zadziałaniu ogranicznika prądowego) zasilacz podejmuje próbę załączenia końcówki mocy i powolnego najazdu (w 100 krokach, w czasie 500 ms) napięcia wyjściowego do wartości  $V_{SET}$ . W przypadku, gdy ogranicznik prądowy zadziałał w czasie generowania przebiegu arbitralnego, po ustąpieniu alarmu, urządzenie powróci do trybu WAVE, czyli nie nastąpi automatyczna kontynuacja tegoż procesu a przerwaniu analogiczne z manualnym działaniem po stronie użytkownika (wciśnięciem przycisku WAVE przerywającym generowanie przebiegu). Dla porządku dodam, że ustąpieniu alarmu towarzyszyć będzie automatyczne załączenie zewnętrznego interfejsu danych USB. Dodatkowo przewidziano możliwość automatycznego wyjścia z trybu zadziałania ogranicznika prądu wyjściowego, za co odpowiada wspomniana wcześniej funkcja *Retrip* Menu SETUP. W przypadku aktywności tej

funkcji stosowna próba podejmowana będzie cyklicznie, co 2 sekundy po zadziałaniu ogranicznika prądowego.

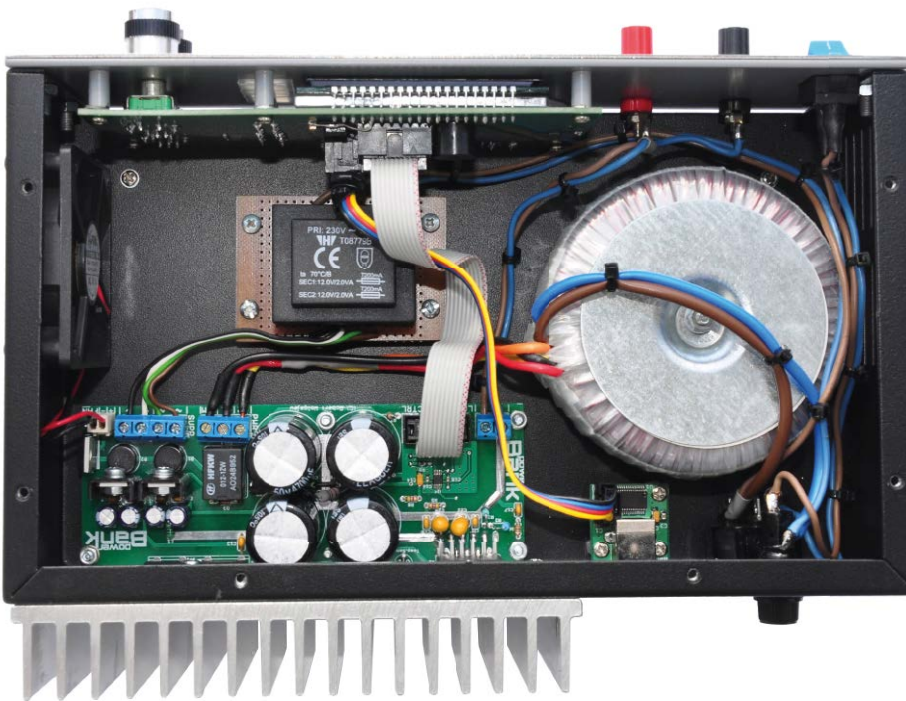
## Obudowa

Projektując zasilacz powerBank chciałem by jego konstrukcja mechaniczna nie ustępowała rozwiązaniom dostępnym w handlu, a nawet w niektórych aspektach je przewyższała. Nie rozumiem, wszak, dlaczego producenci większości (jeśli nie wszystkich) zasilaczy dostępnych w handlu czynią ich obudowy bardzo wąskimi a za to bardzo głębokimi, przez co trudno zasilacz taki zmieścić na stole by skierowany był w stronę użytkownika wbudowanym weń wyświetlaczem i nie przeszkadzał jednocześnie w swobodnym jego używaniu. Przecież, gdyby zasilacz taki miał konstrukcję podobną do laboratoryjnych przyrządów pomiarowych (choćby oscyloskopów cyfrowych) byłby znacznie wygodniejszy,

