

Układy scalone do ładowarek akumulatorów



Ze względu na obszerne tabele pełny tekst artykułu zamieściliśmy na płycie CD-EP 12/2011 oraz serwerze FTP

Dodatkowe materiały na CD/FTP:
ftp://ep.com.pl, user: 17692, pass: 4yv87ftn

W artykule zaprezentowano przegląd układów scalonych przeznaczonych do budowy ładowarek do akumulatorów o różnych rodzajach substancji chemicznych użytych do ich konstrukcji. Zależnie od rodzaju elektrolitu i materiału tworzącego elektrody, akumulatory różnią się charakterystykami ładowania i rozładowania, mają też różne własności. W wykazach ujęto produkty firm Microchip, Texas Instruments (w tym przejętego przezeń National Semiconductor), Maxim oraz Linear Technology. Układy te są dostępne w ofertach polskich dystrybutorów.

Na rynku dostępnych jest coraz więcej urządzeń, do zasilania których stosuje się akumulatory lub baterie. O ile jeszcze kilka lat temu bardzo popularne były akumulatory NiCd, a następnie NiMH, to współcześnie królują przede wszystkim różne rodzaje akumulatorów litowych (Li-Ion, Li-Po, LiFePO₄). W sprzęcie popularnym, ze względu na bardzo dobre parametry oraz niski ciężar, stosowane są przede wszystkim akumulatory Li-Ion (litowo-jonowe), ostatnio coraz częściej zastępowane przez Li-Po (litowo-polimerowe) lub LiFePO₄ (litowo-żelazowe). Oprócz nich, w urządzeniach wymagających akumulatora o dużej pojemności, chyba przede wszystkim ze względu na niską cenę, nadal stosowane są akumulatory kwasowe z elektrodami wykonanymi z ołowiu i elektrolitem na bazie kwasu siarkowego, ostatnio wykonywane głównie jako bezobsługowe z elektrolitem żelowym. Szczegółowe informacje na ich temat można znaleźć w innym artykule, tu skupmy się na układach do ładowarek.

W handlu dostępne są przede wszystkim układy przeznaczone do konstruowania ładowarek akumulatorów litowych, ponieważ tak naprawdę akumulatory kwasowe, NiMH i NiCd nie wymagają jakiegś szczególnej „troski”. Nie są one zbyt wrażliwe na przeladowanie, więc wystarczy nadzorować napięcie oraz wartość natężenia płynącego prądu przez określony czas wynikający z podzielenia pojemności akumulatora przez prąd ładowania. Do tego wystarczy zwykły układ czasowo-licznikowy i zasilacz prądu stałego. Często w rozwiązaniach

fabrycznych spotyka się nieskomplikowane układy z transformatorem sieciowym i prostownikiem diodowym, jedno- lub dwupółkownikowym, ponieważ ładując akumulatory NiCd lub NiMH napięciem impulsowym wydłuża się ich trwałość. Niegdyś można było kupić tzw. szybkie ładowarki akumulatorów NiCd, które wymagały pomiaru temperatury ogniwa, ale dziś zamiast szukać układów scalonych do tych ładowarek chyba dobrze jest założyć, że akumulatory NiCd lub NiMH muszą być po prostu ładowane przez pewien określony (niestety, zwykle dość długi) czas. Z zasady, im mniejszy jest prąd ładowania, tym lepiej dla akumulatora, ponieważ zjawiska niepożądane mają wówczas mniejszy wpływ na procesy ładowania i starzenia się. Po naładowaniu nie będzie też niebezpieczeństwa przegrzania się akumulatora, gdy jego napięcie na skutek przeladowania nieznacznie spadnie. Niemniej, przeladowanie to zjawisko niekorzystne i powinno się mu przeciwdziałać.

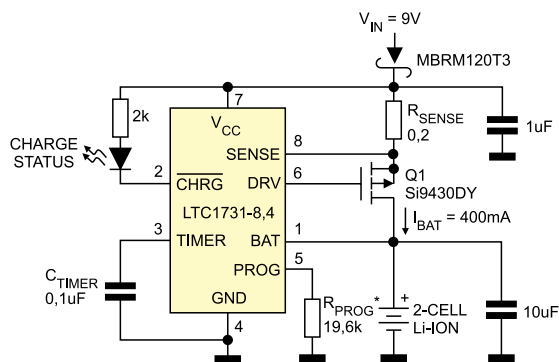
W akumulatorach NiCd i NiMH występuje tzw. efekt pamięci. Polega ono na tym, że akumulator częściowo rozładowany i następnie naładowany po kilku takich cyklach zachowywał się tak, jakby miał pojemność równą pojemności doładowywanej, a nie nominalnej. Aczkolwiek jest to zjawisko odwracalne (należy kilkakrotnie całkowite rozładować i naładować akumulator), to dla żywotności akumulatora, niezmiernie istotna jest jego prawidłowa eksploatacja. Lepiej, aby akumulator był rozładowywany do wartości minimalnej, a następnie

