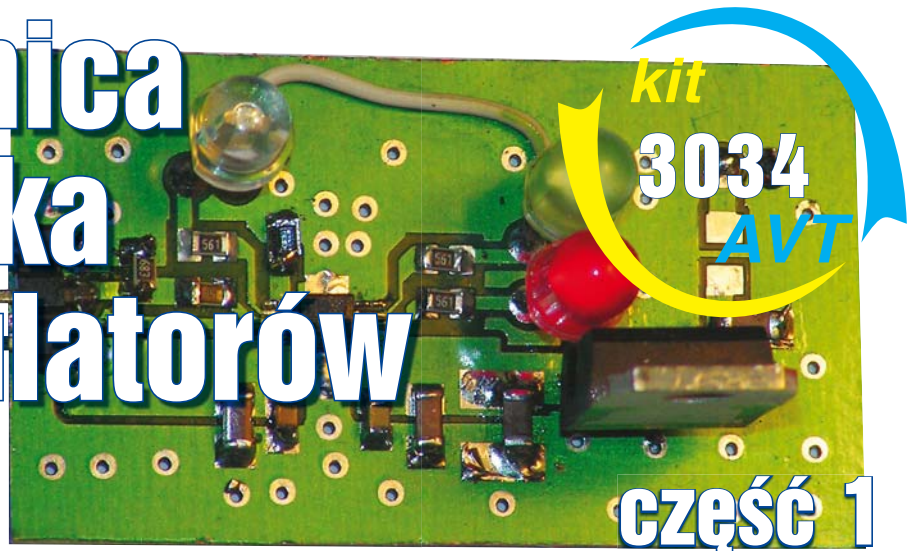


Przetwornica i ładowarka do akumulatorów litowych



Dwuczęściowy artykuł opisuje sposoby wykorzystania akumulatorów litowych z odzysku. Prezentowane układy ładowarki i przetwornicy nie powinny nikogo przestraszyć. Działają od pierwszego włączenia, wymagana jest tylko umiejętność montażu elementów SMD i zrozumienie podstawowych zagadnień z dziedziny elektroniki, jak prawo Ohma czy drugie prawo Kirchhoffa.

W artykule opisana jest prosta ładowarka oraz przetwornica współpracująca z akumulatorami litowymi. Dzięki zastosowaniu tych układów możemy „zagospodarować” akumulatory, których już nie używamy w telefonie komórkowym czy aparacie fotograficznym, np. z powodu spadku ich pojemności albo zastąpienia nowszym modelem. W prezentowanych układach zastosowano nowoczesne, a przy tym tanie podzespoły. Opisane rozwiązania układowe ochrony akumulatora litowego są standardem w rozwiązaniach profesjonalnych. W opisanych układach położono duży nacisk na bezpieczeństwo użytkownika konstrukcji. Uzupełnieniem artykułu jest arkusz kalkulacyjny *sepic.ods* dostępny w Elportalu, pozwalający obliczyć szybko wartości kluczowych elementów stosowanych w układzie tak, by układ pracował z zadanym przez nas napięciem i prądem wyjściowym. Układu tego typu używałem jako zamiennika baterii alkalicznych do zasilania nadajnika dzwonka bezprzewodowego. Baterie alkaliczne 12V nie wytrzymały ujemnych temperatur i „wylewały się”, uszkadzając układ elektro-

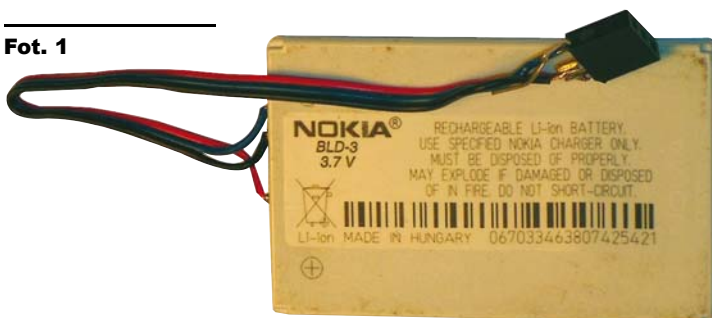
niczny nadajnika bezprzewodowego. Układ pracował przez dwa zimowe sezony, a przestał działać tylko raz, po zalaniu pojemnika z układem elektronicznym wodą deszczową – uszczelnienie obudowy układu rozwiązało całkowicie ten problem.

