

# Moduł zasilający

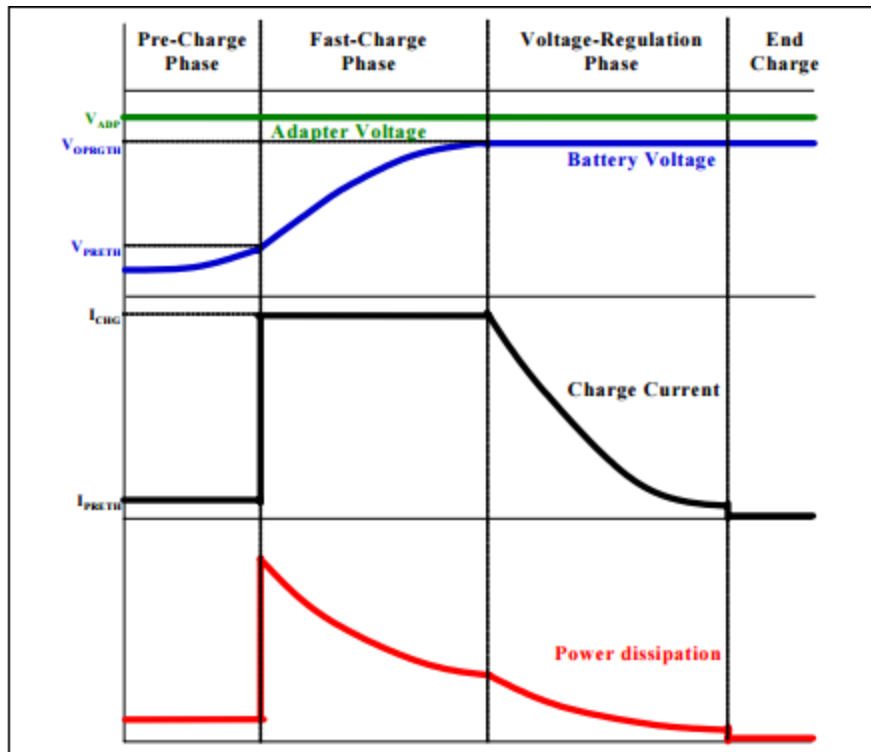
Do zasilania elementów systemu wykorzystano dedykowany moduł, którego zadaniem będzie nadzorowanie procesu ładowania akumulatora litowo-polimerowego jak i konwersja napięcia wyjściowego ognia na 3,3 V, które to jest wykorzystywane do zasilania pozostałych urządzeń. Stan baterii, to jest napięcie wyjściowe oraz dostępna pojemność, jest mierzony poprzez układ tzw. *Fuel Gauge*, którego zadaniem jest pomiar prądu i napięcia ogniwa i na jego podstawie wyznacza on zgromadzony ładunek elektryczny. Mikrokontroler nadzoruje ładowanie i stan baterii. Akumulator litowo-polimerowy dostarcza napięcie w zakresie 4,3-3,0 V, które jest przekonwertowane na 3,3 V przy pomocy przetwornicy Buck-Boost.

[---graph---]

