

# Projektowanie oszczędnych układów elektronicznych (1)

## Analiza układu pod kątem oszczędności energii

*Zminimalizowanie prądu pobieranego przez urządzenia elektroniczne powinno być jednym z głównych założeń projektowych, niestety nie zawsze przyjmowanym w praktyce. Wprawdzie konstruktorzy nowoczesnych układów scalonych starają się maksymalnie ograniczać ich pobór mocy, ale już autorzy projektów z tymi układami, publikowanych także w EP, zazwyczaj nie potrafią tego wykorzystać i ich projekty bywają niedopracowane pod względem energetycznym. Ten cykl artykułów jest pomyślany jako poradnik dla konstruktorów, którzy muszą optymalizować opracowywane urządzenia ze względu na pobór energii.*

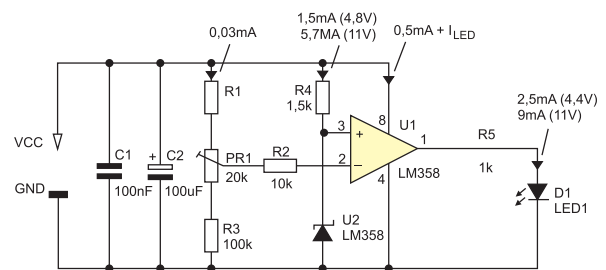
W ciągu minionych 20 lat nastąpił olbrzymi postęp w technologii podzespołów, ale stosunkowo niewielkie zmiany nastąpiły w technologii i cenie źródeł zasilania. Koszt zakupu kilku kompletów baterii do urządzenia elektronicznego może być wyższy od wartości wszystkich elementów w nim użytych. Zainwestowanie kilku dodatkowych złotych w nowoczesne elementy i dodatkowych godzin na dopracowanie projektu urządzenia bardzo szybko zwróci się wskutek niższych kosztów jego eksploatacji. Można oczywiście stosować akumulatory, ale jednorazowy duży wydatek na komplet akumulatorów i ładowarkę też jest znaczący ekonomicznie. Najlepsze efekty oszczędnościowe można więc osiągnąć na etapie projektowym nowego urządzenia, ale także w gotowych urządzeniach możliwe jest usunięcie jego słabych energetycznie punktów i znaczne zmniejszenie pobieranego prądu. Szczegółowa analiza układu może wykazać, że bateria jest na przykład rozładowywana przez układ kontroli jej napięcia.

Na rys. 1 zamieszczono schemat układu monitorowania napięcia baterii w zasilaczach dla modelarzy (EP 5/2009). W zależności od liczby ogniw i stanu ich naładowania, napięcie zasilania  $V_{CC}$  może zmieniać się w przedziale 4,4...12 V. Szczegółowa analiza poboru prądu dla najlepszego i najgorszego przypadku daje wartości od 2 mA (4,8 V w stanie czuwania) do 15,2 mA (11 V w stanie alarmu). Oczywiście, można twierdzić, że kilka mA to niewiele, ale jest to przecież wartość natężenia prądu wystarczająca do zasilania kompletnego sterownika z mikrokontrolerem 8-bitowym. W przedstawionym układzie, poprzez dobór odpowiednich elementów, można zmniejszyć pobór prądu co najmniej 4-krotnie w stanie czuwania i 10-krotnie w stanie alarmu.

**Źródło napięcia odniesienia.** Źródło napięciowe LM385 jest największym konsumentem prądu w tym układzie. Z karty katalogowej LM385 wynika, że może on pracować przy prądach z zakresu od 20  $\mu$ A do 20 mA. Wartość rezystora R4 dobieramy tak, aby prąd układu LM385 wynosił 40  $\mu$ A (tab. 1).