Akumulatory litowe i ich parametry

Wspólną nazwą *akumulatory litowe* określamy tu akumulatory litowo-jonowe i litowo-polymerowe (pomijamy natomiast najnowsze akumulatory fosfatowe LiFePo). Bardzo korzystnymi cechami akumulatorów litowych są: niski prąd samorozładowania, duża pojemność przy małej objętości i niewielkim ciężarze, możliwość pobierania dużego prądu i ładowania dużym prądem, brak efektu pamięciowego, możliwość pracy niektórych typów do -30 stopni Celsjusza oraz stosunkowo niska cena. Koszt nowego akumulatora litowego (zamiennika) to kilka do dwudziestu kilku złotych. Podstawowym parametrem jest pojemność, wyrażana zwykle w miliamperogodzinach oraz napięcie. W przypadku akumulatorów litowych podaje się trzy napięcia: napięcie w pełni naładowanego akumulatora – wartość ta jest jednocześnie maksymalnym napięciem ładowania. **Zbyt wysokie napięcie podczas ładowania może nawet doprowadzić do wybuchu akumulatora!** Napięcie nominalne, będące napięciem, po osiągnięciu którego należy ładować akumulator i minimalne napięcie będące napięciem, do którego można jeszcze rozładować akumulator bez ryzyka jego uszkodzenia. W przypadku akumulatorów stosowanych w telefonach komórkowych typowa wartość maksymalnego napięcia akumulatora wynosi 4,2V, napięcia nominalnego 3,7V, a dopuszczalnego napięcia rozła-

dowania 2,75V. Rozładowanie akumulatora poniżej minimalnego napięcia akumulatora może spowodować jego nieodwracalne uszkodzenie. Układy akumulatorów litowych są bardzo wrażliwe na głębokie rozładowanie, nie wolno przechowywać ich w stanie rozładowania. Co ważne, napięcie akumulatora litowego zmienia się proporcjonalnie do stopnia wyładowania akumulatora. Akumulatory litowe zwykle ładuje się stosunkowo dużym prądem, co pozwala skrócić czas ładowania akumulatora, ale wymaga kontrolowania jego temperatury. Z tego powodu większość dostępnych na rynku akumulatorów litowych zawiera zintegrowany element termoczuły w swojej obudowie, najczęściej termistor NTC, rzadziej PTC. Termistor współpracuje z elektroniką ładowarki i informuje ją o przekroczeniu dopuszczalnej temperatury akumulatora. **Akumulatory litowe w przypadku przekroczenia maksymalnej temperatury mogą eksplodować, podobnie jak i inne typy akumulatorów eksploatowane nieprawidłowo!** Akumulator litowy ma najczęściej trzy wyprowadzenia: wspólne ujemnego bieguna akumulatora i termistora, drugie wyprowadzenie termistora i dodatniego bieguna akumulatora. W akumulatorach telefonów komórkowych stosuje się zwykle termistor typu NTC, mający ujemny współczynnik temperaturowy zmian rezystancji (ze wzrostem temperatury termistora jego rezystancja maleje). W większości ze zbadanych przeze mnie akumulatorów z telefonów komórkowych, zastosowany termistor miał rezystancję 47 kiloomów w temperaturze pokojowej. W przypadku akumulatorów o większej pojemności wartość rezystancji termistora w temperaturze pokojowej wynosi najczęściej 10 kiloomów. Przykładowy akumulator litowy z telefonu komórkowego pokazany jest na **fotografii 1**.