## Bateria

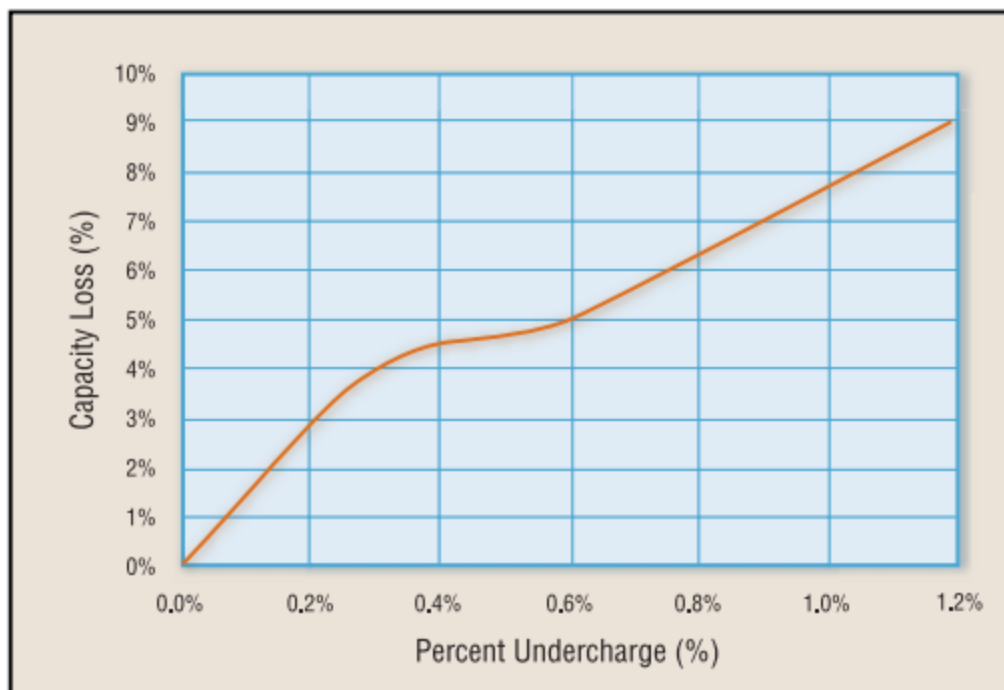
Z aktualnie dostępnych na rynku akumulatorów dobrym współczynnikiem objętości ogniwa do zgromadzonej pojemności cechują się akumulatory litowo-polimerowe. Pojemność zastosowanego w tym projekcie ogniwa to 180 mAh, a wymiary to 32 mm długości, 12 mm szerokości oraz 4 mm grubości.

Ogniwa litowo-polimerowe wymagają odpowiedniej procedury ładowania, tzn. początkowo akumulator zasilany jest z źródła prądowego aż do osiągnięcia napięcia w granicach ok 3,8 V kiedy to należy zmienić tryb zasilania na napięciowe o wartości 4,2 V. Dodatkowo w przypadku znacznie rozładowanego ogniwa stosuje się tzw. tryb *pre-charge* w którym ogniwo ładowane jest niewielkim prądem rzędu kilkudziesięciu mA, pozwala to odzyskać znaczną część pojemności ogniwa, lecz znaczne rozładowanie zwykle powoduje nieodwracalną stratę pojemności. Wykres ładowania przedstawiono na rysunku [--]



Rys [--] Przykładowe wykresy ładowania ogniwa litowo-polimerowego

Niedokładność napięcia ładowania w trybie *constant voltage* wpływa na pojemność baterii zgodnie z wykresem z rysunku [--TODO--].



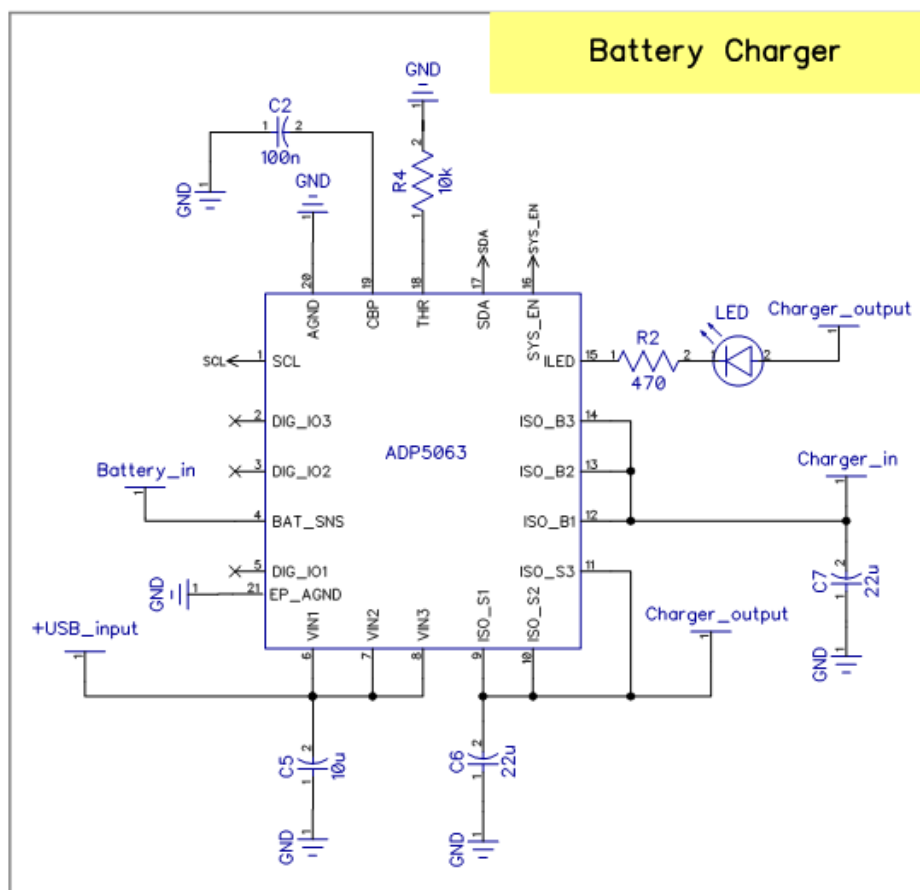
Rys [--TODO--] Wpływ błędu napięcia końcowego procesu ładowania na pojemność ogniwa