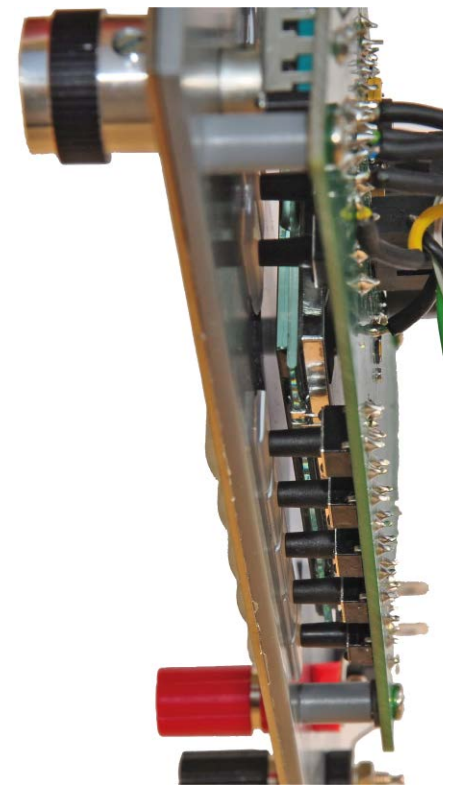
jeśli chodzi o umiejscowienie na takim stole, nie mówiąc już o tym, że wtedy można by ustawić urządzenia jedno na drugim. Tak czy inaczej samodzielne wykonanie profesjonalnej obudowy jest, jak myślę, poza zasięgiem większości majsterkowiczów, gdyż wymaga posiadania specjalistycznych narzędzi, w związku z czym zwróciłem się do firmy „FOSTER” o pomoc w realizacji tego typu projektu. Dzięki współpracy z panem Mateuszem Świdowiczem i jego wielkiemu zaangażowaniu w projekt, powstała konstrukcja, której wnętrze pokazano na **fotografii 19**.

Jak widać, zaprojektowano bardzo zwartą konstrukcję korpusu wykonaną z blachy stalowej o grubości 1mm malowanej proszkowo (czarny mat z delikatną strukturą), do której mocowany jest front urządzenia wykonany z blachy aluminiowej o grubości 2mm malowanej specjalną farbą imitującą powierzchnię aluminium. Zabieg taki konieczny był

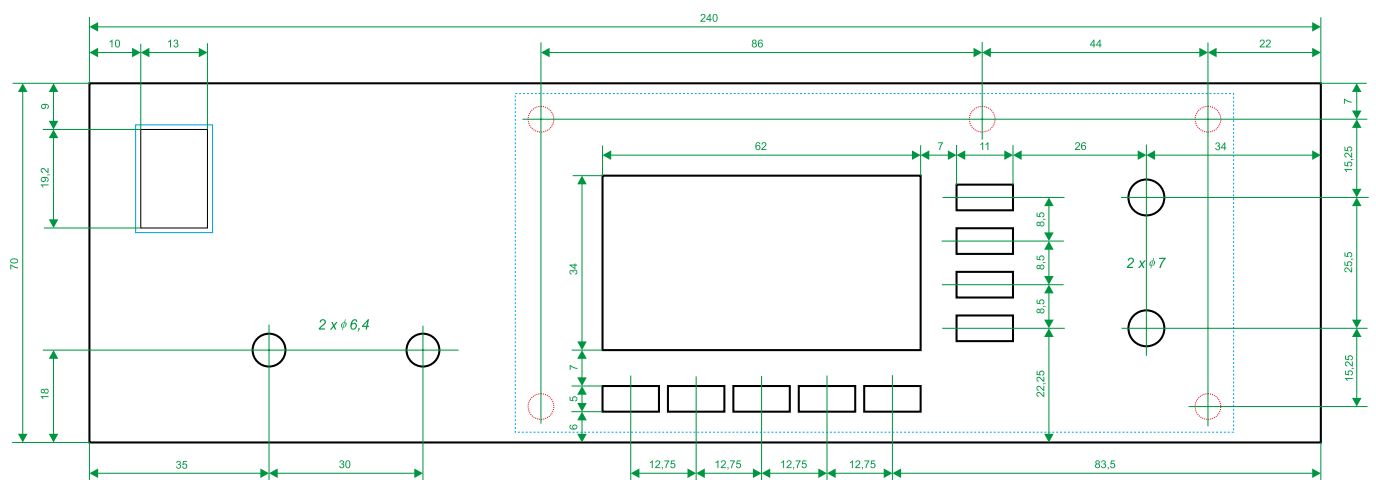
ze względu na fakt, iż we froncie zamocowano na wcisk specjalne śruby i tuleje, które po pierwsze pozwalają na przykręcenie frontu urządzenia do korpusu obudowy (4 śruby wprasowane po bokach frontu), a po drugie służą do przykręcenie płytki drukowanej modułu sterującego do panela urządzenia (4 gwintowane tulejki M3 o długości 11 mm). By front urządzenia uczynić jeszcze bardziej atrakcyjnym wizualnie, w przypadku wersji prototypowej pokazanej na zdjęciach, na tak przygotowany panel naklejono dodatkowy element w postaci nierdzewnej, szczotkowanej blachy stalowej o grubości 1mm. Płytki drukowane modułów mocy i interfejsu zewnętrznego zamocowano do podstawy korpusu przy pomocy tulejek dystansowych (odpowiednio o długości 5 mm i 9 mm), zaś



