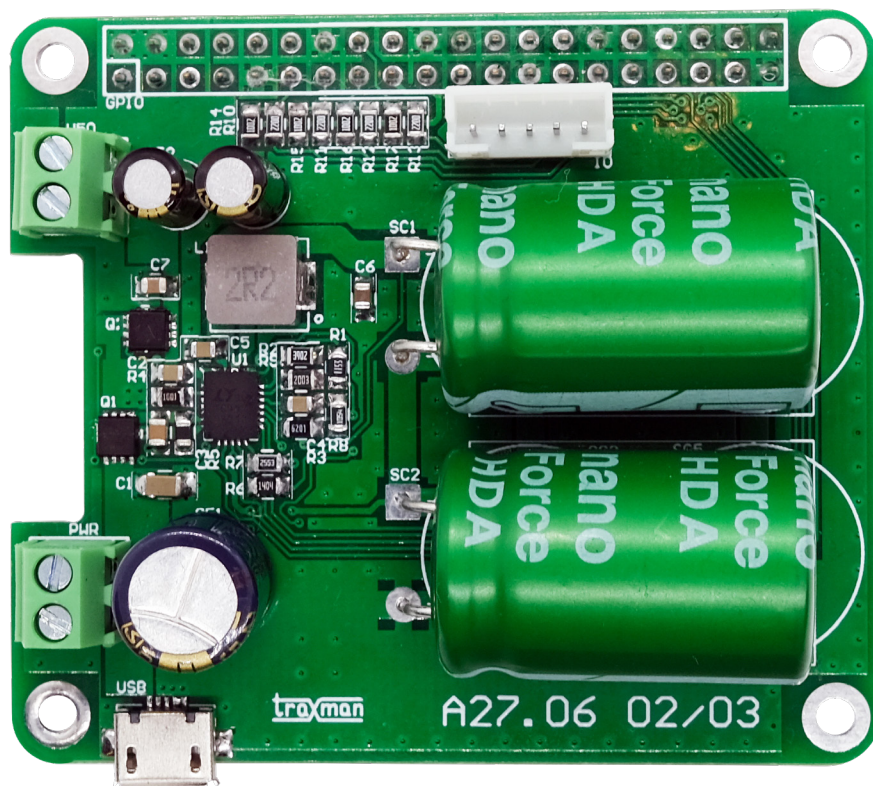


# Zasilacz buforowy z superkondensatorami dla Raspberry Pi

W wielu aplikacjach zachodzi konieczność bezpiecznego wyłączenia Raspberry Pi podczas niespodziewanych przerw w zasilaniu. Aby prawidłowo zamknąć system, bez ryzyka uszkodzenia systemu plików lub samej karty SD, konieczne jest kilkunastosekundowe podtrzymanie zasilania. Jako magazyn energii dla podtrzymania zasilania idealnie nadają się superkondensatory EDLC współpracujące ze specjalizowanym kontrolerem zasilania.

Prezentujemy zasilacz buforowy w formie nakładki HAT dla Raspberry Pi Plus, gromadząc energię w dwóch superkondensatorach 22 F/2,7 V. Zapewniają one podtrzymanie zasilania na czas kilku...kilkunastu sekund w zależności od obciążenia. Układ można zastosować do zasilania dowolnego innego odbiornika zasilanego napięciem 5 V



z pobierającego prąd do 2 A. Bateria superkondensatorów może zostać rozbudowana do pojemności 4×33 F.

## Budowa i działanie

Zasilacz buforowy jest typową aplikacją specjalizowanego układu LTC4041 (Analog Devices), której schemat pokazano na rysunku 1. Strukturę wewnętrzną układu LTC4041 pokazano na rysunku 2. W wersji rev.0 noty niestety błędnie opisane są niektóre wyprowadzenia, poprawne oznaczenia i numeracja zamieszczone są na schemacie i rysunku obudowy LTC4041 w karcie katalogowej. Dzięki zastosowaniu specjalizowanego układu aplikacja zawiera niewiele elementów zewnętrznych ograniczających

się do dzielników rezystorowych układów monitorowania napięć oraz kluczy wykonawczych przetwornicy DC/DC. Układ LTC4041 ma wszystkie niezbędne zabezpieczenia wymagane dla bezpiecznej eksploatacji superkondensatorów, łącznie z komparatorami i balanserem.