[źródło: <http://powerelectronics.com/site-files/powerelectronics.com/files/archive/powerelectronics.com/mag/504PET23.pdf> --TODO--]

## Układ ładujący

Układ ADP5063 wykorzystano do ładowania ogniwa ze względu na zintegrowane wewnętrznie elementy sterujące procesem takie jak tranzystory kontrolujące przepływ prądu, czujnik prądu ładowania oraz zabezpieczenia chroniące przed zwarceniem lub brakiem akumulatora.

Układ kontrolujący ładowanie jest przystosowany do współpracy z ogniwami o różnych parametrach ładowania takimi jak standardowe ogniwa litowo-polimerowe, czy litowo-żelazowo-fosforanowych. Napięcie ładowania oraz prąd są ustawiane przez mikrokontroler komunikujący się z sterownikiem poprzez interfejs I2C. Układ ten pobiera 5  $\mu\text{A}$  w trybie Standby, dzięki czemu nie obciąża baterii gdy nie jest wykorzystywany. Schemat połączeń układu ADP5063 zaprezentowano na rysunku 1. [TODO change numeration]



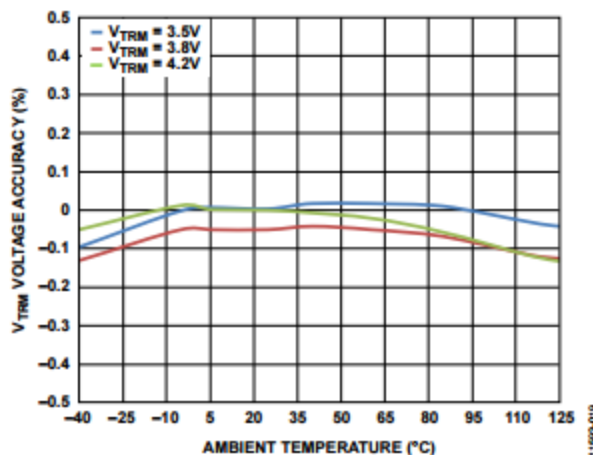
Rys [--TODO--] Schemat podłączenia układu ADP5063

Po podłączeniu zewnętrznego źródła zasilania do gniazda USB ADP5063 informuje mikrokontroler, który następnie inicjuje sekwencję ładowania danymi charakterystycznymi dla dołączonego ogniwa. Dodatkowo napięcie zasilające moduł jest pobierane z portu USB poprzez liniowy regulator 4,3 V wbudowany w układ kontrolera. Parametry ładowania są przekazywane do mikrokontrolera, dzięki czemu użytkownik ma wgląd na przebieg proces. Użytkownik ma możliwość ustawienia parametrów takich jak:

1. Prąd i napięcie ładowania w trybie *pre-charge*. Dla ogniwa wykorzystanego w tym projekcie wartości te zostały ustawione na 5 mA - minimalna wartość tego parametru oraz 2,5 V.
2. Prąd ładowania w trybie *constant current*. Dla ogniwa o pojemności 180 mAh wartość ta jest ustawiona na 50mA.
3. Wartość graniczna przejścia *constant current* na tryb *constant voltage*. Domyślnie 3,8 V.
4. Prąd i maksymalny czas pracy kontrolera w trybie *Fast charge*. Tryb ten znacznie wpływa na żywotność ogniwa dlatego nie jest wykorzystywany w tym projekcie.
5. Warunek zakończenia cyklu ładowania. Bateria jest uznana za w pełni naładowaną gdy prąd spadnie poniżej wartości 12,5 mA.
6. Napięcie histerezy dla ponownego cyklu ładowania. Kontroler przełącza zasilanie na zewnętrzne gdy jest ono dostępne dlatego ogniwo nie jest obciążone w tym przypadku, nowy cykl ładowania rozpocznie się gdy napięcie spadnie o 80 mV.

