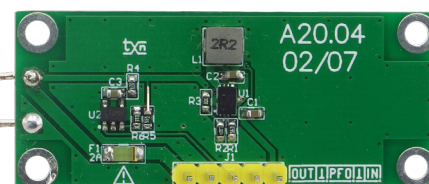


Ładowarka kondensatorów LiCAP

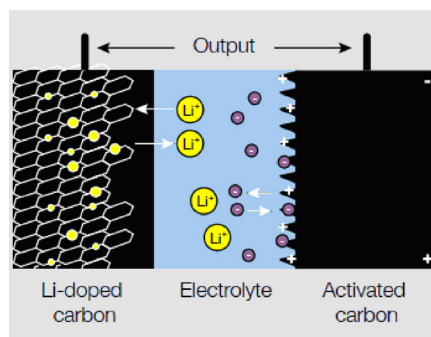
Zaprezentowany układ umożliwia rozpoczęcie eksperymentów z jednym z nowszych typów superkondensatorów, jakimi są superkondensatory hybrydowe wykonane w technologii LiCAP. Moduł ładowarki znajdzie zastosowanie w aplikacjach zasilania awaryjnego dla urządzeń IoT, modułów SBC itp.

Superkondensator litowy LiCAP (LiC) jest kondensatorem hybrydowym, który gromadzi ładunek nie tylko dzięki właściwościom dielektryka i elektrod, ale także dzięki reakcjom chemicznym zachodzącym podczas jego ładowania i rozładowania. Kondensator LiC zbudowany jest asymetrycznie, jedna z elektrod domieszkowana jest litem, druga tak jak w klasycznym superkondensatorze wykonana jest z węgla aktywowanego. Schematyczną budowę kondensatora hybrydowego w technologii LiCAP pokazano na **rysunku 1**. Jego budowa i właściwości sprawiają, że jest bardziej podobny do ogniwa litowego LIB (baterii) niż do klasycznego kondensatora. Hybrydowe kondensatory litowe mają wyższe dopuszczalne napięcie pracy, wynoszące 3,8 V (max. 4,2 V) i niższe samorozładowanie.

Niestety technologia ma pewną wadę, która może być istotna w niektórych



zastosowaniach. Jest to minimalne napięcie na zaciskach, zawiera się ono w przedziale 2,2...2,5 V/kondensator zależnie od temperatury pracy. Obniżenie napięcia poniżej tego progu powoduje degradację kondensatora prowadzącą do jego zniszczenia. W związku z tym wszystkie kondensatory LiC dostarczane są w stanie częściowego naładowania (podobnie jak akumulatory litowe), co utrudnia ich przechowywanie i automatyczny montaż.



Rysunek 1. Budowa kondensatora hybrydowego LIC

Budowa i działanie

Schemat ładowarki superkondensatorów został pokazany na **rysunku 2**. Układ bazuje

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT-5814

Podstawowe parametry:

- współpracuje z superkondensatorem hybrydowym LiCAP,
- wymaga zasilania napięciem 3,3 V, napięcie wyjściowe w przedziale 2,5...3,6 V,
- ograniczenie prądu ładowania do 400 mA,
- ma wyjście sygnalizujące niski poziom napięcia wyjściowego.