Napięcie wejściowe o parametrach 5 V, 3 A poprzez gniazdo USB lub PWR po wstępnej filtracji przez CE1 doprowadzone jest do dzielnika R1, R2 układu wykrywania zaniku zasilania ULvo (U1–19). W modelu wartość ULvo ustalona jest na 4,7 V według wzoru:

$$ULvo = 1,19 \cdot (1 + (R1/R2)),$$

Jeżeli napięcie na wyprowadzeniu PFI jest wyższe niż wewnętrzny próg 1,19 V,

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony [www.media.avt.pl](http://www.media.avt.pl)

W ofercie AVT\* AVT-5739

### Podstawowe parametry:

- czas podtrzymania dla RPI przy odtwarzaniu filmu HD wynosi ok. 45 s,
- zasilanie 5 V, 3 A,
- wyjście 5 V, 2 A,
- energia gromadzona w dwóch superkondensatorach 22 F/2,7 V,
- możliwość zwiększenia pojemności do 4×33 F i wydłużenia czasu podtrzymania.

### Projekty pokrewne na [www.media.avt.pl](http://www.media.avt.pl):

- Instalacja zegara czasu rzeczywistego w Raspberry Pi (EP 9/2019)
- Domowy serwer Network Attached Storage na Raspberry Pi (EP 9/2019)
- Sprzętowy przycisk do wyłączenia Raspberry Pi (EP 9/2019)
- AVT-5689 Budżetowy interfejs USB-I²C (EP 7/2019)
- AVT-5680 Sensor smogu z technologią Bluetooth Low Energy (EP 4/2019)
- Miniaturowy moduł interfejsu RS485 dla Raspberry Pi, launchpadów i nie tylko (EP 11/2018)
- Budowa projektora DLP z użyciem Raspberry Pi 3 oraz modułu TI LightCrafter Display 2000 (EP 9/2018)
- AVT-1989 Miniaturowy driver LED RGBW z interfejsem I²C (EP 9/2018)
- 2-portowy, miniaturowy hub USB zgodny z Raspberry Pi Zero (EP 6/2018)

! Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutownia!

Podstawowa wersja zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] - jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu.

Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:

- wersja [C] - zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wlutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] - płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji

Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:

- wersja [A\*] - płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] - zaprogramowany układ

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!

<http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności

na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: [kity@avt.pl](mailto:kity@avt.pl).

### Wykaz elementów:

#### Rezystory (SMD0805):

- R1: 115 kΩ
- R2: 39 kΩ
- R3: 6,2 kΩ
- R4: 1 kΩ
- R5: 10 mΩ 0,5 W
- R6: 1,34 MΩ
- R7: 255 kΩ
- R8: 1,05 MΩ
- R9: 200 kΩ
- R10, R11, R12, R13: 220 Ω
- R14, R15, R16, R17: 10 kΩ

#### Kondensatory:

- C1: 0,1 μF/50V SMD1206
- C2, C5: 0,1 μF SMD0805
- C3: 2,2 μF SMD0805
- C4: 1 nF SMD0805

C6, C7: 10 μF SMD0805

CE1: 100 μF/50 V Low ESR

CE2, CE3: 100 μF/10 V Low ESR

SC1, SC2: 22 F/2,7 V superkondensator DRL22/2.7V

SC3, SC4, SC5, SC6: 22 F/2,7 V - opcjonalnie

#### Półprzewodniki:

Q1, Q2: SIS488DN

U1: LTC4041EUF

#### Inne:

L1: 2,2 μH dławik HPI0640-2R2

PWR, V50: DG381-3.5-2

USB: złącze micro USB

GPT0: złącze IDC żeńskie 40 pin 2,54 mm

I0: złącze JST B5B PHKS - opcjonalnie

wbudowana przetwornica konfigurowana jest w tryb obniżający i pracuje w funkcji ładowarki superkondensatorów. Jednocześnie tranzystor Q2 przekazuje napięcie zasilające na zaciski złącza V50. Układ monitorowania napięcia wejściowego ustawia wyjście PFO (OD) w stan wysoki. Gdy napięcie wejściowe spadnie poniżej 1,19 V, na wyjściu PFO jest ustawiany stan niski i układ przechodzi do trybu podtrzymania zasilania, konfigurując przetwornicę w tryb podwyższający i zasila się energią zgromadzoną w superkondensatorach. Napięcie wyjściowe w trybie podtrzymania ustalone jest dzielnikiem R8, R9 podłączonym do wyprowadzenia BSTFB, w modelu wynosi 5,0 V:

$$V_{sys}=0,8 \cdot (1+(R8/R9)),$$

Informację o poprawnej wartości napięcia wyjściowego możemy odczytać z wyjścia SYSGD (U1–11), w modelu zrezygnowano z dodatkowego dzielnika dla wyprowadzenia RSTFB, wykorzystując dzielnik ustalający napięcie wyjściowe  $V_{sys}$ , w tym przypadku próg wynosi ok. 4,6 V tj. 7,5% poniżej  $V_{sys}$ .

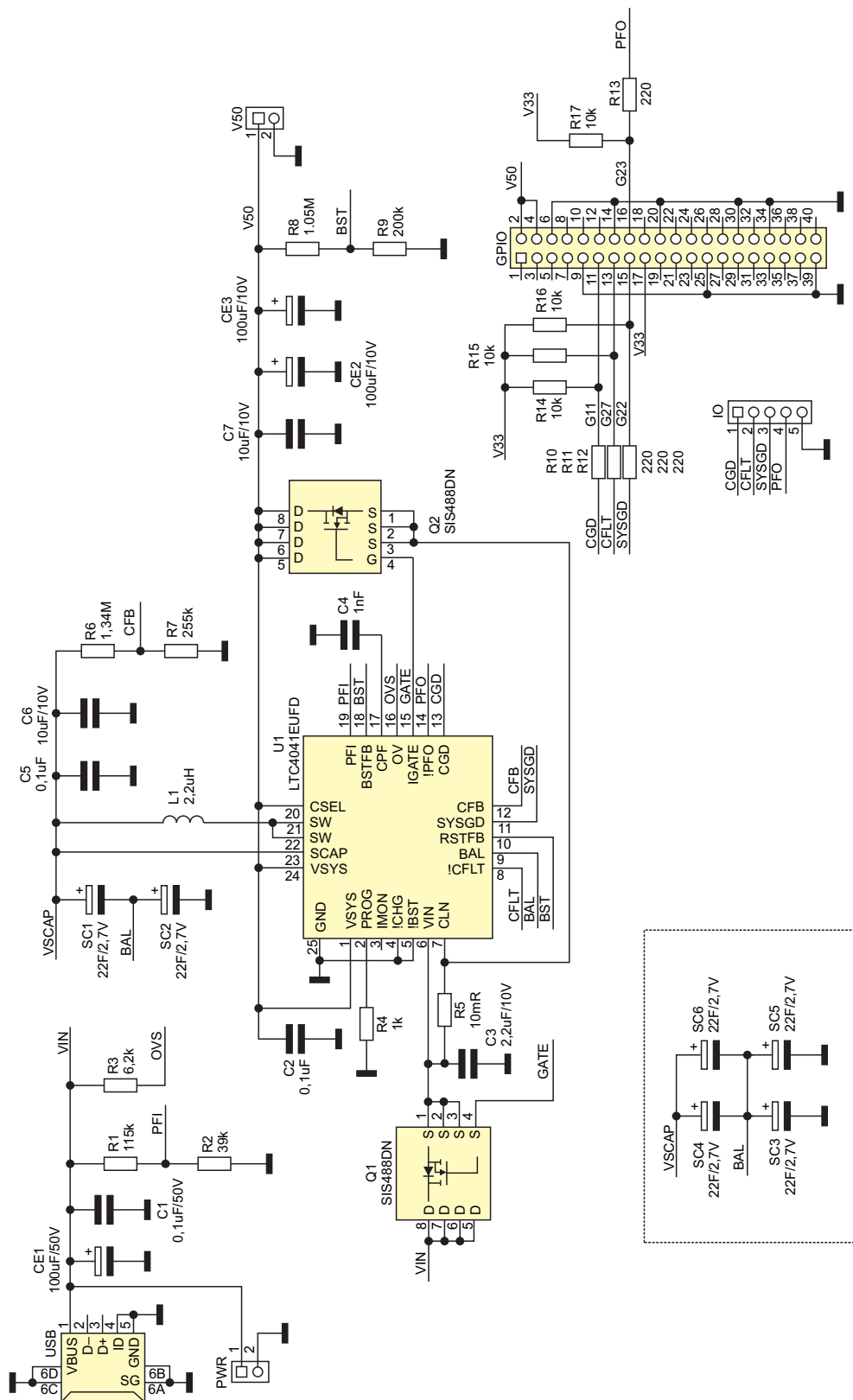
Dodatkowym zabezpieczeniem realizowanym przez LTC4041 jest ochrona zasilanego układu przed przekroczeniem napięcia zasilania OVP. Rezystor R3 informuje układ o wartości napięcia zasilania i jeżeli przekroczy ono 6 V, wewnętrzny komparator odetnie tranzystor Q1, odłączając zasilanie przekraczające wartość bezpieczną.