Układ ADP5063 charakteryzuje się niewielkim błędem napięcia końcowego ładowania.

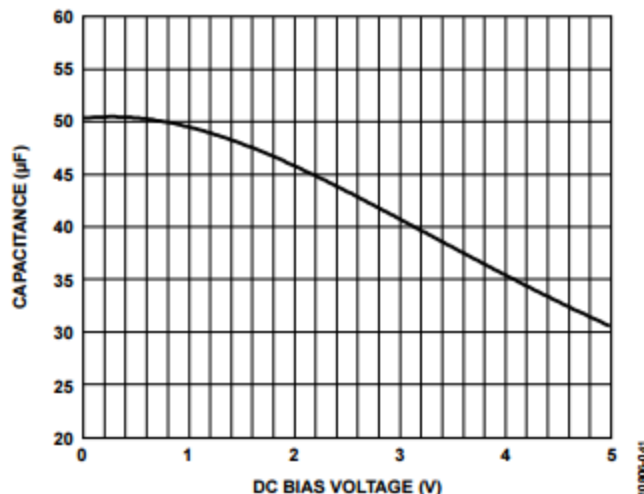
Rysunek [--TODO--] przedstawia wykres tego parametru w stosunku do temperatury otoczenia. Producent wskazuje maksymalny błąd rzędu 0,5% co przekłada się na utratę ok. 5% pojemności ogniwa.



Rys [--TODO--] Napięcie końcowe ładowania w zależności od temperatury otoczenia  
[źródło <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADP5063.pdf>  
--TODO--]

Producent zaleca minimalną wartość pojemności na wyjściu kontrolera na 10  $\mu\text{F}$ , lecz przy doborze tego elementu należy uwzględnić spadek pojemności na skutek temperatury czy

napięcia. Zależność pojemności od napięcia dla przykładowego kondensatora jest przedstawiona na rysunku [---], z tego wykresu wynika iż spadek rzędu 50-60% występuje dla niewielkich napięci dlatego należy go uwzględnić przy doborze pojemności wyjściowe. Jako kondensator wyjściowy dla ADP5063 zastosowano produkt 22  $\mu\text{F}$ .



Rys [---] Wpływ napięcia kondensatora na jego pojemność

## Układ estymacji pojemności baterii

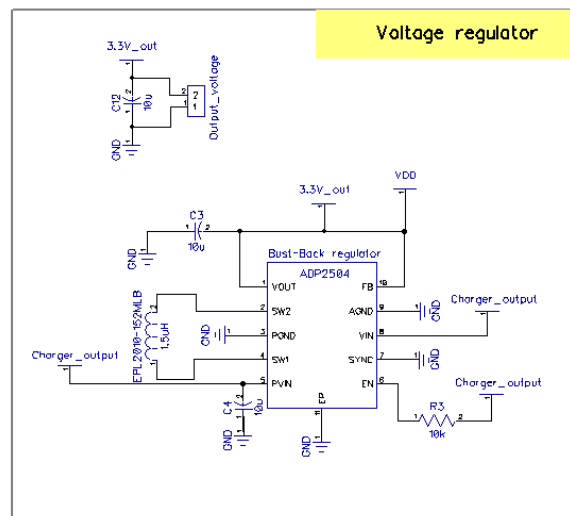
### Konwerter napięcia

W przypadku akumulatorów litowo-polimerowych przyjmuje się napięcie 3,0 V jako prób po którym ogniwo jest rozładowane kompletnie, dalszy pobór mocy powoduje nieodwracalną utratę pojemności wskutek zachodzących reakcji chemicznych. W tym projekcie przyjęto napięcie zasilające moduły na 3,3 V, dlatego też aby w pełni wykorzystać moc zgromadzoną w akumulatorze zastosowano konwerter w topologii buck-boost, które to pozwala generować napięcie ponad jak i poniżej napięcie zasilającego regulatora.

Autor zdecydował się na przetwornice bazującą na cewce ze względu na większą wydajność tego typu rozwiązania nad przetwornicami bazującymi na kondensatorze tzw. *charge-pump*, które to cechują mniejszymi zakłóceniami elektromagnetycznymi oraz zazwyczaj mniejszymi wahaniami napięcia wyjściowego.