Fot. 1



Ładowarka akumulatorów litowych

Akumulatory litowe ładowane są dwufazowo. W pierwszej fazie ładowane są stałym prą-

dem, a gdy akumulator osiągnie napięcie znamionowe – ładowane są przy stałym napięciu, równym maksymalnemu napięciu akumulatora. Generalnie prąd ładowania powinien być mniejszy od pojemności akumulatora wyrażonej w mAh (czyli powinien być mniejszy niż 1C). Opisywaną tu ładowarkę wykonano na specjalizowanym układzie MCP73833 firmy Microchip. Główną zaletą jest niezwykle prosty schemat aplikacyjny oraz niska cena układu scalonego, wynosząca około 3zł za sztukę przy zakupie pojedynczych sztuk. Układ MCP73833 występuje w kilku wersjach, różniących się parametrami – ja wybrałem wersję o napięciu wyjściowym 4,2V (maksymalnie naładowany akumulator litowy o napięciu znamionowym 3,7V). Istnieją wersje układu MCP73833 różniące się zachowaniem ładowarki, np. układ w wersji FCI ma licznik, który powoduje wystawienie informacji o nieudanym ładowaniu, jeśli ładowarka nie naładuje akumulatora w ciągu 6h. Wersja oznaczona literami AMI nie ma limitu czasowego ładowania akumulatora. Układ ten ma układ wstępnego ładowania w przypadku ładowania mocno wyładowanych akumulatorów oraz obwody sygnalizujące informujące o statusie pracy ładowarki. Strukturę wewnętrzną układu scalonego pokazano na **rysunku 2**. Schemat układu ładowarki zamieszczony jest na **rysunku 3**. Wydawało mi się, że układ ten, poprawnie zmontowany, po prostu nie ma prawa nie działać. To jednak właśnie ładowarka sprawiła mi znaczące problemy. Ładowarkę wykonałem według typowego schematu aplikacyjnego, nie analizując ani noty aplikacyjnej, ani schematu blokowego układu. Badany przeze mnie akumulator firmy Nokia zawierał termistor o rezystancji 47kΩ w temperaturze pokojowej, a karta katalogowa układu MCP73833 podawała wartości elementów

dla termistora o wartości 10kΩ. Zmiana wartości termistora na 47kΩ w przypadku stosowania termistorów NTC powinna więc tylko przesunąć próg zadziałania zabezpieczenia termicznego w stronę większych temperatur. Tak wykonana ładowarka nie chciała jednak ładować – nawet mocno wyładowanych, a sprawnych akumulatorów. Dopiero po spędzeniu dłuższego czasu nad układem postanowiłem bliżej przyjrzeć się schematowi wewnętrznemu układu i tu... czekała mnie niespodzianka! Układ scalony ma w swojej strukturze dwa komparatory, współpracujące z termistorem,

