

# Konstrukcja czujnika bezprzewodowego

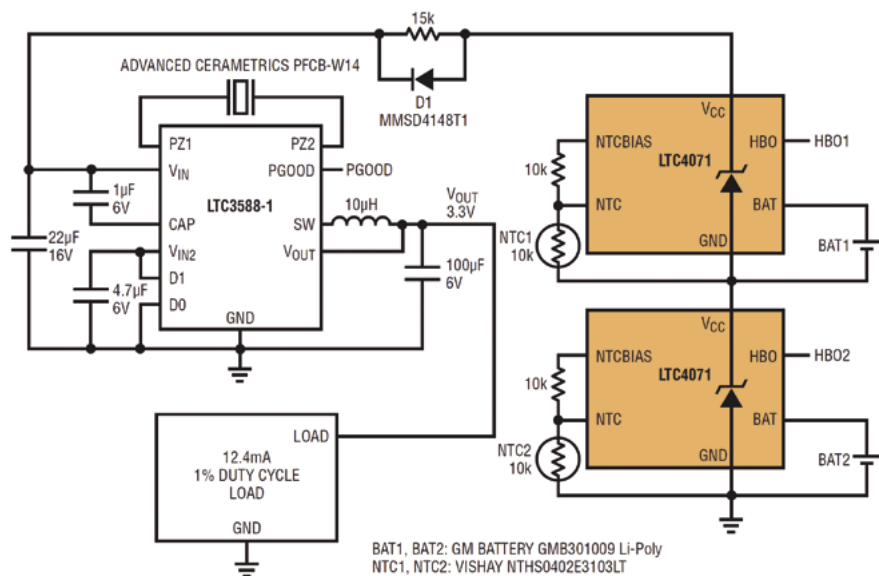
## Zasilanie czujnika i ładowanie akumulatora za pomocą energii drgań

Sensory bezprzewodowe są stosowane przede wszystkim w trudnodostępnych miejscach lub w aplikacjach, które wymagają użycia dużej liczby czujników – zbyt wielu, aby można je było połączyć w sieć za pomocą przewodów. W większości wypadków zasilanie takich czujników za pomocą baterii jest niepraktyczne. Można tu się posłużyć przykładami czujnika temperatury i czujnika HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning). Ten pierwszy może na przykład mierzyć i rejestrować temperaturę żywności w czasie transportu. Powinien on być zainstalowany w sposób uniemożliwiający dostęp, co wyklucza wymianę baterii i przewodową transmisję danych. Ten drugi powinien być zainstalowany w różnych miejscach instalacji klimatyzującej i przez to sensory mogą być rozmieszczone zbyt wysoko lub zbyt daleko, aby łatwo wymieniać w nich baterie. W takich aplikacjach wytwarzanie energii zasilającej w miejscu zainstalowania urządzenia może rozwiązać problem niedostępności źródła zasilania.

Metodami *energy harvesting* stosowanymi w skali mikro nie da się wyprodukować wystarczającej ilości energii, aby można było nieprzerwanie zasilać nadajnik czujnika. Na przykład, typowe generatory piezoelektryczne mogą zasilać urządzenia mocą około 1...10 mW, podczas gdy układ pomiarowy połączony z torem transmisji radiowej może potrzebować do zasilania mocy rzędu 100...250 mW. Łatwo zauważyć, że energia wytwarzana lokalnie musi być magazynowana i racjonalnie wykorzystywana przez czujnik, który musi pracować ze współczynnikiem wypełnienia (tu będzie stosunek czasu aktywnego do czasu uśpienia) nieprzekraczającym wydajności energetycznej źródła zasilania. W ten sposób czujnik bezprzewodowy może pracować również wtedy, gdy generator nie wytwarza energii elektrycznej, zasilany wyłącznie energią zmagazynowaną wcześniej.