Jako maksymalny prąd wyjściowy modułu zasilającego przyjęto wartość 200 mA. Na bazie tego oraz powyższych założeń wybrano przetwornicę firmy Analog Devices ADP2504 [---datasheet źródło] cechuje się ona maksymalnym prądem wyjściowym 1000 mA, topologią buck-boost, częstotliwością przełączania 2,5 MHz oraz trybem wysokiej sprawności dla niskiego prądu obciążenia. Wbudowany tranzystor kluczujący redukuje ilość zewnętrznym komponentów do pojedynczej cewki oraz wejściowego i wyjściowego kondensatora, na

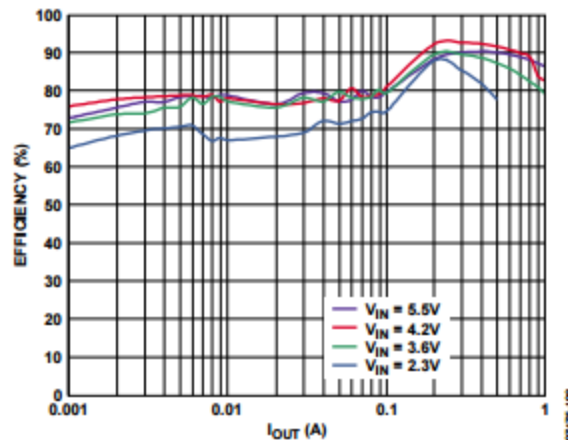
rysunku [--] przedstawiono schemat podłączenia ADP2504. Analog Devices produkuje ten układ z ustawionym napięciem wyjściowym dlatego też nie wymagane są rezystory ustawiające, co dodatkowo redukuje ilość komponentów.



Rys [--] Schemat podłączenia regulatora ADP2504

Przetwornica ADP2504 zawiera wewnętrzne zabezpieczenie przeciwko zbyt niskiemu napięciu zasilania, dzięki czemu układ wyłącza się gdy napięcie wejściowe spadnie poniżej 2,1 V. Zabezpieczenie to nie chroni uszkodzeniem ogniwa wskutek znacznego rozładowania, dlatego też zastosowano cyfrową detekcję napięcia poprzez układ LTC2942. Mikrokontroler rozłączy napięcie wejściowe konwerter gdy spadnie ono poniżej 3 V. Pozostałe zabezpieczenia układu ADP2504 tzn. ochrona przed wysoką temperaturą oraz zbyt dużym prądem wyjściowym nie powinny być uaktywnione przy normalnej pracy modułu, gdzie temperatura nie powinna przekraczać kilku stopni powyżej temperatury otoczenia oraz prąd wyjściowy nie osiągnie wartości ponad 200-300 mA.

Główną cechą przemawiającą za wyborem regulatora firmy Analog Devices jest duża sprawność w szerokim zakresie prądu - jest ona przedstawiona na rysunku [--]. Tryb pracy PSM (power saving mode) ogranicza ilość przełączeń dzięki czemu uzyskuje się sprawność rzędu 60-80% przy niskim obciążeniu, z wyłączonym trybem PSM przetwornica uzyskuje sprawność 30%-60% dla prądu 10 mA i 7%-15% dla obciążenia 1 mA.



Rys [--] Sprawność układu ADP2503 w trybie PSM i PWM dla napięcia wyjściowego 3,3 V

Aby wyeliminować zakłócenia elektromagnetyczne przy przełączaniu regulatora zastosowano cewkę zamkniętą w metalowej obudowie (*shield inductor coil*). Ten typ obudowy cechują się większymi wymiarami, lecz wykorzystana przetwornica pracuje na częstotliwości 2,5 MHz dzięki czemu można uzyskać wysoką sprawność przy małej indukcyjności dławika - w tym przypadku 1-2  $\mu\text{H}$ . Dla największej sprawności producent zaleca wartości 1,5  $\mu\text{H}$ . Wielkość cewki jest proporcjonalna do maksymalnego prądu jak i indukcyjności, która w przypadku EPL2010-152MLB wynosi: 2 mm x 2 mm (wysokość 1 mm).

[---źródło: <http://www.coilcraft.com/pdfs/epl2010.pdf> - info o cewce]

--dlaczego wybrano napięcie 3.3v a nie 2.5v itd.

--przebieg procesu ładowania - krzywa i nazwy rejestrów

--schemat programu blokowy

--cewka shieldowana do regulatora