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

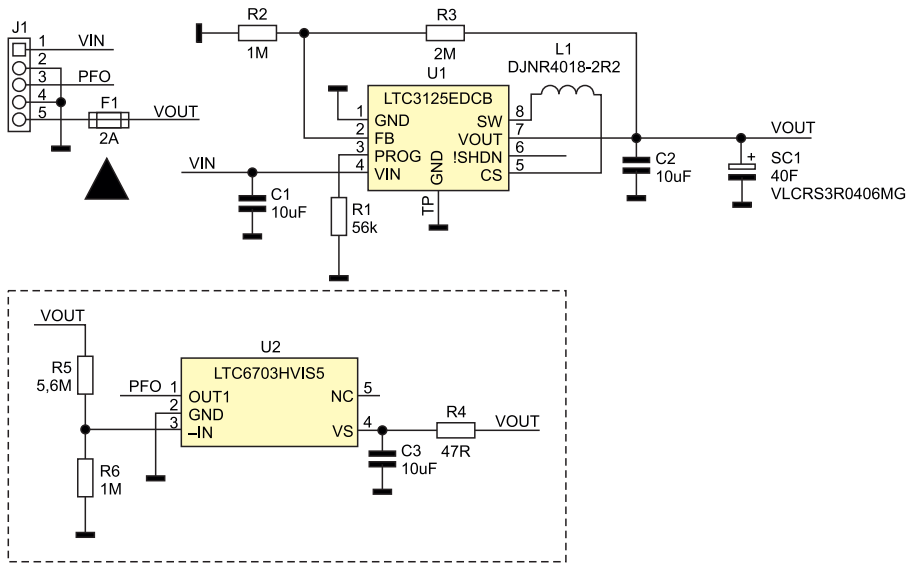
Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wzlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która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

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

- wersja [C] – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wzlutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] – płytką drukowaną bez elementów i dokumentacji Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytką 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.

- Wykaz elementów:**
Rezystory: (SMD0603, tolerancja 1%)
 R1: 56 kΩ
 R2, R6: 1 MΩ
 R3: 2 MΩ
 R4: 47 Ω
 R5: 5,6 MΩ
- Kondensatory:**
 C1, C2, C3: 10 μF SMD0603
 SC1: 40 F VLCRS3R0406MG
- Półprzewodniki:**
 U1: LTC3125EDCB (DFN8_045)
 U2: LTC6703HVIS5-2 (SOT-23-5)
- Pozostałe:**
 F1: bezpiecznik zwłoczny SMD 2 A
 J1: złącze SIP5 2,54 mm
 L1: dławik mocy DJNR4018-2R2