Może dojść również do sytuacji, w której zmagazynowana energia wyczerpie się i czujnik wyłączy się. Wówczas czasami zachodzi potrzeba wykonania pewnych zadań, zanim zabraknie zasilania. Może to być na przykład wysłanie komunikatu do systemu nadzorującego pracę czujnika lub zapamiętanie danych w pamięci nieulot-

nej. Z tego powodu ważne jest, aby stale mierzyć ilość dostępnej energii. Z drugiej strony, po wyłączeniu i przywróceniu normalnych warunków pracy, czujnik powinien móc bez problemu ponownie naładować swój magazyn energii i włączyć się.



Rysunek 1. Kompletny system zasilania obwodów sensora z generatora piezoelektrycznego, niezależny od instalacji zasilającej. Wykorzystuje cienkowarstwową baterię do gromadzenia energii wytwarzanej przez generator piezoelektryczny dla systemu czujnika bezprzewodowego pracującego z 1% współczynnikiem wypełnienia

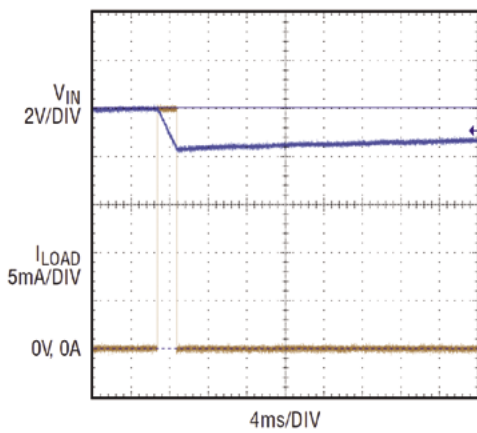
### Dodatkowe informacje:

Artykuł został udostępniony przez Farnell we współpracy z Linear Technology. Więcej informacji o nowych produktach jest dostępne na stronie internetowej Farnell [www.farnell.com/pl](http://www.farnell.com/pl) oraz na portalu społecznościowym dla projektantów elektroniki [www.element14.com](http://www.element14.com)

### Opis systemu zasilania czujnika energią drgań

Na rysunku 1 pokazano schemat kompletnej aplikacji z przetwornicą LTC3588-1 (Linear Technology), dwoma układami ładowarek akumulatorów Li-Po LTC4071 (Linear Technology), dwoma akumulatorami cienkowarstwowymi Li-Po typu GMB301009 (GM) o pojemności 8 mAh. Obciążeniem tego systemu zasilania jest emulator czujnika bezprzewodowego pobierający prąd 12,4 mA i pracujący ze współczynnikiem wypełnienia 1%.

Układ przetwornicy LTC3588-1 jest specjalnym stabilizatorem przeznaczonym do aplikacji *energy harvesting*. Jego struktura zawiera niskoprądny mostek prostowniczy, którego wejścia są na wyprowadzeniach PZ1 i PZ2. Oprócz tego przetwornica ma również wejścia zasilania bateryjnego oznaczone jako



**Rysunek 2. Ładowanie akumulatorów przy obciążeniu obwodami sensora**

$V_{IN}$ . Warto podkreślić, że do zasilania stabilizatora impulsowego jest wymagany niewielki prąd, rzędu kilku-kilkunastu  $\mu A$ . W omawianej aplikacji napięcie wyjściowe ustalono za pomocą wejść D0 i D1 na 3,3 V. Do wejść PZ1/PZ2 dołączono przetwornik piezoelektryczny typu PFCB-W14 produkowany przez firmę Advanced Cerametrics Incorporated. W idealnych warunkach może on dostarczyć moc maksymalną wynoszącą 12 mW. W tej aplikacji przetwornik zapewnia jedynie około 2 mW.