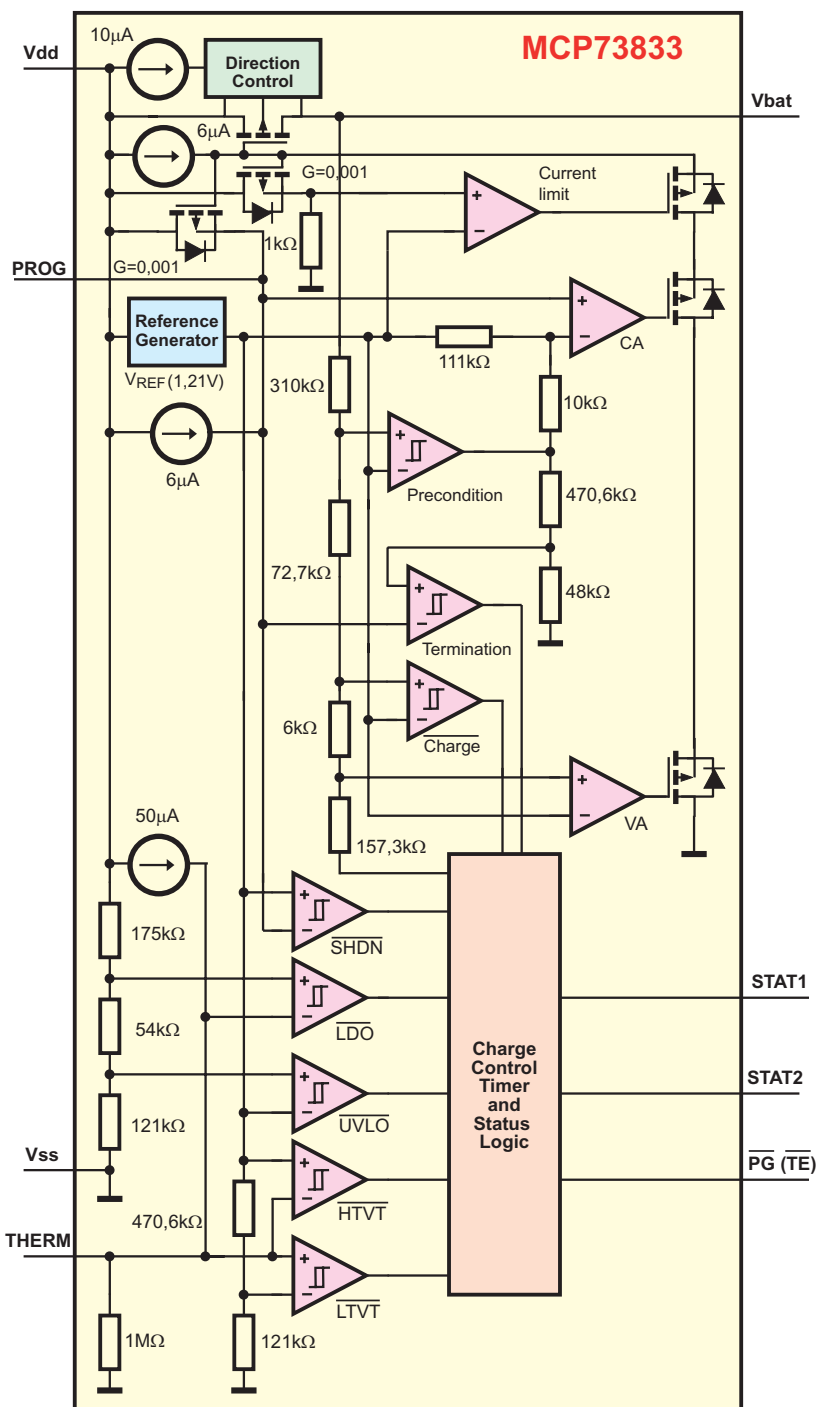
oraz źródło prądowe. Okazało się, że układ wykrywał nie tylko obniżenie wartości rezystancji termistora, co w przypadku termistora NTC informowało o wzroście temperatury akumulatora, ale i wzrost rezystancji powyżej zadanej wartości! Przyjęte przez konstruktorów firmy Microchip rozwiązanie ma szereg zalet, niesie bowiem informacje o stanie termistora (czy jest on sprawny), umożliwia określenie zakresu temperatur, w jakich akumulator może być ładowany oraz umożliwia współpracę zarówno z termistorami o dodatnim (PTC), jak i ujemnym (NTC) współczynnikiem temperaturowym. Po stwierdzeniu, że przyczyną niedziałania układu są zastosowane wartości rezystancji, postanowiłem wyliczyć je samodzielnie na podstawie podanych w karcie katalogowej wzorów dla termistora typu NTC.