ładowany – to wydłuży czas jego funkcjonowania. Jest to też powodem, dla którego w wielu ładowarkach fabrycznych wbudowuje się liczniki cykli ładowania akumulatorów NiCd lub NiMH niejako prognozujące zużycie się akumulatora. Akumulatory pochodzące od producenta dbającego o swoją markę mają w parametrach technicznych podaną minimalną, gwarantowaną liczbę cykli ładowania, dla której zachowują swoją pojemność. Warto przy okazji wspomnieć, że efekt pamięciowy jest słabszy w wypadku ogniw NiMH, które mają przy tym pojemność o ok. 30% wyższą, niż odpowiadające im wymiarami ogniwa NiCd, ale z drugiej strony są one też mniej odporne na podwyższoną temperaturę.

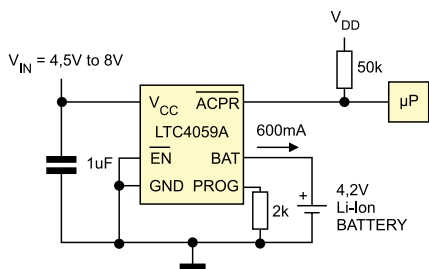
Układy scalone ładowarek dostępne w handlu są przeznaczone przede wszystkim do ładowania różnych odmian akumulatorów litowych. Prąd ich ładowania jest dosyć wysoki, ale trzeba pamiętać, że przy nieumiejętnym obchodzeniu się taki akumulator może eksplodować! Dlatego te układy scalone mają wbudowane różnego rodzaju zabezpieczenia, które chronią akumulator przed uszkodzeniem. Z drugiej strony, jako użytkownicy urządzeń, chcemy, aby jego bateria została naładowana jak najszybciej. Istnieje nawet zalecenie, które mówi, że w przeciągu 30 minut akumulator urządzenia przenośnego powinien być naładowany w co najmniej 70% swojej pojemności. Dlatego producenci układów scalonych implementują w nich specjalne algorytmy ładowania, często wymagające dołączenia np. termistora mierzącego temperaturę ładowanego ogniwa.

Przy ładowaniu akumulatorów litowych składających się z wielu ogniw często stosuje się tzw. balansery. To nie są żadne „czary-mary”, ale jeden ze sposobów wydłużenia czasu eksploatacji ogniw. Bateria akumulatorów ładowana z użyciem balansera musi mieć specjalną konstrukcję – powinna być wyposażona w złącze umożliwiającej pomiar napięcia indywidualnie na każdym z ogniw. Zwykle balansery są nadzorowane przez mikrokontroler, który nadzoruje wyrównanie poziomu energii w każdym ogniwie oraz napięcie występujące na każdym z nich. W bateriach ogniw połączonych szeregowo

Wśród parametrów akumulatora duże znaczenie ma tzw. parametr jednogodzinny „C”. Określa on taką wartość prądu rozładowania, która rozładuje akumulator w ciągu 1 godziny i dlatego może być utożsamiany z pojemnością akumulatora wyrażoną nie w Ah, ale w samych A. Jeśli np. akumulator NiMH ma pojemność 2400 mAh to oznacza, że maksymalny prąd rozładowania wynosi 2400 mA (1 godz. × 2400 mA). Prąd ładowania zwykle ma wartość ułamka prądu rozładowania i dlatego wyraża się go jako iloczyn ułamka i parametru „C” np. „0,2C”, co oznacza, że maksymalny, dopuszczalny prąd ładowania to 480 mA (0,2 × 2400 mA).