Rysunek 2. Schemat ideowy ładowarki

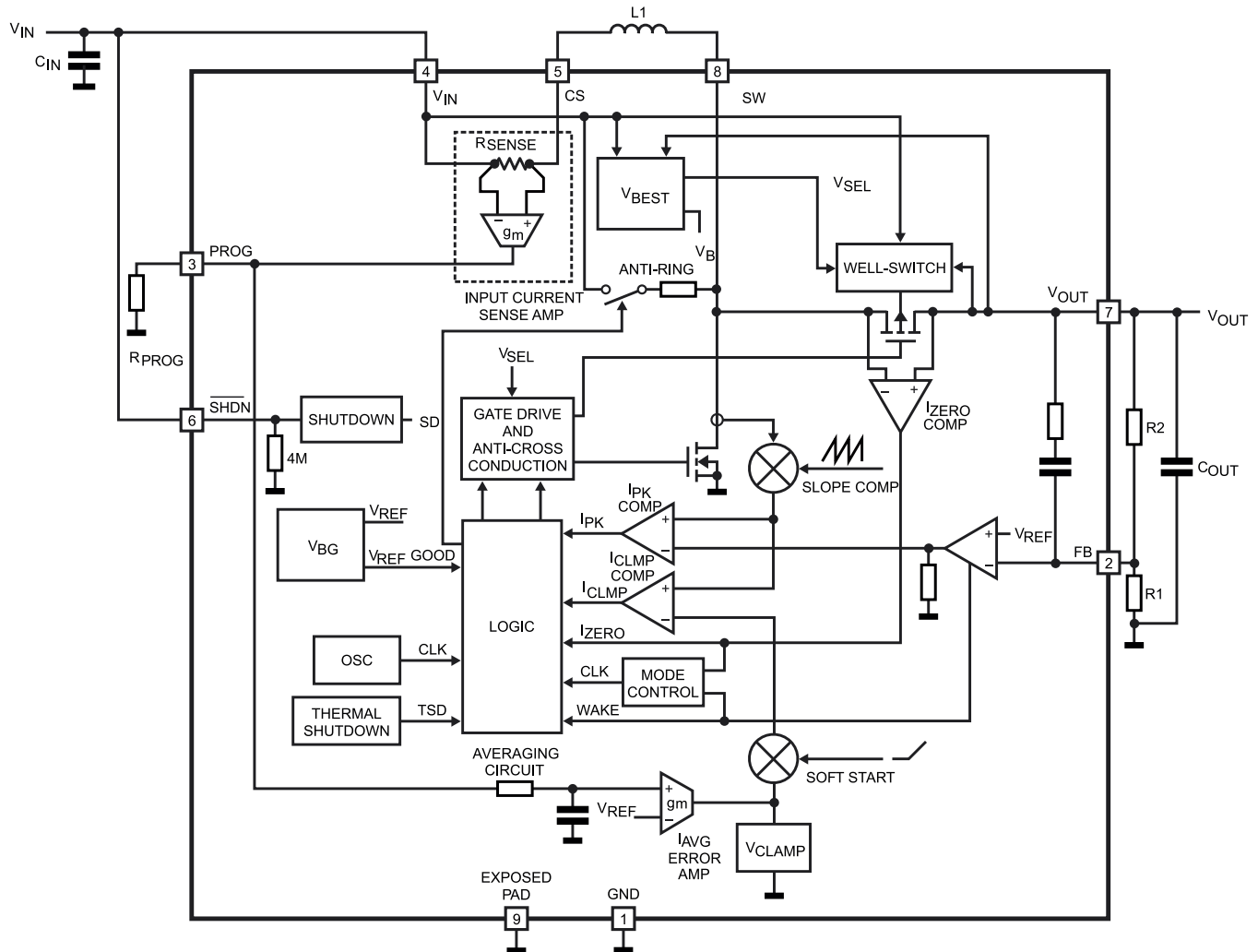
na sterowniku przetwornicy podwyższającej LTC3125 z ograniczeniem prądu wejściowego. Schemat wewnętrzny układu został pokazany na rysunku 3. Ładowarka współpracuje z kondensatorem VLCRS3R0406MG firmy VINATECH, o pojemności 40 F i maksymalnym napięciu pracy 3,8 V, napięciu rozładowania 2,2 V w zakresie temperatur -30...+70°C. Kondensator może pracować w szerszym zakresie temperatur -30...+85°C, lecz należy odpowiednio skorygować napięcia pracy na 3,6 V i rozładowania na 2,5 V. Rezystancja wewnętrzna kondensatora nie przekracza 125 mΩ, a tolerancja pojemności wynosi ±10%.

Układ ładowarki zasilany jest napięciem VIN=3,3 V doprowadzonym do złącza J1. Napięcie 3,3 V podnoszone jest w układzie przetwornicy U1 do 3,6 V, co zapewnia bezpieczny margines uwzględniający rozrzut wartości elementów, niestety kosztem mniejszej zgromadzonej energii. Wartość napięcia końcowego kondensatora

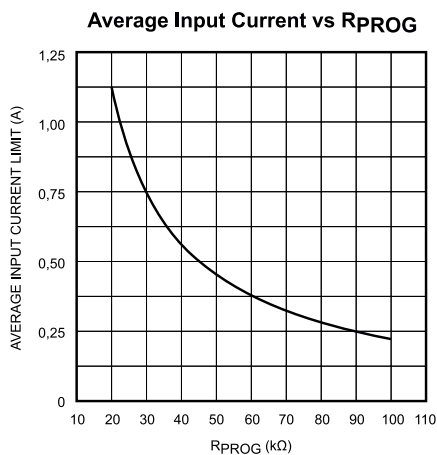
ustalana jest dzielnikiem R2, R3 według wzoru:

$$V_{out} = 1,2 \cdot (1 + R3/R2)$$

Za ograniczenie prądu wejściowego przetwornicy, a tym samym pośrednio prądu ładowania CS1 odpowiada rezystor R1 podłączony do wyprowadzenia PROG. Wartość rezystora odpowiadająca średniemu prądowi



Rysunek 3. Schemat wewnętrzny LTC3125



Rysunek 4. Dobór wartości rezystora R1

wejściowemu dobiera się zgodnie z wykresem z **rysunku 4**. W modelu ustawiono prąd na ok. 400 mA, co odpowiada $R_1=56\text{ k}\Omega$.