LTC4071 jest układem scalonym do ładowania akumulatorów Li-Po. Ma programowane napięcie buforowane i wbudowaną kompensację temperatury (wymaga zastosowania termistora NTC). W opisywanej aplikacji napięcie wyjściowe ustalono na 4,1 V (wejście HBO niepodłączone). Tolerancja wynosi  $\pm 1\%$ , więc układ ładowania dostarcza maksymalnie 4,14 V, co jest bezpiecznie dla zainstalowanego typu akumulatora. Za pomocą termistora NTC (NTC1, NTC2) układ mierzy temperaturę akumulatora i przy jego wysokiej temperaturze odpowiednio zmniejsza napięcie ładowania, wydłużając tym samym czas funkcjonowania akumulatora. LTC4071 może być obciążony prądem do 50 mA. Gdy napięcie akumulatora jest niższe od napięcia buforowanego, LTC4071 pobiera z niego prąd o natężeniu jedynie 600 nA.

Akumulatory GMB301009 mają pojemność 8 mAh i wewnętrzną rezystancję szeregową ok. 10  $\Omega$ .

Opracowując system zasilania przyjęto założenia, że dostarcza on energii dla układu pomiarowego wykonanego z użyciem mikrokontrolera PIC18LF14K22 i układu radiowego typu MRF24J40MA, komunikującego się zgodnie ze standardem 802.15.4 w paśmie 2,4 GHz. Tor radiowy pobiera prąd maksymalny o natężeniu 23 mA w trybie nadawania lub 18 mA w trybie odbioru. W układzie modelowym czujnik jest reprezentowany przez rezystor o rezystancji 267  $\Omega$  włączony za pomocą tranzystora MOSFET ze współczynnikiem wypełnienia

0,98% (2 ms/204 ms) ustalonym przez sygnał zegara cyfrowego. Symuluje to cykliczne obciążania systemu zasilania prądem o natężeniu ok. 12,4 mA.

**Tryby pracy**

Przyjęto dwa tryby pracy różniące się pomiędzy sobą rodzajem energii zasilającej. Nazwano je: ładowanie-nadawanie i rozładowanie-nadawanie. W pierwszym trybie akumulatory są ładowane, gdy układy pomiarowy i transmisji danych (dla uproszczenia nazywajmy je obwodami sensora) wprowadzają 0,5% obciążenia. W drugim trybie, obwody sensora pracują, ale są zasilanie wyłącznie z akumulatorów, a generator piezoelektryczny PFCB-W14 nie wytwarza energii

**Ładowanie-nadawanie.** W trybie aktywnym generator piezoelektryczny PFCB-W14 dostarcza moc średnią około 9,2 V · 180  $\mu A \approx 1,7$  mW, która musi wystarczyć do ładowania akumulatora, zasilania przetwornicy oraz obwodów sensora. W trybie aktywnym pobierają one 12,4 mA · 3,3 V  $\approx 41$  mW ze współczynnikiem wypełnienia bliskim 1% lub średnio 0,41 mW, pozostawiając nieco energii do ładowania akumulatorów. Biorąc pod uwagę sprawność przetwornicy LTC3588 osiąganą przy zasilaniu napięciem 9,2 V wynoszącą 85% (**rysunek 2**) i prąd zasilający przetwornicę 8  $\mu A$ , prąd średni pobierany przez system bez uwzględnienia prądu ładowania baterii wynosi

$$I_{\text{ŚREDNI}} = \frac{I_{\text{OBW.SENSORA}}}{\frac{V_{IN.SR}}{V_{OUT}} \cdot \eta_{\text{BUCK}}} \cdot \text{wsp. wypełnienia} + I_{\text{ZAS.PRZETW.}}$$

$$I_{\text{ŚREDNI}} = \frac{12,4 \text{ mA}}{\frac{9,2 \text{ V}}{3,3 \text{ V}} \cdot 85\%} \cdot 0,0098 + 8 \mu A \approx 60 \mu A$$

Po zmniejszeniu współczynnika wypełnienia do 0,5% energia generowana przez generator piezoelektryczny może zasilać układ czujnika, natomiast do ładowania akumulatorów pozostaje dostępny prąd o natężeniu 120  $\mu A$ . Zastosowane akumulatory typu GMB301009 mają pojemność 8 mAh, więc

w najgorszym wypadku zostaną całkowicie naładowane po około 75 godzinach.