Rysunek 1. Schemat ideowy aplikacji układu LTC1731-4.2



Rysunek 2. Schemat ideowy aplikacji układu LTC4059

może bowiem zdarzyć się, że sumaryczne napięcie całkowite wszystkich ogniw jest prawidłowe, ale indywidualne napięcia na poszczególnych ogniwach są złe. Posłużymy się przykładem pakietu akumulatorów używanych przez modelarzy, składającego się z 3 ogniw Li-Po. Napięcie znamionowe takiego pakietu wynosi 11,1 V ($3 \times 3,7$ V). Podczas ładowania nie wolno przekraczać napięcia 4,2 V na ogniwo, co oznacza, że napięcie wyjściowe ładowarki nie może być wyższe niż 12,6 V. Jednak na skutek rozrzutu parametrów ogniw może zdarzyć się, że rozkład napięć na nich jest nierównomierny i wynosi np. 4 V + 4,5 V + 4,1 V, a ogniwo, na którym występuje napięcie 4,5 V może zostać uszkodzone. Takiej sytuacji unika się, gdy jest używany balanser – każdemu z ogniw jest dostarczane tyle energii, ile potrzebuje, bez ryzyka przeładowania czy niedoładowania.

Niestety, nie wszystkich omawianych przez nas rozwiązań da się użyć w produkcji małoseryjnej, a to ze względu na rodzaj obudowy układu. Na przykład niektóre z doskonałych skądinąd układów z serii bq (Texas Instruments) mają miniaturowe obudowy z rodzaju BGA i są przeznaczone do zabudowania w przenośnych odtwarzaczach multimedialnych, sprzęcie medycznym, telefonach komórkowych, a więc sprzęcie produkowanym masowo. Dlatego powierzchnia obudowy takiego układu waha się w okolicach co najwyżej kilku milimetrów kwadratowych, a sam układ jest trudny do zamontowania bez specjalistycznego oprzyrządowania.

Analogicznie jak zasilacze, produkowane są dwa typy ładowarek: liniowe i impulsowe. Jednak inaczej niż w zasilaczach, dostępne są również ładowarki PWM. O ile ładowarki impulsowe regulują napięcie wyjściowe i prąd obciążenia w taki sposób, jak zasilacz impulsowy, o tyle ładowarka PWM (trudno znaleźć dla jej nazwy ekwiwalent w języku polskim, w języku angielskim oba typy układów są rozróżniane za pomocą terminów *switching* i *pul-*

se) zawiera tranzystor MOS, który załącza prąd/napięcie ładowania ze zmiennym współczynnikiem wypełnienia, zależnym od poziomu energii w ładowanym akumulatorze.

Rozpatrując parametry i cechy użytkowe ładowarek można posłużyć się analogią do zasilaczy: ładowarki liniowe i PWM są łatwiejsze w budowie, ale mają mniejszą sprawność. Ładowarki impulsowe zawierają więcej komponentów, są trudniejsze w budowie, ale jednocześnie marnują mniej energii.

Na koniec warto dodać, że przyjmuje się charakterystyczne wartości napięcia dla ogniw naładowanych do wartości nominalnej:

- Li-Ion: 3,6 V.
- Li-Pol, LiFePO4: 3,7 V.
- NiCd, NiMH: 1,2 V.

Odczytując z karty katalogowej układu liczbę ładowanych ogniw można oszacować napięcie dostarczane przez ładowarkę oraz wymagane napięcie wejściowe zasilające ładowarkę.

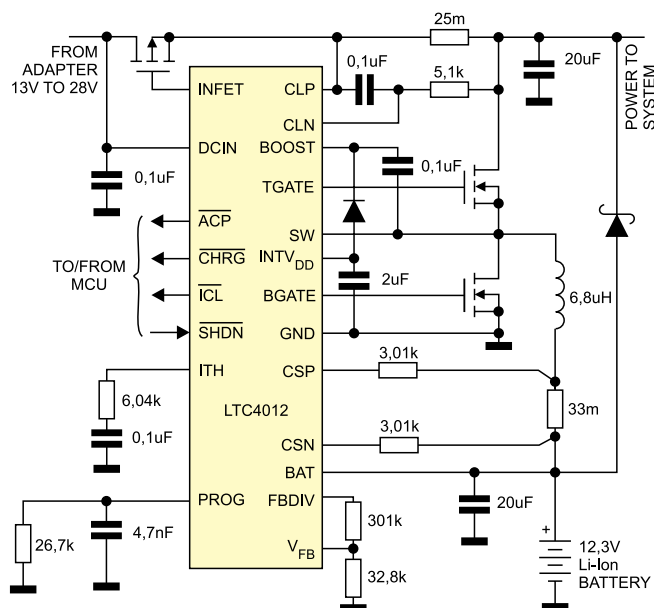
Najprostszy algorytm ładowania polega na dołączeniu do akumulatora źródła napięcia stałego o parametrach dostosowanych do ładowanego akumulatora. Na przykład pakiet 4 połączonych szeregowo ogniw NiMH o wymiarach paluszków AA można ładować z użyciem zasilacza prądu stałego 5 V/300 mA. Jeśli ogniwa mają pojemność 2450 mAh (np. Energizer), to zasilacz należy odłączyć po upływie 11 godzin. Podobnie można ładować akumulatory litowe – niewielkim prądem przez pewien czas. Jednak w ich wypadku znacznie lepiej sprawdzają się różne wyrafinowane, inteligentne algorytmy implementowane przez producentów.

