

Skutočná nezávislosť od napájacej siete

Systémy určené na zber energie pre bezdrôtové snímače využívajú piezoelektrické napájacie zdroje zbierajúce energiu a Li-Poly batérie s nabíjacími obvodmi.

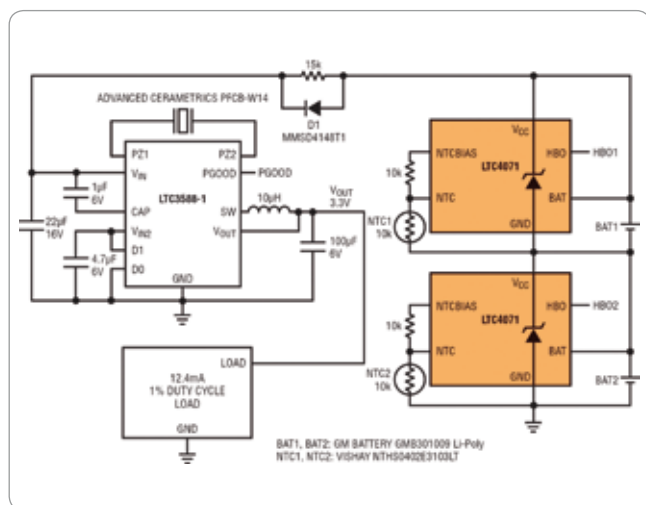
Bezdrôtové snímače sú nastupujúcim a pomerne veľkým trhovým segmentom. Zo svojej podstaty sú určené najmä na použitie na nedostupných miestach alebo v aplikáciách vyžadujúcich veľký počet snímačov, ktoré možno jednoducho pripojiť do siete na výmenu údajov. Vo väčšine prípadov však pri takýchto systémoch nie je praktické realizovať hlavné napájanie pomocou batérií. Napríklad snímač sledujúci teplotu potravín pri ich preprave by bolo potrebné pevne priskrutkovať. Snímače HVAC, ktoré sú inštalované na každom zdroji klimatizácie, by zase mohli byť príliš vzdialené, aby mohli reálne využiť napájanie z batérií. V uvedených prípadoch by problém napájania bez použitia hlavných batérií dokázal vyriešiť zber energie z okolia.

Zber energie z prostredia sám osebe nedokáže vygenerovať dostatočnú energiu na napájanie vysielача/snímača. Systémy zberu energie dokážu dodávať okolo 1 – 10 mW, pričom kombinácia vysielач – snímač potrebuje okolo 100 – 200 mW. Musí teda existovať možnosť uskladnenia zozbieranej energie a tá musí byť pripravená na použitie vysielачom/snímačom pracujúcim v istých cykloch, pričom sa neprekročí kapacita systému s „uskaldnenou“ energiou. Vysielач/snímač možno bude potrebovať byť v prevádzke práve v čase, keď sa nebude zbierať z okolia žiadna energia.

Ak bude zásobník energie prázdny a systém sa vypne, bude nútený vykonať najprv interné prevádzkové úlohy. Ich súčasťou bude aj vygenerovanie správy o vypnutí, prípadne sa údaje uložia do permanentnej pamäte. Preto je veľmi dôležité priebežne testovať dostupné množstvo energie.

Kompletný systém na zachytávanie energie

Na obr. 1 je zobrazená kompletná implementácia takéhoto systému, v ktorej sa nachádza zberač energie LTC3588-1, integrovaný obvod na zníženie napätia (buck regulator), dva obvody LTC4071 na nabíjanie Li-Ion/Polymer batérií, dve 8 mAh batérie GM BATTERY GMB301009 a simulovaný snímač/vysielач, ktorý je modelovaný ako 12,4 mA záťaž s pracovným cyklom 1 % (aktívna doba 1x za 100 sekúnd na jednu sekundu). Zberač energie LTC3588-1 sa skladá z mostíkového obvodu s veľmi malými stratami so vstupmi z PZ1 a PZ2 a výstupmi na VIN a zem (GND). VIN je tiež vstupným napájaním pre neprerušovaný obvod zníženia napätia s veľmi nízkym prúdom. Výstupné napätie tohto regulátora je nastavované D1 a DO na úroveň 3,3 V.