**Diody LED.** Zwykle sygnalizacyjne diody LED świecą wystarczająco jasno przy prądach o wartościach z przedziału 5...15 mA (parametry karta-

liczba ogniw	4	6	8	10
Napięcie nominalne	4,8	7,2	9,6	12
Napięcie rozładowania	4,4	6,6	8,8	11
Wartość rezystora R1	68k	150k	240k	330k



Rys. 1. Układ kontroli napięcia baterii

logowe podawane są dla 10 mA). Jest to duża wartość, jak na zasilanie baterijne. Mimo to konstruktorzy bardzo często stosują rozwiązanie rutynowe zawierające „dowolną diodę LED plus szeregowo włączony rezystor 1 k $\Omega$ ”. W tym przypadku nie jest to dobry pomysł: przy zasilaniu 11 V dioda LED będzie rozładowywać akumulatory prądem 9 mA, natomiast przy 4,4 V prąd ten wyniesie 2,5 mA i w słoneczny dzień świecenie diody będzie ledwo zauważalne. Niektórzy producenci mają w ofercie niskoprądowe diody LED, lecz ich parametry nie są rewelacyjne. Na przykład WP7104L (Kingbright) ma katalogową światłość 2...5 mcd przy prądzie 2 mA. W takich zastosowaniach doskonale sprawdzają się superjasne diody LED. Przykładowo, czerwona dioda WP7113SEC/J3 ma światłość ok. 10000 mcd przy prądzie 20 mA. Dla prądu 1 mA sprawność diody jest mniejsza – jasność świecenia wynosi ok. 2% nominalnej, ale i tak jest to 200 mcd, co z dużym zapasem wystarczy do zastosowań sygnalizacyjnych. Diody superjasne czerwone i pomarańczowe świecą zadowalająco przy prądach 0,5...1 mA. Jeszcze lepsze efekty można uzyskać z diodami zielonymi, wykonanymi z InGaN, które świecą nawet przy prądach 0,1...0,2 mA (testy wykonane dla diod NSPG320C firmy Nichia).

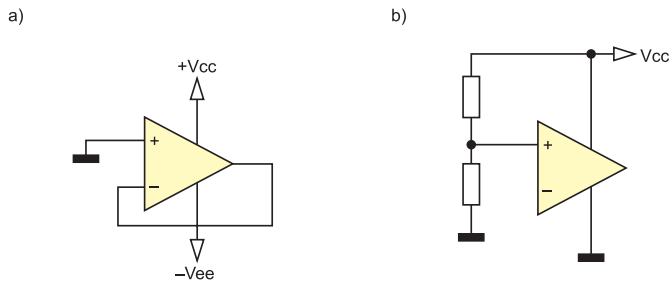
W tab. 1 podano wartości rezystora R5 dla diody czerwonej:  $UF=1,8$ ;  $IF=0,5$  mA. W praktyce może być konieczna korekta wartości rezystora, zależnie od typu posiadanych diod.

Na koniec kilka uwag dotyczących stosowania superjasnych diod LED jako sygnalizacyjnych:

- te diody zwykle mają przezroczyste obudowy i stosunkowo wąski kąt świecenia. Jeżeli świecenie diody ma być dobrze widoczne z boku,

Tab. 1. Wartości elementów dla zmodyfikowanego układu z rys. 1

Liczba ogniw	4	6	8	10
Napięcie nominalne [V]	4,8	7,2	9,6	12
Napięcie rozładowania [V]	4,4	6,6	8,8	11
Wartość rezystora R1	68 k	150 k	240 k	330 k
Wartość rezystora R4	47 k	100 k	150 k	200 k
Wartość rezystora R5	5,1 k	9,1 k	13 k	18 k



**Rys. 2. Połączenia nieużywanego wzmacniacza operacyjnego z zasilaniem symetrycznym a) i pojedynczym b)**

warto zastosować element rozpraszający światło, na przykład matowe okienko z pleksi,

- diody LED z materiału InGaN są wrażliwe na ładunki elektrostatyczne! Podczas montażu należy zachować szczególną ostrożność,
- dla prądów poniżej 1 mA napięcie przewodzenia diod zielonych i niebieskich zawiera się w granicach 2,5...2,8 V, co umożliwi ich stosowanie przy napięciu zasilania 3 V,
- dalsze ograniczenie prądu przy zachowaniu dobrej widoczności można uzyskać poprzez pulsację świecenia. Dioda migająca bardziej zwraca uwagę niż świecąca światłem ciągłym. Wystarczy błysk o czasie trwania 100...150 ms co 1...2 sekundy (sygnał o częstotliwości 1...0,5 Hz z wypełnieniem około 10%), aby średni pobór prądu był przynajmniej 10-krotnie mniejszy niż przy świeceniu ciągłym.