Linear Technology

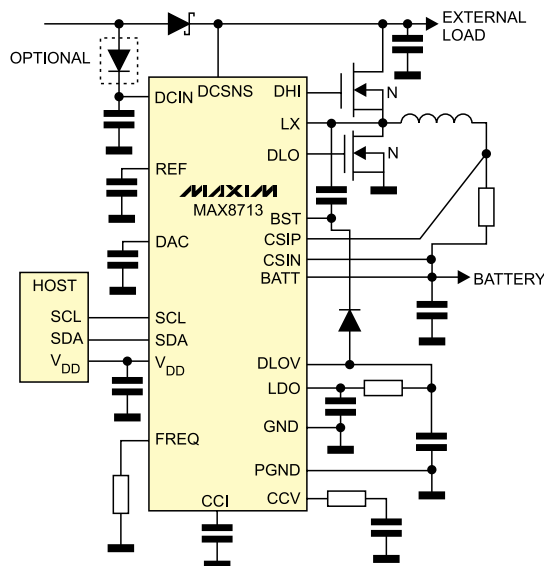
Wykaz układów do ładowarek produkowanych przez firmę Linear Technology zamieszczono w tabeli 1. Wśród nich można znaleźć układy liniowe i impulsowe. Większość z nich jest przeznaczona do ładowania akumulatorów litowych i ma możliwość ładowania od 1 do 6 ogniw połączonych ze sobą szeregowo. W ofercie LT są również dostępne układy przeznaczone do ładowania akumulatorów NiCd i NiMH, od 1 do 18 ogniw.

Przykład aplikacji ładowarki z układem liniowym typu LTC1731-4.2 pokazano na rysunku 1. Jest ona przeznaczona do ładowania pojedynczego ogniwa litowego (najczęściej w praktyce będzie to Li-Ion). Mimo miniaturowych wymiarów i nieskomplikowanej budowy, ładowarka ma całkiem „przyzwoite” parametry: prąd obciążenia może wynosić aż do 2 A. Układ sygnalizuje pracę za pomocą diody LED dołączonej do wyprowadzenia 2. LTC1731 jest produkowany w dwóch wersjach: do ładowania baterii akumulatorów składających się z 1 (przyrostek -4.2) lub 2 (-8.4) ogniw. Minimalne napięcie wejściowe układu wynosi 4,5 V, maksymalne 12 V.

Przykładem uniwersalnego układu liniowego jest LT4059. Jego aplikację pokazano na rysunku 2. Ładowarką zbudowaną z jego użyciem można ładować akumulatory litowe (Li-Po, Li-Ion) oraz nikielowe (NiCd, NiMH) z pojedynczym ogniwem. Minimalne napięcie wejściowe wynosi 3,75 V, maksymalne 8 V. Natężenie prądu ładowania wynosi 0,9 A. Dzięki swoim parametrom układ doskonale nadaje się do budowy ładowarek zasilanych z portu USB.



Rysunek 3. Schemat ideowy aplikacji układu LT4012



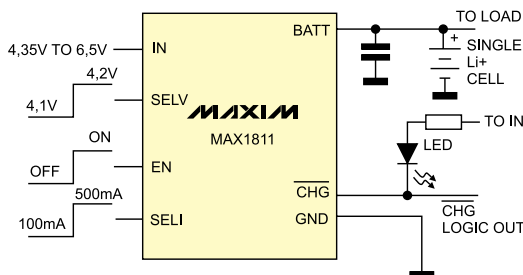
Rysunek 4. Schemat ideowy aplikacji układu MAX7813