Obr. 1 Kompletný systém na zber energie na báze piezoelektrického vysielача nezávislý od napájania z rozvodnej siete. V rámci systému sú na uskladnenie zozbieranej energie použité batérie vo forme tenkého filmu; energiu možno následne použiť pre bezdrôtový snímač/vysielач pracujúci s pracovným cyklom 1.

Zberač LTC3588-1 je napájaný piezoelektrickým vysielачom PFBC-W14 od spoločnosti Advanced Cerametrics Inc., ktorý dokáže generovať maximálny výkon 12 mW. V opisovanej implementácii poskytuje PFBC-W14 výkon 2 mW.

Integrovaný obvod LTC4071 je nabíjací obvod s rezistorom (shunt) s programovateľnou kompenzáciou plávajúceho (udržiavacieho) napätia a kompenzáciou teploty. Udržiavacie napätie je konštantné a používa sa na kompenzáciu samovybíjania a na zabezpečenie 100 % nabitia. Toto napätie je nastavené v obvode LTC4071 na hodnotu 4,1 V s odchýlkou $\pm 1\%$, čo je hodnota bezpečne pod maximom plávajúceho napätia prípustného pre použité batérie. LTC4071 prostredníctvom NTC signálu taktiež sleduje, aké horúce sú batérie a pri dosiahnutí vysokých teplôt znižuje plávajúce napätie aby sa čo najviac predĺžila životnosť batérií. LTC4071 je schopný vnútorného premostenia prúdu s veľkosťou 50 mA. Ak sa však napätie batérie nachádza pod hodnotou plávajúceho napätia, LTC4071 si z batérie odoberá prúd približne vo veľkosti 600 nA.

Batérie GMB301009 majú kapacitu 8 mAh a vnútorný, sériovo zapojený odpor s hodnotou približne 10 Ω .

Simulovaný snímač/vysielач je namodelovaný na Microchip PIC18LF14K22 a MRF24J40MA vysielajúci v pásme 2,4 GHz a komunikujúci podľa normy IEEE 802.15.4 (ZigBee). Rádiový vysielач odoberá pri vysielaní 23 mA a pri prijímaní 18 mA. Tento model je reprezentovaný ako záťaž odoberajúca 12,4 mA s pracovným cyklom 0,98 % (pracuje 2 ms na každých 204 ms), ktorá je nastavovaná digitálnym časovačom s vlastnými vnútornými hodinami a MOSFET spínaním/vypínaním 267 Ω odporu.

Prevádzkové režimy

Opisovaný systém môže pracovať v dvoch režimoch: nabíjanie – vysielanie a vybíjanie – vysielanie. V režime nabíjanie – vysielanie sa batérie nabíjajú, pričom snímač/vysielач predstavuje 0,5 % záťaž. Pri vybíjaní je snímač/vysielач v prevádzke, avšak zberač PFBC-W14 nezískava z okolia žiadnu energiu.

Nabíjanie – vysielanie

Keď je aktívny tento režim, zberač PFBC-W14 dodáva energiu v priemere s hodnotou $9,2 \text{ V} \times 180 \mu\text{A} \approx 1,7 \text{ mW}$. Dostupný prúd musí nabíjať batérie a zásobovať aj obvod na zníženie napätia (buck regulator), ktorý zabezpečuje chod simulovaného vysielачa/prijímača. Aktívny snímač/vysielач odoberá $12,4 \text{ mA} \times 3,3 \text{ V} \approx 41 \text{ mW}$ pri pracovnom cykle 1 % alebo v priemere 0,41 mW, pričom časť prúdu sa využíva na nabíjanie batérie. Ak zoberieme do úvahy účinnosť obvodu na zníženie napätia LTC3588 na úrovni 85 % a predpokladáme priemernú hodnotu VIN 9,2 V a hodnotu prúdu na tomto obvode 8 μA , potom priemerná hodnota prúdu spotrebúvaného systémom bez nabíjania batérií bude

$$I_{AVG} = \frac{I_{SENSOR}}{\frac{V_{IN(AVG)}}{V_{OUT}}} \cdot DUTYCYCLE + I_Q(BUCK)$$

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

Získaná energia dokáže zabezpečiť chod snímača/vysielачa pri pracovnom cykle 0,5 %, pričom časť prúdu s veľkosťou 120 μA možno ešte využiť na nabíjanie batérií. Batérie GMB301009 majú kapacitu 8 mAh, takže z celkom vybitého stavu sa na maximum nabijú za približne 75 hodín.