Fotografia 19. Wygląd wnętrza obudowy zasilacza powerBank widziany od góry



Fotografia 21. Sposób montażu modułu sterującego i przycisków funkcyjnych



Rysunek 20. Wygląd frontu urządzenia powerBank z zaznaczeniem wszystkich wymiarów

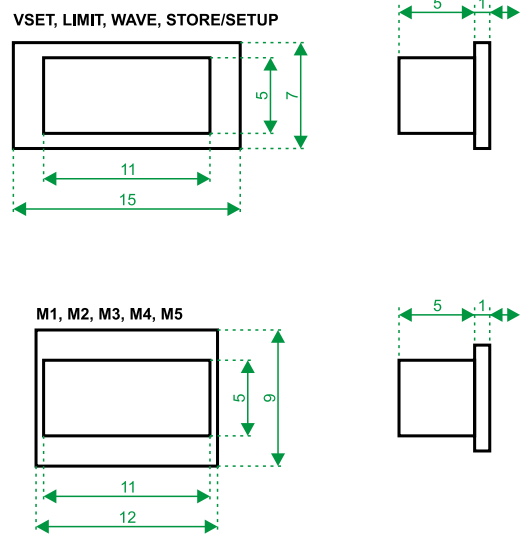


elementy mocy przykręcono przy użyciu śrub do radiatora mocy umieszczonego z tyłu obudowy. Radiator ten zamocowano z kolei za pomocą 4 śrub do tylnej części obudowy, w której wycięto odpowiedniej wielkości otwór by zapewnić możliwość przykręcenia elementów modułu mocy (wzmacniacza OPA549, mostka prostowniczego dużej mocy i układu termometru DS18S20). W spodzie obudowy przewidziano również dodatkowe otwory przeznaczone do montażu transformatora małej mocy zasilającego część cyfrową urządzenia oraz ujemną szynę zasilania układu OPA549 (6 otworów dających możliwość przykręcenia różnych typów transformatorów), transformatora toroidalnego (otwór o średnicy 5 mm, montaż z użyciem zestawu montażowego) oraz 4 nóżek przykręcanych od spodu obudowy. W tylnym panelu urządzenia, oprócz radiatora, o którym już wspominałem, wycięto dodatkowe otwory przeznaczone do montażu (na wcisk) gniazda bezpiecznika oraz gniazda zasilającego jak również otwór przeznaczony do umieszczenia w nim gniazda USB, które razem z płytką zamocowane jest do podstawy urządzenia (o czym także wspominałem). W prawym boku obudowy urządzenia przewidziano otwory montażowe przeznaczone do przykręcenia wentylatora wspomagającego proces chłodzenia elementów mocy oraz grupę specjalnych otworów w kształcie „plastra miodu”, dzięki którym wentylator może „zaciągać” powietrze z zewnątrz i jednocześnie pracować w sposób bezpieczny dla otoczenia. W aluminiowym froncie urządzenia przewidziano otwory na wszystkie elementy interfejsu użytkownika, czyli 9 prostokątnych otworów pod przyciski, dwa okrągłe otwory pod enkodery regulacyjne, 2 okrągłe otwory przeznaczone do montażu wyjściowych gniazd laboratoryjnych, prostokątny otwór na szybki chroniącą wyświetlacz oraz otwór przeznaczony do montażu (na wcisk) wyłącznika zasilania. Na **rysunku 20** pokazano wygląd frontu urządzenia powerBank z zaznaczeniem wszystkich wymiarów.

Osoby, które chciałyby we własnym zakresie wykonać obudowę mogą ewentualnie przemyśleć zakup oraz adaptację gotowej i ogólnodostępnej obudowy stalowej oznaczonej symbolem T82 o wymiarach 220 mm×160 mm×65 mm (szer./głęb./wys.), lecz w tym wypadku należy skrócić front urządzenia (z rys. 20) jak i wysokość radiatora mocy (z 70 mm na 65 mm) oraz przemyśleć sposób montażu modułu sterującego, jako że jego wysokość wynosi 66mm. Mimo wszystko polecam jednak zakup gotowego zestawu firmy „FOSTER”, gdyż uprości to znacznie proces konstrukcji urządzenia czyniąc je na wskroś profesjonalnym. Tak czy inaczej pewnej uwagi wymaga przygotowanie elementów mechanicznych, które realizują funkcję przycisków. Przyznam szczerze,