WYBÓR KONSTRUKTORA

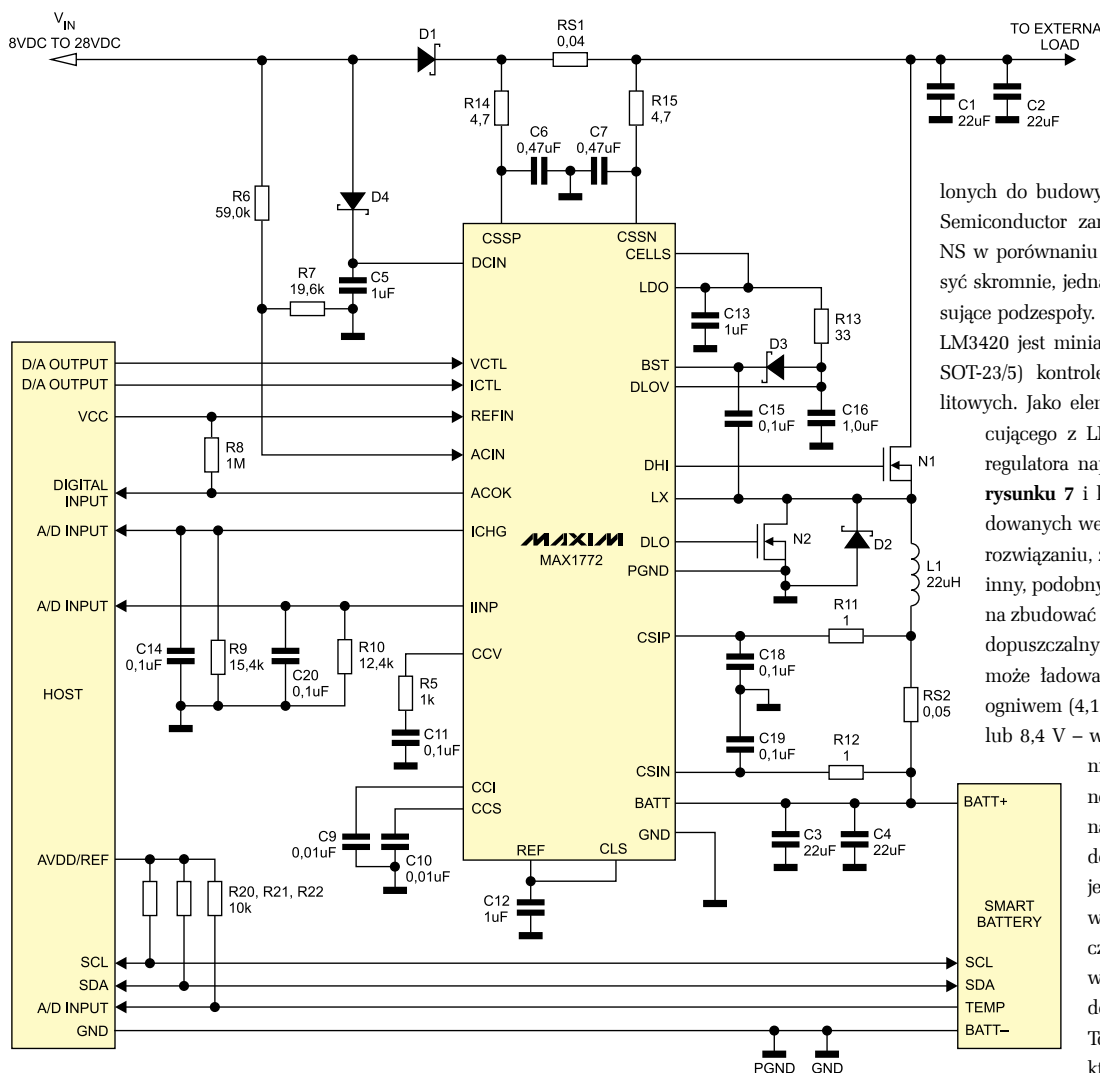
Na **rysunku 3** zamieszczono schemat aplikacyjny układu ładowarki impulsowej o sporych możliwościach LT4012. Układ charakteryzuje się dużą sprawnością, która sięga aż 95%. Za jego pomocą można ładować ogniwa litowe, nikielowe oraz ołowiowe. Układ jest produkowany w dwóch wersjach oznaczonych cyframi „1” i „2” umieszczonymi za nazwą. Te oznaczone „-1” dostarczają 4,1 V na ogniwo (Li-Ion), natomiast „-2” 4,2 V na ogniwo (Li-Pol). LT4012 ma interfejs dla mikrokontrolera hosta sterującego jego pracą.