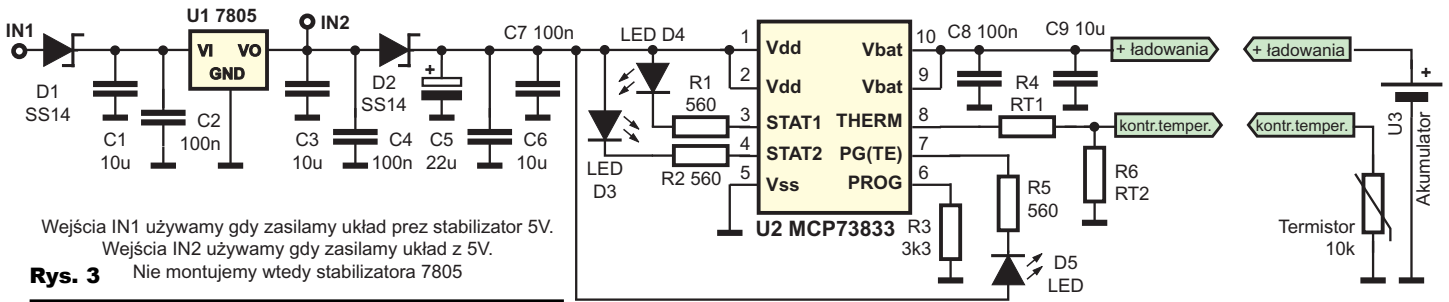
$$24\text{k}\Omega = R_{T1} + \frac{R_{T2} * R_{cold}}{R_{T2} + R_{cold}}$$

$$5\text{k}\Omega = R_{T1} + \frac{R_{T2} * R_{hot}}{R_{T2} + R_{hot}}$$

Aby wyliczyć wymagane wartości rezystancji, należy najpierw wyliczyć wartości R_{T1} dla obu równań i podstawić drugie połówki równania do siebie, a następnie rozwiązać równanie kwadratowe. Następnie należy wyliczyć wartość R_{T2} , podstawiając do dowolnego z równań jeden z pierwiastków równania kwadratowego. Przyjąłem, że wartość rezystancji termistora będzie zmieniać się od około 35kΩ (co odpowiada temperaturze akumulatora około 45 stopni Celsjusza – R_{hot}) do 55kΩ R_{cold} dla zastosowanego przeze mnie akumulatora z termistorem 47kΩ. Podczas rozwiązywania tego równania, napotkałem jednak pewien dość istotny problem – albo obie wartości, będące rozwiązaniem równania kwadratowego miały wartość ujemną, przez co nie mogły być rozwiązaniem, albo wyliczona wartość spełniająca pierwsze równanie (pierwiastek o znaku dodatnim) powodował, że wyliczona wartość opornika R_{T2} przyjmowała

Rys. 2





Wejścia IN1 używamy gdy zasilamy układ przez stabilizator 5V.
Wejścia IN2 używamy gdy zasilamy układ z 5V.

Rys. 3 Nie montujemy wtedy stabilizatora 7805

wartość ujemną – układ nie współpracował z wartościami rezystancji stosowanymi w moim akumulatorze z telefonu komórkowego. Podłączenie opornika równoległego do termistora w celu zmian zakresu rezystancji termistora nie rozwiązywało tego problemu. Problem ten można obejść na dwa sposoby. Pierwszym sposobem jest usunięcie oryginalnego termistora i zastąpienie go termistorem NTC o wartości 10kΩ o stałej materiałowej beta około 4000. Stała beta mówi nam, jak zmienia się rezystancja termistora w funkcji temperatury. W celu uproszczenia obliczeń stworzyłem arkusz kalkulacyjny w formacie ods (Open Office), który automatyzuje praktycznie wszystkie obliczenia, wykorzystywane podczas uruchamiania układu. Każde wyliczenie znajduje się w innej zakładce skoroszytu. Wartości rezystancji termistora dla różnych temperatur obliczamy w zakładce NTC arkusza kalkulacyjnego. Wyliczone wartości rezystancji dla różnych temperatur (powiedzmy 10 i 45 stopni Celsjusza) podstawiamy do równania kwadratowego, zakładka MCP73833 – 2 oporniki. Do układu wstawiamy wartości najbliższe wyliczonym. Drugą możliwością rozwiązania problemu jest zapewnienie, żeby rezystancja termistora nie wzrosła powyżej wartości powodującej zadziałanie drugiego z komparatorów, przez podłączenie równoległe do termistora zamontowanego na akumulatorze rezystora równoległego o odpowiedniej wartości rezystancji – wartość tego opornika wyliczymy w zakładce MCP73833 – 1 opornik. W tym wypadku w miejsce rezystora RT1 wlotujemy opornik o wartości 0Ω (zwora). Praca z jednym tylko elementem ograniczającym zakres temperatur przewidziana jest również w karcie katalogowej układu.