Vybíjanie – vysielanie

V čase, keď PFCB-W14 nedodáva energiu, napätie na VIN klesne približne na hodnotu:

$$\frac{8.4 + 6.6}{2} = 7.5V$$

Potom sa výpočet prúdu záťaže zmení takto:

$$I_{AVG} = \frac{12.4mA}{\frac{7.5V}{3.3V} \cdot 0.85} \cdot 0.0098 + 15\mu A \cong 78\mu A$$

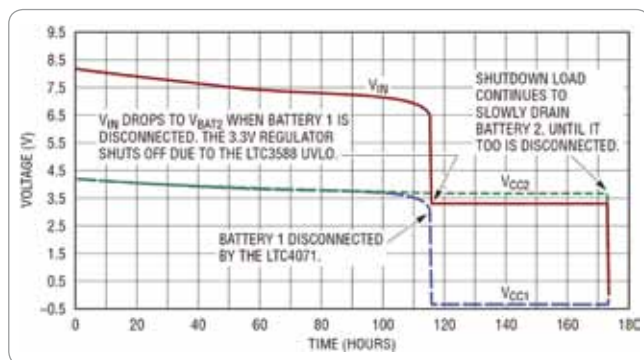
Pokožový prúd obvodu na zníženie napätia je vyšší, pretože obvod musí spínať častejšie pri 7,5 V oproti 9,2 V. Pri 78 μA a žiadnom zbere energie z okolia je batéria nabitá približne na 115 hodín. To zodpovedá kapacite nabitia na úrovni 8,95 mAh. Keď sú tieto batérie nové, dokážu uchovať približne o 12 % viac energie, ako je ich uvedená hodnota.

Avšak podstatnejším problémom je to, čo sa stane, keď sú batérie úplne vybité. Ak sa odberá prúd po tom, ako stav nabitia dosiahne nulovú hodnotu a úroveň napätia na batériách klesne pod 2,1 V, batérie sa natrvalo zničia. Takže aplikácia musí zabezpečiť, že napätie na batériách neklesne pod uvedenú hodnotu. Z tohto dôvodu je prerušovanie napätie batérií nastavené na hodnotu 2,7 V alebo 3,2 V, aby sa zaistil nejaký zvyškový objem energie pre prípad, že nastane rozpojenie obvodu.

Jednoduchým odstavením vysielacza alebo odpojením záťaže batérie neochránime, pretože obvod LTC4071 odoberá pokojový prúd s veľkosťou približne 600 nA. Aj keď je to mimoriadne nízka hodnota, celková záťaž vrátane LTC4071 je takmer 2,1 μA . Úplne vybité batérie budú schopné dodávať prúd približne 100 μA dovtedy, kým ich napätie nepoklesne tak, že zničí batériu.

Rozpojenie obvodu je nevyhnutné na zaistenie toho, že batéria sa za primeraný čas nevybíje. V LTC4071 sa nachádza interný rozpojovací obvod, ktorý sa aktivuje pri nízkej úrovni nabitia batérie. Rozpojovací obvod bol nastavený tak, aby pri aktívnom režime a izbovej teplote predstavoval pre batériu záťaž <2 nA. Hlavnú časť týchto strát tvoria straty plošného spoja. Pri odbere prúdu na úrovni 2 nA môže batéria v rozpojenom stave vydržať 50 000 hodín, kým sa úplne zničí.

Na obr. 2 sa druhá batéria (BAT2) odpojila 50 hodín potom, čo prvá batéria (BAT1) a to pre záťaž 2 μA .