Kondensator C4 podłączony do wyprowadzenia CPF określa minimalny czas podtrzymania zasilania, czyli pracy układu w trybie przetwornicy podwyższającej zapobiegający zbyt częstemu przełączaniu trybów przetwornicy. Rekomendowany czas to 1...500 ms. Zbyt krótki może spowodować oscylacje przy przełączaniu trybów, wartość kondensatora obliczana jest z poniższego wzoru, w modelu czas ustalono na 2,2 ms.

$$t_{min} \text{ (ms)}=2,2 \cdot C4 \text{ (nF)}$$

Ładowarka kondensatorów pracuje w trybie CC/CV. Podczas ładowania kondensatorów SC1, SC2 (SC4...6), układ kontrolujący prąd, dąży do utrzymania na nich napięcia dostanego dzielnikiem R6, R7. Napięcie z dzielnika doprowadzone jest do wyprowadzenia CAPFB (U1–12). W modelu napięcie ładowania  $V_{scap}$  ustalone jest na 5,00 V:

$$V_{scap}=0,8 \cdot (1+(R6/R7))$$

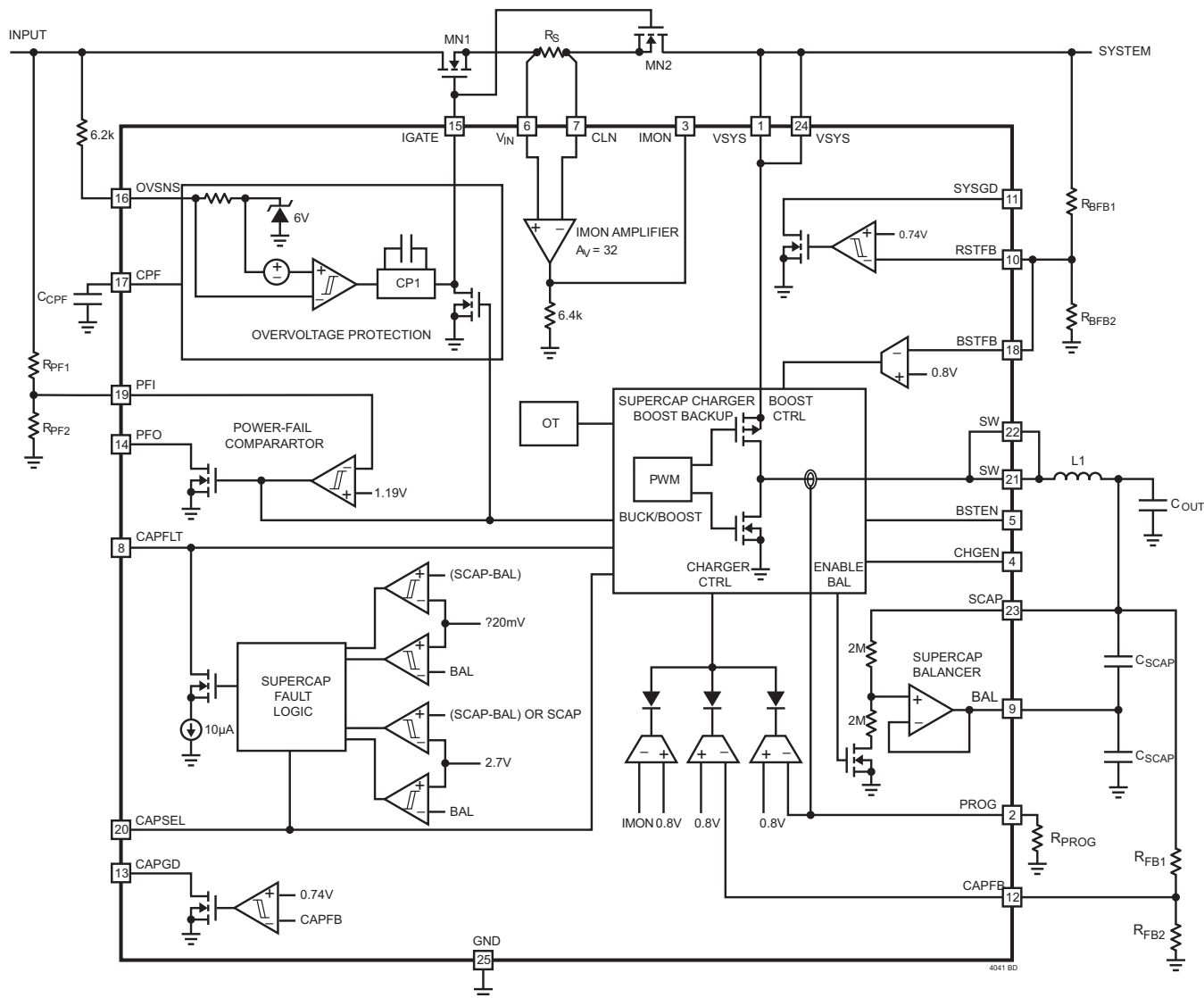


Rysunek 1. Schemat ideowy zasilacza buforowego

Jest to bezpieczna wartość, zapewniająca niezbędny margines dla kondensatorów o napięciu pracy 2,7 V. W przypadku doboru napięcia ładowania warto zachować niewielki margines zasilania dla zapewnienia poprawnej pracy układu. Polecam zasilanie z ładowarek lub zasilaczy o nieco wyższym napięciu wyjściowym 5,1...5,5 V/3 A lub ustawienie zbliżonej wartości w przypadku