Maxim-Dallas

Wykaz układów scalonych produkcji firmy Maxim-Dallas przeznaczonych do budowy ładowarek akumulatorów zamieszczono w **tabeli 2**. Również



Rysunek 5. Schemat ideowy aplikacji układu MAX1811



Rysunek 6. Schemat ideowy aplikacji układu MAX1772 z interfejsem Smart Battery

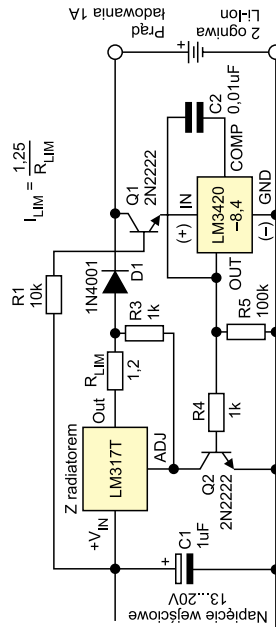
i w ofercie tego producenta dostępne są układy liniowe jak i impulsowe w większości przeznaczone do ładowania akumulatorów litowych. Są to zarówno nieskomplikowane ładowarki liniowe zasilane z zewnętrznego źródła zasilania, jak i uniwersalne, mogące ładować większość typów akumulatorów. Przykładem takiego układu jest MAX8713, schemat aplikacji którego zamieszczono na **rysunku 4**. Układ jest wyposażony w interfejs I²C, za pomocą którego mikrokontroler host może dokonywać nastaw parametrów oraz odczytywać informacje o stanie układu ładowarki i akumulatora.

Na **rysunku 5** pokazano schemat aplikacji układu MAX1811. Za jego pomocą, przy użyciu niewielu komponentów zewnętrznych, można zbudować ładowarkę akumulatorów litowych zasilaną z portu USB komputera PC.

Firma Maxim-Dallas oferuje również układy przeznaczone do ładowarek współpracujących z tzw. inteligentnymi bateriami (Smart Battery). Przykładem takiego rozwiązania jest MAX1772 (**rysunek 6**) wyposażony w interfejs Smart Battery.

Texas Instruments i National Semiconductor

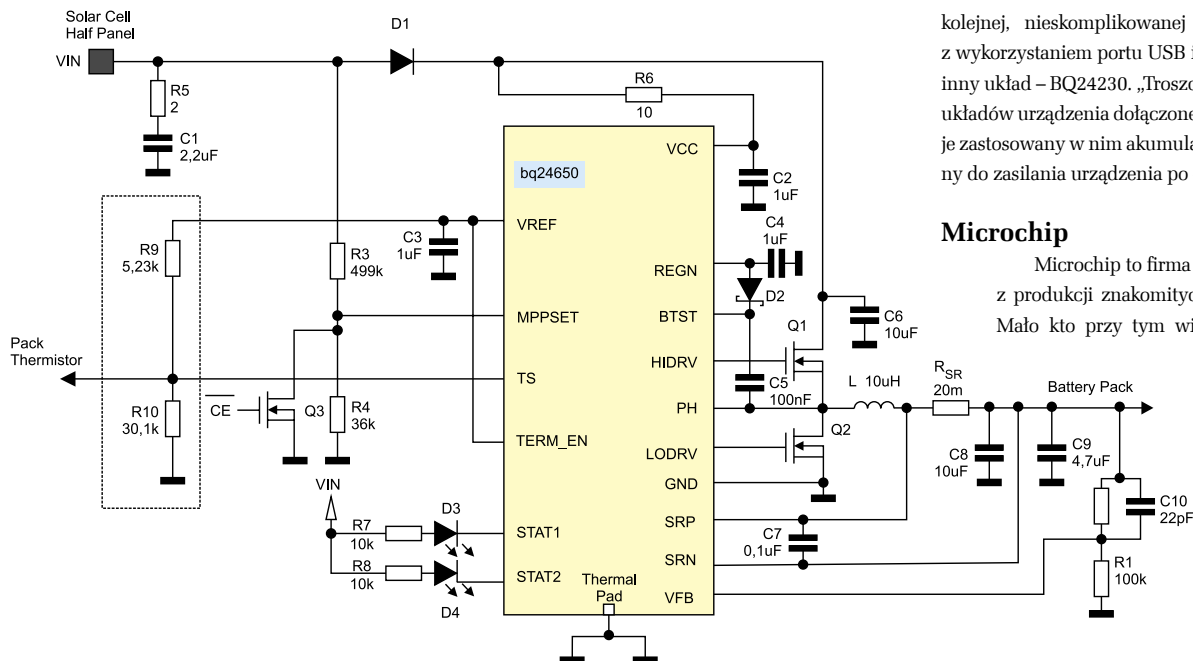
Firma Texas Instruments przejęła National Semiconductor początkowo za-