że proces poszukiwania gotowego i eleganckiego rozwiązania w przypadku tego elementu zajął dłuższą chwilę, gdyż bardzo podobało mi się rozwiązanie, jakie stosuje się w oscyloskopach cyfrowych a mianowicie zastosowanie półprzeźroczystych, zwykle prostokątnych, klawiszy wykonanych z jakiegoś rodzaju silikonu, które czasami, w zależności od pełnionych funkcji, są podświetlane. Niestety, nie znalazłem gotowego produktu w postaci „switcha”, który można byłoby kupić i od razu zamontować (poza elementami pewnej firmy, gdzie jednostkowy koszt wynosił 17 zł/szt!), w związku, z czym musiałem zastosować rozwiązanie własne złożone z kilku elementów. Po dłuższych poszukiwaniach okazało się, że można by skorzystać z gotowej, silikonowej, podświetlanej klawiatury, następnie wyciąć z niej niezbędne przyciski, później nakleić na małe, plastikowe, przeźroczyste płytki pełniące rolę kołnierzy (zapobiegające wypadnięciu takiego przycisku przez otwór w obudowie) by finalnie element taki zastosować jako część mechaniczną, za pomocą której popychana jest oś, wlotowanego w płytkę modułu sterującego, switcha (zwykłego microswitcha lub switcha z wbudowaną diodą LED, firmy HIGHLY, po wcześniejszym zdemontowaniu z jego korpusu przeźroczystej oski). Tak oto powstało eleganckie rozwiązanie, którego wygląd pokazano na **fotografii 21**.

Przyciski, które zastosowano w urządzeniu pokazanym na zdjęciu to przeźroczyste elementy wycięte (a następnie skrócone) z przeźroczystej klawiatury silikonowej stosowanej w manipulatorach systemów alarmowych firmy **Satel** z linii Integra, którą to otrzymałem dzięki uprzejmości serwisu tejże firmy, za co bardzo dziękuję. Rozwiązaniem alternatywnym jest



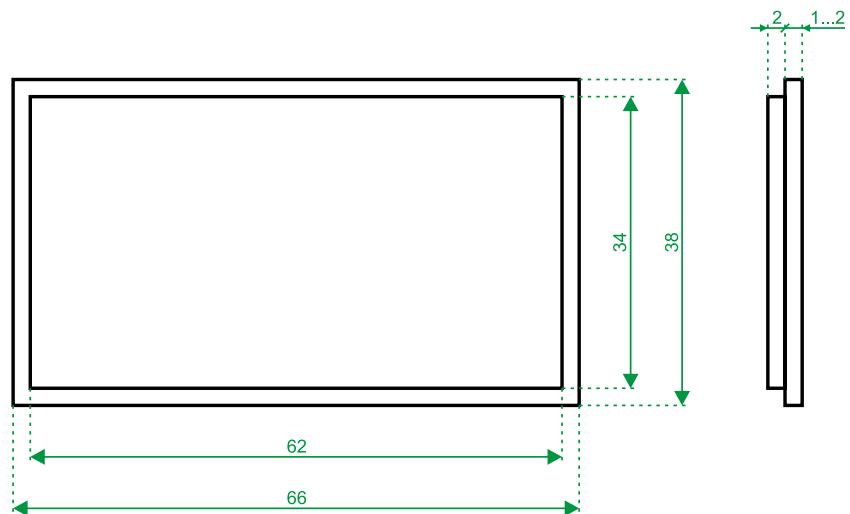
**Rysunek 22. Rysunek techniczny przycisków stosowanych w urządzeniu powerBank**

wykonanie takich przycisków z kawałka przeźroczystej (lub tzw. „mrożonej”) pleksi o grubości 6mm poprzez frezowanie na maszynie CNC (ewentualnie „ręczne”) lub... wydrukowanie ich na drukarce 3D! Rysunki techniczne przycisków, jak i szybki chroniącej wyświetlacz LCD pokazano odpowiednio na **rysunkach 22 i 23**.

Już dla porządku dodam, że w obudowie zastosowanej w projekcie przewidziano stosowne otwory wentylacyjne, zaś jej płyta górna mocowana jest do reszty za pomocą kilku wkrętów, których „łby” schowano w grubości materiału tegoż elementu.

Kończąc wspomnę, że w przygotowaniu jest aplikacja dla PC o roboczej nazwie **powerLab**, za pomocą której można będzie zdalnie sterować pracą zasilacza, generować dowolne przebiegi napięciowe zdefiniowane przez użytkownika oraz archiwizować i obrazować bieżące dane napięcia, i prądu obciążenia w celu dalszej analizy. Aplikacja ta będzie tematem odrębnego artykułu.

**Robert Wołgajew, EP**



**Rysunek 23. Rysunek techniczny szybki chroniącej wyświetlacz LCD stosowanej w urządzeniu powerBank**