**Wzmacniacz operacyjny.** Na początku nasuwa się wątpliwość dotycząca użycia wzmacniacza operacyjnego w konfiguracji komparatora (z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego). Wady stosowania wzmacniaczy operacyjnych w funkcji komparatorów były już wielokrotnie opisywane w literaturze. Jeżeli jednak decydujemy się na takie rozwiązanie, to wybór układu LM358 jest dobrym kompromisem. Pobór prądu wynosi 0,5 mA, a ponadto jest to układ tani i popularny. Odpowiedniki o znacznie mniejszym poborze prądu (np. OP290 – 0,04 mA) są drogie i trudno dostępne. Jednak nie wolno zapominać, że LM358 zawiera dwa wzmacniacze operacyjne. Nieużywany wzmacniacz nie może pracować w układzie z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego i wejściami niedołączonymi do ustalonego potencjału. Wejścia o dużej czułości i wysokiej impedancji są bardzo wrażliwe na zakłócenia zewnętrzne, co może prowadzić do zatrzaśnięcia wzmacniacza (*latch-up*), a w skrajnym przypadku do przekroczenia dopuszczalnych wartości napięć wejściowych (sumacyjnych lub różnicowych) i zniszczenia układu. Poza tym nieprzewidywalne zmiany stanów wejść i wyjścia wzmacniacza skutkują znacznie zwiększonym poborem prądu. Wzmacnianie zakłóceń może też spowodować niepożądaną modulację prądu zasilania, wpływając w ten sposób na pracę użytego wzmacniacza operacyjnego.

Prawidłowym rozwiązaniem jest połączenie nieużywanego wzmacniacza w układzie wtórnikowym: wyjście zwarte z wejściem odwracającym. Wejście nieodwracające należy połączyć z punktem o stałym potencjale, zawartym pomiędzy wartościami napięcia zasilania (rys. 2). W konfiguracji z symetrycznym zasilaniem może to być masa (rys. 2a), natomiast przy pojedynczym zasilaniu dowolny punkt o potencjale wyższym od masy, lecz niższym od napięcia zasilania (rys. 2b) – najlepiej połowa napięcia zasilania. Chodzi o to, aby wyjście wzmacniacza operacyjnego nie znajdowało się w żadnym ze skrajnych stanów nasycenia. Przeciwnie stopnie wyjściowe wzmacniaczy operacyjnych są optymalizowane do liniowego wzmacniania małych sygnałów, a nie do pracy w trybie dwustanowych układów przełączających. W stanie nasycenia wyjścia, pobór prądu przez wzmacniacz jest znacznie większy niż w zakresie liniowym, nawet przy braku obciążenia (to jedna z wad stosowania wzmacniaczy operacyjnych jako komparatorów). Nie jest prawidłowym rozwiązaniem zwieranie wejść nieużywanego wzmacniacza lub łączenie ich z liniami zasilania. W pierwszym przypadku wzmacniacz nasyci się ze względu na napięcie niezrównoważenia wejść, w drugim przypadku dodatkowo istnieje ryzyko przekroczenia dopuszczalnego zakresu napięć wejściowych.

Dla układu o schemacie z rys. 1 prawidłowe podłączenie nieużywanego wzmacniacza można uzyskać poprzez zwarcie wyprowadzeń 6–7 i 3–5 układu LM358.