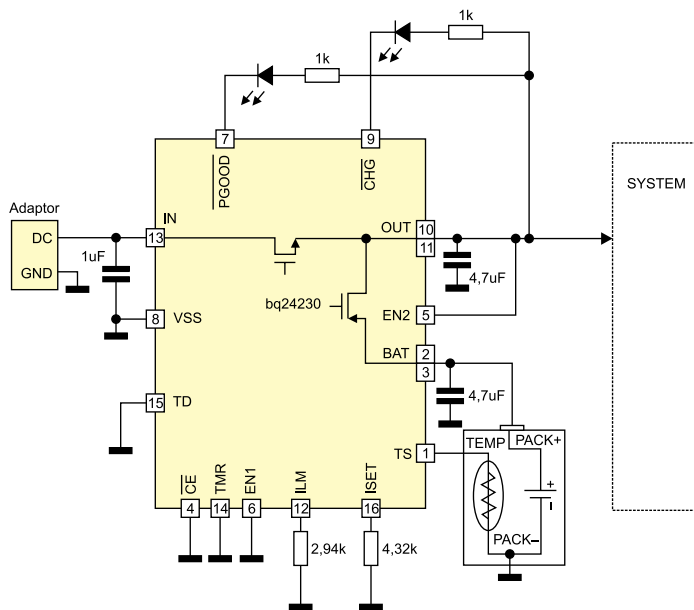
Rysunek 7. Schemat ideowy ładowarki z regulatorem LM317 i kontrolerem LM3420

chowując logo i markę wyrobów tego ostatniego. W październiku TI zakomunikowała o „wcieleniu” NS w swoje struktury. Nazwy układów scalonych raczej nie będą zmieniane, ponieważ wyroby Nationala są znane od wielu lat i użytkownicy są do nich przyzwyczajeni.

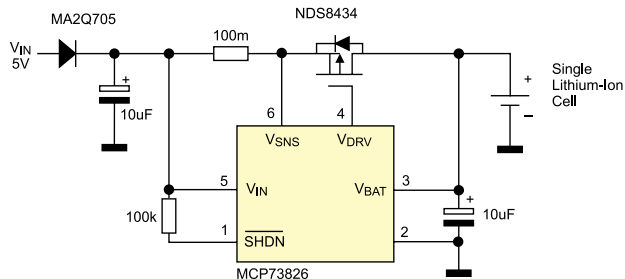
Wykaz układów scalonych do budowy ładowarek produkcji National Semiconductor zamieszczono w **tabeli 3**. Oferta NS w porównaniu z innymi firmami wygląda dosyć skromnie, jednak można w niej znaleźć interesujące podzespoły. Rozpoczynający wykaz w tabeli LM3420 jest miniaturowym (5-nóżkowa obudowa SOT-23/5) kontrolerem ładowarki akumulatorów litowych. Jako elementu regulacyjnego, współpracującego z LM3420, można użyć scalonego regulatora napięcia LM317, co pokazano na **rysunku 7** i korzystać z doborzejszych wbudowanych weń zabezpieczeń. Dzięki takiemu rozwiązaniu, zmieniając regulator napięcia na inny, podobny, o większej obciążalności, można zbudować ładowarkę o znacznie większym dopuszczalnym prądzie obciążenia. Układ może ładować akumulatory z pojedynczym ogniwo (4,1 lub 4,2 V) lub podwójnym (8,2 lub 8,4 V – wariant dostępny przy zamówieniu). Ciekawą cechą prezentowanego układu jest szeroki zakres napięcia wejściowego – od 4,5 aż do 24 V. Na przeciwnym biegunie jest skomplikowany, wyposażony w interfejs szeregowy i przeznaczony do telefonów komórkowych układ LP3974 mający wbudowane 11 (!) regulatorów LDO. To rasowy menedżer zasilania, który oprócz funkcji ładowania akumulatora może również pełni