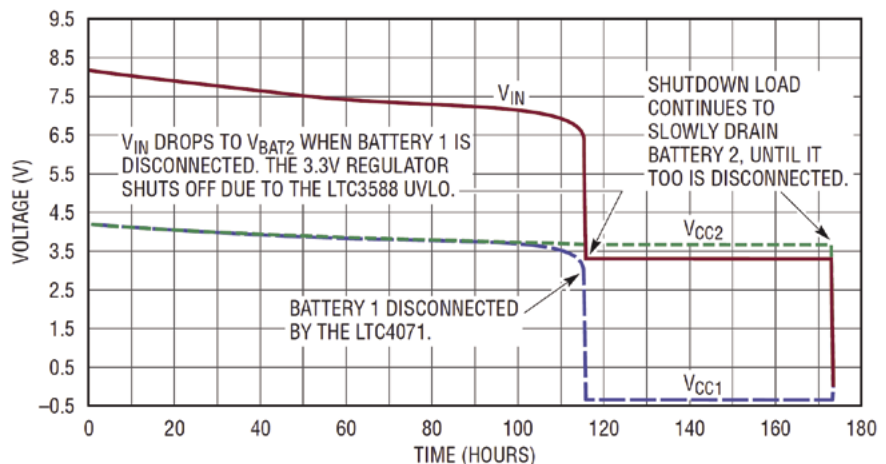
**Rozładowanie-nadawanie.** Gdy generator piezoelektryczny PFCB-W14 nie dostarcza energii, napięcie na doprowadzeniu  $V_{IN}$  przetwornicy LTC3588 spada do wartości średniej wynoszącej około  $(8,4 \text{ V} + 6,6 \text{ V})/2 = 7,5 \text{ V}$ . Wywiera to wpływ na wartość prądu zasilania czujnika, ponieważ wzrasta prąd zasilania układu LTC3588, który zasilany napięciem 7,5 V zamiast 9,2 V musi przelączać się z wyższą częstotliwością

$$I_{\text{ŚREDNI}} = \frac{12,4 \text{ mA}}{3,3 \text{ V}} \cdot 0,0098 + 15 \mu A \approx 78 \mu A$$

Jak wykazały pomiary, przy prądzie obciążenia 78  $\mu A$ , bez energii z generatora piezoelektrycznego, bateria zostaje rozładowana po około 115 godzinach. To prowadzi do wniosku, że akumulator ma pojemność wyższą od znamionowej, wynoszącą około 8,95 mAh. Faktycznie, gdy akumulatory są nowe, mogą magazynować o 12% więcej energii niż wartość nominalna.

Problemem pojawia się, gdy akumulator jest niemal całkowicie rozładowany. Jeśli jest z niego pobierany prąd, a jego stan naładowania jest bliski zeru i napięcie spada poniżej 2,1 V, to akumulator ulegnie uszkodzeniu. Z tego powodu aplikacja nie może pozwolić, aby napięcie akumulatora spadło poniżej dopuszczalnej granic. Napięcie odłączenia baterii powinno wynosić 2,7 V lub 3,2 V aby choć trochę energii pozostało w akumulatorze, zanim zadziała obwód jego odłączenia.