**Kondensatory blokujące.** Przy małych prądach obciążenia stosowanie kondensatora elektrolitycznego C2 jest zbędne. Nie używając go, unikniemy dodatkowego prądu upływu o wartości do kilkunastu  $\mu\text{A}$ . Wystarczy kondensator C1 o pojemności 100 nF. Należy przyjąć jako stałą zasadę stosowanie w układach z prądami o wartości mikroamperów wyłącznie kondensatorów tantalowych, poliestrowych i ceramicznych. Jeżeli pobór prądu całego układu jest rzędu 100  $\mu\text{A}$ , to kilka kiepskiej jakości kondensatorów elektrolitycznych w obwodach zasilania może zniwiecyć swoimi prądami upływu cały efekt oszczędności. Według danych katalogowych markowych producentów, prąd upływu kondensatora elektrolitycznego 100  $\mu\text{F}/16\text{ V}$  wynosi od 1 do 10  $\mu\text{A}$ , a dla elementów „no name” wartość ta może być nawet 10-krotnie większa.

**Parametry zmodyfikowanego układu.** Po zmianie wartości rezystorów R4 i R5 zgodnie z tab. 1 oraz zastosowaniu superjasnej diody LED, układ z rys. 1 będzie pobierał ok. 0,57 mA w stanie czuwania oraz 1,1 mA w stanie alarmu (niezależnie od napięcia zasilania).

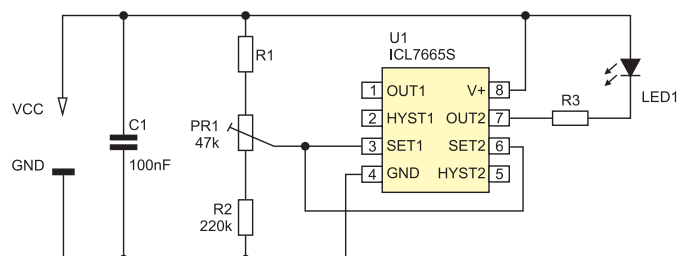
### Alternatywny projekt układu monitorującego

Układ o schemacie przedstawionym na rys. 3 może być alternatywnym dla omówionego wyżej. Pobór prądu w stanie czuwania wynosi ok. 15  $\mu\text{A}$ , czyli ponad 100 razy mniej niż układu z rys. 1. W stanie alarmu prąd zależy od zastosowanej diody LED i jej rezystora szeregowego (dla podanych wartości R3 jest to 0,5 mA). Wartości rezystorów R1 i R3 podano w tab. 2. Użyty w projekcie układ ICL7665S jest komparatorem okienkowym z wewnętrznym źródłem napięcia referencyjnego o wartości 1,3 V i wyjściami w układzie otwartego drenu. Zamiast ICL7665S można zastosować podobne układy innych producentów: MAX8211, LT6703, LMP7300. Jeżeli ograniczymy się do 8 ogniw, to można użyć też komparatorów MAX931 lub LTC1540 (maksymalne napięcie zasilania 11 V). Dla układów innych niż ICL7665S konieczne będzie przeliczenie wartości rezystora R1, odpowiedniego dla wartości wewnętrznego napięcia referencyjnego. W bardziej krytycznych zasileniowo zastosowaniach warto zastanowić się nad wprowadzeniem histerezy progu przełączania. Każdy z wymienionych powyżej komparatorów umożliwia wykorzystanie histerezy poprzez dodanie jednego rezystora.

### Podsumowanie

Analiza powyższego układu ilustruje dobitnie, że najlepsze efekty w ograniczaniu poboru prądu można osiągnąć wtedy, gdy właściwe decyzje zostaną podjęte już na etapie wstępnych założeń projektowych. W kolejnych artykułach cyklu zostaną przedstawione ogólne zasady projektowania układów niskoprądowych i wybrane przykłady rozwiązań praktycznych.

Jacek Przepiórkowski



**Rys. 3. Alternatywny układ kontroli napięcia baterii**

Tab. 2. Wartości elementów dla układu z rys. 3				
Liczba ogniw	4	6	8	10
Napięcie nominalne [V]	4,8	7,2	9,6	12
Napięcie rozładowania [V]	4,4	6,6	8,8	11
Wartość rezystora R1	510 k	910 k	1,2 M	1,6 M
Wartość rezystora R3	5,1 k	9,1 k	13 k	18 k