Wartość prądu ładowania akumulatora ustala się za pomocą opornika podłączonego między masą układu a wyprowadzeniem 6 kostki MCP73833. Przyjąłem, że wartość prądu ładowania nie powinna przekraczać 50% pojemności akumulatora wyrażonej w mAh (<0,5C). Prąd ładowania wylicza się z następującego wzoru:

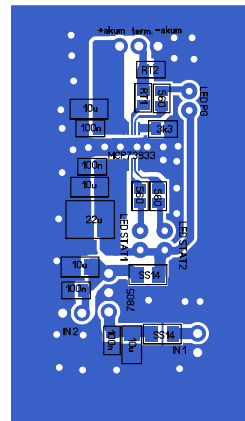
$$I_{reg} [mA] = \frac{1000 [V]}{R_{prog} [k\Omega]}$$

W moim wypadku prąd ładowania ograniczony jest do 300mA. Układ ten powinien być zasilany z napięcia stabilizowanego 5V, co

ogranicza moc strat w samym układzie scalonym ładowarki. Zastosowany układ nie może rozpraszać zbyt dużej mocy, choćby z powodu zastosowanej obudowy. W przypadku prądów ładowania wyższych niż kilkaset mA konieczne jest zmniejszenie napięcia zasilania np. przez włączenie w szereg z wyjściem stabilizatora 7805 diody Schottky'ego w celu obniżenia mocy strat wydzielanej w układzie MCP73833 oraz zastosowania radiatora dla układu stabilizatora scalonego. Układ MCP73833 umożliwia ładowanie prądem do 1A. W przypadku zasilania układu z +5V, stabilizator można pominąć. Dioda D1 zabezpiecza ładowarkę przed uszkodzeniem spowodowanym odwrotnym podłączeniem napięcia zasilania. Kondensatory na wyjściu ładowarki zapobiegają wzbudzeniom układu przy odłączonym akumulatorze. Układ posiada trzy diody świecące, informujące o statusie ładowarki. Dioda podłączona do wyprowadzenia PG świeci gdy ładowarkę podłączymy do prądu. Dioda podłączona do wyprowadzenia STAT1 świeci podczas ładowania akumulatora. Po naładowaniu akumulatora dioda STAT1 gaśnie, a załącza się dioda podłączona do wyprowadzenia STAT2. Rzadziej opisane stany sygnalizacyjne poznasz, jeśli przeanalizujesz kartę katalogową. Akumulator najlepiej podłączyć do ładowarki za pomocą złącza zawierającego klucz, zapobiegający niepoprawnemu podłączeniu wyprowadzeń akumulatora. W przypadku odłączenia akumulatora od ładowarki napięcie na zaciskach ładowarki powinno wynosić 4,2V. Funkcję odprowadzenia ciepła

z układu MCP73833 pełni odpowiednio zaprojektowana dwustronna płytko drukowana z tzw. padami termicznymi, czyli połączeniami, których zadaniem jest odprowadzanie ciepła. Zmontowany układ w wersji prototypowej pokazano na fotografii tytułowej, a schemat montażowy na rysunku 4. Układ zmontowany ze sprawnych elementów nie wymaga uruchamiania poza dobraniem wartości elementów za pomocą arkusza kalkulacyjnego.

W drugiej części artykułu opisana zostanie przetwornica.



Rys. 4

o wartości do 1A. W przypadku zasilania układu z +5V,

Rafał Orodziński
sq4avs@gmail.com

R E K L A M A