Proste wyłączenie obwodów sensora lub odłączenie obciążenia nie chroni akumulatora, ponieważ układ ładowania LTC4071 pobiera prąd rzędu 600 nA. Jest to niewiele, jednak nie wolno zapominać o układzie przetwornicy LTC3588. Po jego uwzględnieniu sumaryczne obciążenie wynosi ok. 2  $\mu A$ . Rozładowany akumulator może dostarczyć prąd o natężeniu

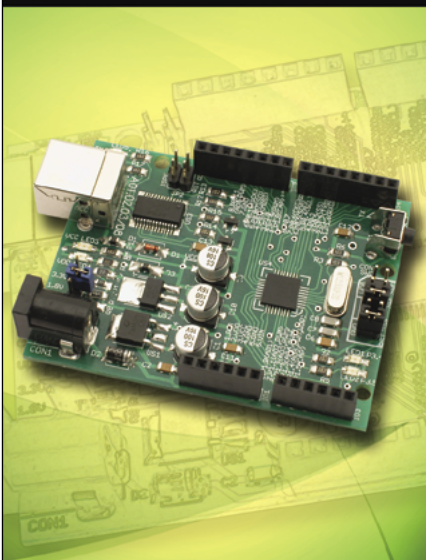


**Rysunek 3. Rozładowanie z odłączeniem akumulatorów przy spadku napięcia**

# Cortexino

Kompatybilna z Arduino płytka z LPC1114 (rdzen Cortex-M0)

## AVT1620



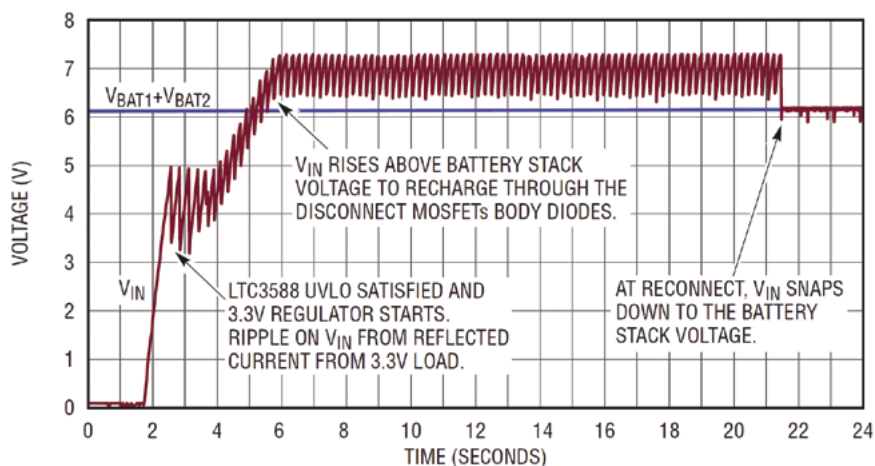
Mikrokontrolery z rdzeniem Cortex są ciekawą alternatywą dla popularnych, 8-bitowych np. AVR. Mają 32-bitowy rdzeń, są szybsze, lepiej wyposażone i konkurencyjne cenowo.

Dla przykładu, popularny mikrokontroler ATmega8 kosztuje tyle samo lub nawet więcej, niż LPC1114 który ma 4-krotnie większą pamięć Flash, 8-krotnie RAM i jest szybszy.

#### Wybrane parametry:

- mikrokontroler 32-bit LPC1114 z rdzeniem Cortex M0, 32kB Flash, 8kB RAM, 50MHz;
- wbudowany konwerter USB-UART;
- wbudowany programator ISP z interfejsem USB;
- darmowe środowisko programistyczne;
- rozmieszczenie złączy kompatybilne z Arduino
- zasilanie: 8...12VDC

[www.sklep.avt.pl](http://www.sklep.avt.pl)



Rysunek 4. Dołączenie akumulatorów po ich naładowaniu

około 100  $\mu\text{A}$ , zanim napięcie spadnie wystarczająco, aby uległ on uszkodzeniu.