zasilaczy z korygowanym napięciem wyjściowym. Nie polecam zasilania układu ze źródeł o podejrzanym jakości, gdyż układ nie wykorzysta w 100% pojemności kondensatorów, ładując je do niższego napięcia.

Stan wyprowadzenia CAPSEL (U1–14) informuje LTC4041 o konfiguracji kondensatorów. W przypadku zwarcia do masy układ współpracuje z jednym superkondensatorem,



Rysunek 2. Struktura wewnętrzna LTC4041 (za notą Analog Devices)

wbudowany balanser jest nieaktywny. Gdy wyprowadzenie CAPSEL podłączone jest do napięcia większego od 1,2 V, LTC4041 aktywuje balanser i jest skonfigurowany do ładowania dwóch szeregowo połączonych superkondensatorów. Układ balansera mierzy napięcie poprzez wyprowadzenie BAL (U1–9), maksymalny prąd balansowania wynosi 50 mA przy napięciu Vscap 5 V. Układ zabezpieczenia sygnalizuje przekroczenie napięcia 2,7 V na kondensator w trybie ładowania lub odwrócenie polaryzacji o wartość większą od –20 mV w trybie rozładowania, ustawiając stan niski na wyjściu CAPFLT (U1–8) i wyłączając przetwornicę podwyższającą.

Obwód ładowania kondensatorów wyposażony jest w układ kontroli prądu, zabezpieczający źródło zasilania przed przeciążeniem. W trakcie ładowania prąd rozdzielany jest pomiędzy podłączone obciążenia a ładowarkę. Obwód kontroli prądu mierzy napięcie na rezystorze R5, maksymalna wartość pobieranego przez układ prądu określana jest wzorem:

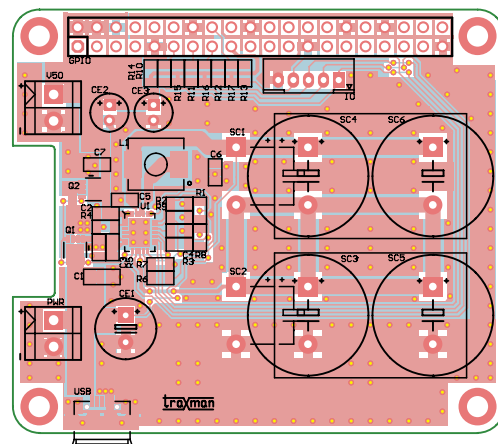
$$R5 = 25 \text{ mV} / I_{\text{syslim}}$$

i w modelu ustalona jest na ok. 2,5 A. Prąd ładowania kondensatorów określa rezystor R4 podłączony do wyprowadzenia PROG (U1–2). W modelu maksymalny prąd ładowania wynosi 2 A, zgodnie z wzorem:

$$R4 = 2000 / I_{\text{chg}}$$

Wbudowany komparator mierzy napięcie na kondensatorach i sygnalizuje na wyjściu CAPGD (U1-13) ich naładowanie do napięcia 92,5% Vcap, w modelu jest to ok. 4,6 V. Gdy napięcie Vscap osiągnie ustaloną wartość lub prąd spadnie do 12,5% prądu ładowania Ichg, układ wyłączy ładowarkę. LTC4041 ma automatyczne wznowienie ładowania, gdy napięcie Vscap spadnie do 97,5% wartości ustalonej. Zapobiega to niepotrzebnemu przełączaniu trybów pracy układu.

Układ U1 zabezpieczony jest także przed przegrzaniem i po osiągnięciu temperatury 160°C wyłączy się, ponowne załączenie nastąpi po ochłodzeniu struktury do 145°C. Wszystkie sygnały statusowe dostępne są zarówno na złączu GPIO, jak i na złączu IO. Gdy



Rysunek 3. Rozmieszczenie elementów

plytka współpracuje z innym SBC, nie należy montować rezystorów R14...R17, a o podciąganiu wyjść OD należy zadbać we współpracującym układzie.

### Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej zgodnej z HAT (bez EEPROM-u konfiguracji) rozmieszczenie

elementów pokazano na **rysunku 3**. Montaż układu nie wymaga szczegółowego opisu, należy tylko zadbać o poprawne przylutowanie padów termicznych i o umycie płytki po lutowaniu. Prawidłowo zmontowany moduł pokazano na fotografii tytułowej. Płytką umożliwia zastosowanie dwóch kondensatorów wlotowanych w pozycji leżącej SC1, SC2 dla zmniejszenia wysokości lub do dwóch par SC3, SC4 i SC5, SC6 wlotowanych na stojąco, gdy zależy nam na największej pojemności.

Pierwsze uruchomienie warto przeprowadzić z pomocą regulowanego zasilacza laboratoryjnego z ograniczeniem prądowym (0...6 V/3 A) dla części mocy i 3,3 V/50 mA

dla obwodów sygnalizacji. Do wyjścia najlepiej podłączyć sztuczne obciążenie z trybem stałego poboru mocy. Przy wyłączonym obciążeniu i podaniu napięcia zasilania należy sprawdzić prądy ładowania, napięcie końcowe ładowania oraz sygnalizację stanów. Po naładowaniu kondensatorów należy wyłączyć zasilacz i sprawdzić pracę układu z obciążeniem 10 W, kontrolując sygnały statusu. Po rozładowaniu kondensatorów, nie odłączając obciążenia, należy załączyć zasilanie i sprawdzić rozkład prądów i ograniczenie pobieranego prądu. W razie konieczności można skorygować wartości rezystorów.

Podczas pracy z Raspberry Pi, przy kondensatorach SC1, SC2 o pojemności 22 F

czasotrzymania przy odtwarzaniu filmu HD wynosi ok. 45 s (aplikacja kiosku informacyjnego), co zapewnia, z dużym zapasem, czas konieczny na bezpieczne wyłączenie systemu. Realny czas ładowania kondensatorów zależy od obciążenia i mieści się w kilku minutach.

**Uwaga: podczas użytkowania modułu należy zachować odpowiednie warunki eksploatacji: zabezpieczyć superkondensatory przed uszkodzeniem mechanicznym oraz zwarcie zacisków. Nieprzestrzeganie warunków bezpiecznej eksploatacji może spowodować eksplozję kondensatorów oraz zagrożenie dla zdrowia użytkownika.**

**Adam Tatuś, EP**