Układ LTC3125 ma wbudowane zabezpieczenia przed przekroczeniem prądu klucza, temperatury oraz przepływem wstecznym przy braku V_{in} . Sprawność przetwornicy, w zależności od warunków, przekracza 80%. Dopuszczalna jest praca z napięciem wejściowym większym od wyjściowego $V_{in} > V_{out}$, w dalszym ciągu utrzymując ustalone dzielnikiem R_2, R_3 napięcie V_{out} . Tryb taki jednak nie jest zalecany, ze względu na obniżenie sprawności przetwarzania.

Bezpiecznik F1 zabezpiecza kondensator przed skutkami zwarcia wyjścia. Układ ładowarki uzupełniony jest opcjonalnym niskomocowym komparatorem U2 typu LTC6703 sygnalizującym niski poziom napięcia superkondensatora SC1. Wewnętrzne napięcie odniesienia komparatora ustalone jest na 400 mV, dzielnik R_5, R_6 ustala próg

Superkondensatory LiCAP(LiC) są elementami, które wymagają szczególnej uwagi podczas użytkowania i przestrzegania kilku zasad:

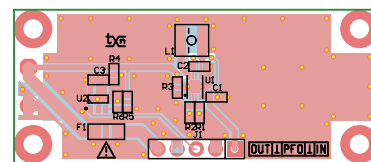
- Nigdy nie należy zwierać wyprowadzeń kondensatora, także podczas przechowywania i montażu, grozi to jego uszkodzeniem i może doprowadzić do pożaru lub eksplozji;
- Należy zabezpieczyć kondensator układem ograniczania prądu rozładowania lub bezpiecznikiem o odpowiednio dobranej wartości;
- Podczas pracy lub przechowywania należy utrzymywać odpowiednią temperaturę i nie dopuszczać do spadku napięcia na zaciskach poniżej napięcia minimalnego, grozi to nieodwracalnym uszkodzeniem drogiego elementu;
- Po wycofaniu z eksploatacji superkondensatory podlegają recyklingowi.

zadziałania na ok. 2,6 V, co sygnalizowane jest zmianą stanu sygnału PFO na złączu J1 i może zostać użyte do wprowadzenia współpracującego procesora w stan obniżonego poboru mocy. Podczas przełączania komparatora, pomimo wbudowanej niewielkiej histerazy, na wyjściu mogą pojawić się oscylacje, szczególnie gdy napięcie wejściowe V_{OUT} zmienia się bardzo powoli. Dlatego wyjście PFO warto podłączyć do przerwania i eliminować oscylacje na drodze programowej podobnie jak drgania styków. Wyjście PFO jest zrealizowane jako otwarty dren, jego maksymalne napięcie pracy to 40 V. W modelu zastosowany jest komparator LTC6703HVIS5-2 z wejściem odwracającym, można też zastosować układ LTC6703HVIS5-3 z wejściem prostym lub ich niskonapięciowe odpowiedniki LTC6703IS5-x z ograniczonym do 18 V dopuszczalnym napięciem wyjścia OUT.

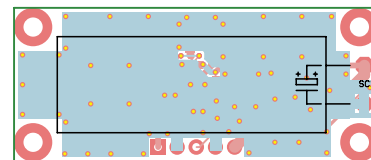
Montaż i uruchomienie

Układ ładowarki zmontowany jest na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej. Jej schemat, wraz z rozmieszczeniem elementów, pokazano na **rysunku 5** i **rysunku 6**. Montaż układu nie wymaga opisu, po lutowaniu płytkę należy oczyścić z pozostałości topnika i wysuszyć.