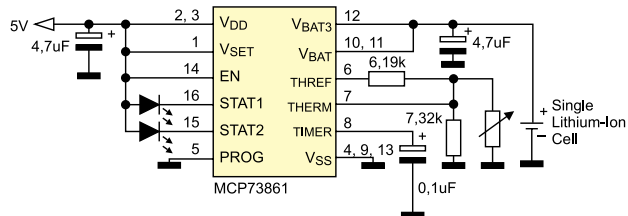
Rysunek 8. Schemat ideowy ładowarki z układem bq24650 zasilanej z fotoogniwa



Rysunek 9. Schemat ideowy aplikacji układu bq24230



Rysunek 10. Schemat ideowy aplikacji układu MCP73826



Rysunek 11. Schemat ideowy aplikacji układu MCP73861

kolejnej, nieskomplikowanej ładowarki zasilanej z wykorzystaniem portu USB i nadzorowanej przez inny układ – BQ24230. „Troszczy się” on o zasilanie układów urządzenia dołączonego do USB oraz ładuje zastosowany w nim akumulator, który jest używany do zasilania urządzenia po odłączeniu od USB.

Microchip

Microchip to firma bardzo dobrze znana z produkcji znakomitych mikrokontrolerów. Mało kto przy tym wie, że ten producent oferuje znakomite analogowe układy scalone, w tym kompletne rozwiązania stabilizatorów i układów do ładowarek akumulatorów. W tabeli 5 zamieszczono wykaz układów dostępnych w ofercie

rolę centrum zasilania telefonu komórkowego czy innego urządzenia przenośnego. W zasadzie, to układy produkcji NS można już zaliczyć do oferty TI, która zapewne za jakiś czas będzie zweryfikowana.

Ofertę układów scalonych firmy TI do budowy ładowarek zamieszczono w tabeli 4. Liczy ona ponad 170 wierszy i jest w czym wybierać. Istotną informacją, podobnie jak u innych producentów, jest wielkość

Microchip. Jak można zauważyć, firma produkuje wyłącznie układy analogowe do ładowarek, które pozwalają na ładowanie akumulatorów liniowych różnego rodzaju.

Jak przykład rozwiązań Microchip'a niech posłużą dwa układy scalone: MCP73826 (rysunek 10) i MCP73861 (rysunek 11). Pierwszy z układów to kontroler ładowarki o prądzie ustalonym za pomocą zewnętrznego tranzystora. Służy do ładowania akumulatorów litowych o pojedynczym ogniwie (napięcie 4,1 V lub 4,2 V). Jest dostępny w obudowie SOT-23 o 6 wyprowadzeniach. Jego napięcie zasilania to 4,5...5,5 V. Drugi z układów ma wbudowany element regulacyjny (tranzystor FET), bardzo rozbudowane zabezpieczenia (pomiar czasu ładowania, monitorowanie temperatury baterii i dobór prądu ładowania zależnie od niej) i wyjścia sterujące diodami LED służącymi do sygnalizowania statusu. Zakres napięcia zasilania rozciąga się od 4,5 aż do 12 V, a prąd ładowania sięga 1 A. Układ jest dostępny również w obudowie SOIC-16, co umożliwi jego montaż ręczny bez skomplikowanej aparatury.

obudowy, ponieważ układy scalone są miniaturowe, przeznaczone do użycia w urządzeniach przenośnych, do ładowania akumulatorów litowych. W tak obszernej ofercie muszą znaleźć się zarówno układy pracujące impulsowo, jak i liniowo.

Ciekawym układem w ofercie TI jest układ BQ24650 umożliwiający zbudowanie solarnej ładowarki impulsowej, której przykładowy schemat pokazano na rysunku 8. Tego typu ładowarki będą zapewne królowały w niedalekiej przyszłości. Na rysunku 9 pokazano schemat

Podsumowanie

Akumulatory litowe pomalą wypierają z wielu zastosowań akumulatory nikielowe. Jak wspomniano we wstępie, jest trudno w ofertach producentów znaleźć układy służące do budowy ładowarek akumulatorów nikielowych czy kwasowych. Powody są dwa: wymagają one mniejszej „troski” (wystarczy zwykły timer) oraz są używane coraz rzadziej. Układów scalonych do ładowarek akumulatorów litowych jest bardzo dużo, ale rozpatrując ich zastosowanie należy zwrócić uwagę na rodzaj obudowy, ponieważ niektóre są bardzo trudne do montażu ręcznego, co jest bardzo częste przy produkcji małoseryjnej. Ładowarki budowane z użyciem układów liniowych zwykle wymagają niewiele komponentów i zajmują mało miejsca, ale mają też niższą sprawność.

**Marcin Wiązania, EP
Jacek Bogusz, EP**