Układ ładowarki LTC4071 ma wbudowany obwód odłączania akumulatora. W stanie odłączenia akumulatora w temperaturze pokojowej gwarantuje on prąd jego obciążenia o natężeniu poniżej 2 nA. Jego składową dominującą jest prąd upływu płytki drukowanej. Przy tak niski obciążeniu akumulator Li-Po może „bronić się” przez co najmniej 50 tys. godzin zanim ulegnie uszkodzeniu. Na rysunku 3 pokazano, że akumulator BAT2 zostanie odłączony po 50 godzinach od odłączenia BAT1 ze względu na obciążenie prądem o natężeniu 2  $\mu\text{A}$ .

### Wyniki pomiarów

System pokazany na rys. 1 został zmierzony w obu trybach pracy: rozładowanie-wysyłanie (rys. 3) i ładowanie-wysyłanie (rys. 4).

**Rozładowanie-wysyłanie.** Na rys. 3 pokazano w funkcji czasu napięcia na zaciskach akumulatorów BAT1 i BAT2, napięcia na wyjściach układów LTC4071 oraz napięcie wejściowe przetwornicy  $V_{IN}$ . Generator piezoelektryczny PFCB-W14 nie pracuje i akumulatory wolno rozładują się do momentu, gdy napięcie na BAT2 aktywuje próg zadziałania obwodów odłączających akumulator wewnątrz LTC4071. Aktywny obwód rozłączania odłącza BAT2 od wszystkich obciążeń za wyjątkiem układu ładowarki. Powoduje to spadek napięcia wejściowego  $V_{IN}$  układu LTC3588 poniżej napięcia minimalnego i ten wyłącza się.

W tej sytuacji nadal płynie prąd obciążenia akumulatora BAT1 wynoszący 2  $\mu\text{A}$ . Jego natężenie wynika z wartości prądów polaryzujących układy LTC4071 i LTC3588. Ten niewielki prąd obciążenia powoli rozładuje BAT1 do momentu, aż zostanie aktywowany obwód odłączenia akumulatora w kolejnym układzie LTC4071 i BAT1 zostanie odłączony.

**Ładowanie-nadawanie.** Gdy generator piezoelektryczny PFCB-W14 ponownie zaczyna dostarczać moc do systemu, napięcie wejściowe przetwornicy  $V_{IN}$  wzrasta do 7 V, co polaryzuje w kierunku przewodzenia wewnętrzne diody zatkanego tranzystora FET w układzie LTC4071. Prąd płynący przez diodę ładuje akumulator do momentu, aż napięcie na nim osiągnie próg włączenia, pozwalając na normalną pracę akumulatorów BAT1 i BAT2. Na rys. 4 można zobaczyć moment, w którym akumulatory są ponownie dołączane i napięcie wejściowe przetwornicy  $V_{IN}$  obniża się do napięcia znamionowego baterii akumulatorów.

Jako że napięcie wejściowe  $V_{IN}$  wynosi teraz  $U_{BAT1} + U_{BAT2} + (180 \mu\text{A} \cdot 15 \text{ k}\Omega) = 6,2 \text{ V}$  przetwornica w układzie LTC3588 załącza się i jest dostępne napięcie 3,3 V.

### Podsumowanie

Za pomocą kilku łatwych w użyciu komponentów jest możliwe zbudowanie kompletnego, niewielkiego systemu zasilanego energią drgań dla czujnika bezprzewodowego. W omawianym wypadku energia chwilowa jest dostarczana przez generator piezoelektryczny, podczas gdy do zasilania nadajnika jest używana energia z baterii. Zintegrowany obwód rozłączający chroni baterię przed przeładowaniem.

Ten system może całkowicie naładować baterię w 75 godzin, nawet w wypadku pracy czujnika-nadajnika z wypełnieniem 0,5%.

Baterie pozwalają systemowi kontynuować pracę czujnika-nadajnika z wypełnieniem 0,5% przez 115 godzin po tym jak generator piezoelektryczny PFCB-W15 przestanie dostarczać moc. Jeśli jest wymagany dłuższy czas pracy z zasilaniem baterijnym można zmniejszyć współczynnik wypełnienia aby osiągnąć to wymaganie.