Przed wlutowaniem do płytki kondensatora CS1 należy sprawdzić poprawność stabilizacji napięcia wyjściowego przetwornicy. W miejsce kondensatora CS1 lutujemy kondensator elektrolityczny o pojemności większej od $220\text{ }\mu\text{F}$ i napięciu pracy większym od 6,3 V. Jeżeli wykorzystujemy układ komparatora PFO, należy wlutować elementy wyróżnione na schemacie ramką, dobierając typ komparatora do wymogów aplikacji. Po podaniu napięcia zasilania 3,3 V na wejście VIN ładowarki kontrolujemy napięcie na zaciskach CS1, powinno wynosić ok. 3,6 V, większe rozbieżności należy skorygować rezystorem R3. Obniżając napięcie wejściowe, sprawdzamy poprawność pracy układu PFO, weryfikując ustalony próg sygnalizacji. Należy pamiętać o podwieszeniu wyjścia OD rezystorem do V_{out} . Jeżeli układ działa poprawnie, wyłączamy zasilanie, wylutowujemy kondensator testowy i w jego miejsce lutujemy CS1, stosując się do uwag. Ponownie podłączamy ładowarkę do zasilacza 3,3 V, w szereg wpinając amperomierz prądu stałego, dla weryfikacji ograniczenia prądu wejściowego oraz do wyprowadzeń CS1 woltomierz prądu stałego, dla weryfikacji napięcia ładowania. Po włączeniu napięcia 3,3 V należy obserwować proces ładowania, w początkowej fazie prąd wejściowy przetwornicy powinien być ograniczony do wartości ustalonej rezystorem R1, czyli ok. 400 mA, a napięcie na kondensatorze w końcowej fazie ładowania powinno osiągnąć 3,6 V. Jeżeli dysponujemy sztucznym obciążeniem, pracującym w trybie pomiaru pojemności



Rysunek 5. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów, strona TOP



Rysunek 6. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów, strona BOTTOM

baterii, możemy przeprowadzić cykl rozładowania CS1 i pomiaru zgromadzonego ładunku w zakresie dopuszczalnego napięcia kondensatora, z 3,6 V do 2,5 V (2,2 V), przy prądzie rozładowania nieprzekraczającym 500 mA (ok. 60 mV spadku na R_{we}).

Ze względu na odmienne cechy superkondensatorów wykonanych w technologii LiCAP i relatywnie wysoką rezystancję wewnętrzną, należy unikać rozładowania prądem przekraczającym parametry katalogowe. Zbyt duży prąd powoduje nagrzewanie kondensatora ze względu na straty na rezystancji wewnętrznej, co znacząco zmniejsza wykorzystanie zgromadzonego ładunku, a w dłuższym czasie doprowadzi do uszkodzenia kondensatora. Podczas eksploatacji warto zwrócić uwagę nie tylko na samorozładowanie, które jest w przypadku LiCAP znacznie ograniczone, ale także na pobór prądu spoczynkowego, jakim obciążony jest kondensator. Na prąd ten składają się prądy dzielników przetwornicy, komparatora, które w układzie zmniejszone są do minimum niezbędnego dla poprawnego działania oraz prąd pobierany przez współpracujący układ. Dłuższe pozostawanie układu bez doładowania superkondensatora może doprowadzić do jego degradacji oraz zniszczenia.

Zaprezentowany eksperymentalny układ ładowania kondensatora LiCAP zdecydowanie lepiej nadaje się do pracy w układzie podtrzymania zasilania podczas częstych, ale relatywnie krótkich zaników napięcia, przejmując przykładowo nadmiar energii pozyskanej z miniharwestera solarne, niż do długotrwałego zasilania układu pobierającego minimalny prąd, gdzie lepiej sprawdzi się inne sposoby magazynowania energii.

Podczas testowania układu czas ładowania CS1 z napięcia 2,2 V do 3,6 V wynosił ok. 180 s. Rozładowanie stałym prądem z przedziału 5...500 mA wykazało pojemność ok. 15 mAh. Czas ograniczony samorozładowaniem to kilkadziesiąt godzin.

Adam Tatus
adam.tatus@ep.com.pl