Obr. 2 Vybíjanie spolu s odpojením batérií pri dosiahnutí podpätia

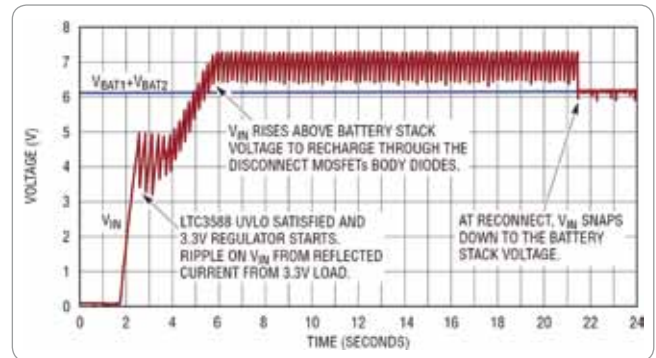
Namerané výsledky

Pri systéme na obr. 1 sa meralo v obidvoch režimoch: vybíjanie – vysielanie (obr. 2) aj nabíjanie – vysielanie (obr. 3).

Vybíjanie – vysielanie

Na obr. 2 je zobrazené napätie na obidvoch batériách BAT1, BAT2, ako aj napätie na obvode na zníženie napätia V_{BUCK} v čase, keď batérie dodávajú energiu do celého systému a žiadna energia sa cez zberač PFCB-W14 nezberia. Batérie sa pomaly vybíjajú až do stavu, kým BAT2 aktivuje prahovú hodnotu LBO obvodu LTC4071

a nato sa aktivuje rozpojovací obvod, ktorý odpojí BAT2 od všetkých obvodov okrem U5. To spôsobí, že napätie na VIN v obvode LTC3588 klesne pod hodnotu napätia UVLO pre obvod na znížovanie prúdu a ten sa vypne. Záťaž na BAT1 je teraz pokojový prúd 2 μA obvodov LTC4071 a LTC3588. Táto malá záťaž pomaly vybíja BAT1 až dovtedy, kým nízka úroveň nabitia tejto batérie neaktivuje interné rozpojenie batérie v LTC40 a BAT1 je tým odpojená.



Obr. 3 Odpojená batéria sa znovu nabíja

Nabíjanie – vysielanie

Keď PFCB-W14 opäť naštartuje dodávku energie do systému, vzrastie napätie V_{IN} na úroveň 7 V, ktoré v obvode LTC4071 spolarizuje v priepustnom smere hlavné diódy rozpojených FET tranzistorov. Batérie sa teraz budú nabíjať dovtedy, kým sa nedosiahne prahová hodnota, čo umožní opätovné odpojenie batérií BAT1 a BAT2. Na obr. 4 možno vidieť, ako sa napätie na VIN prehne smerom nadol na úroveň výsledného napätia na batériách.

Keďže napätie na V_{IN} je teraz rovné súčtu $V_{BAT1} + V_{BAT2} + (180 \mu A + 15 k) = 6,2 V$, obvod na zníženie napätia v zberači LTC3588 sa znovu naštartuje a opäť je dostupné napätie 3,3 V.

Záver

Vďaka niekoľkým ľahko použiteľným prvkom možno zostaviť kompletný kompaktný systém na zber energie z okolia na napájanie bezdrôtových snímačov/vysielačov. V prezentovanom systéme nahradza piezoelektrický vysieláč striedavý zdroj, zatiaľ čo dve batérie uskladňujú energiu, ktorú využíva snímač/vysielač. Integrovaný rozpojovací prepínač chráni batérie pred totálnym vybitím a ich zničením. Uvedený systém dokáže nabíť batérie za 75 hodín, a to pri pracovnom cykle snímača/vysielača 0,5 %. Batérie umožňujú systému spojitú prevádzkovanie snímača/vysielača pri pracovnom cykle 0,5 % počas 115 hodín potom, ako PFCB-W14 prestane dodávať energiu. Ak sa bude vyžadovať dlhší prevádzkový čas batérií, možno znížiť pracovný cyklus snímača/vysielača, čo vyrieši uvedenú požiadavku.

Zdroj: Barbehenn, G. H.: True Grid Independence, Linear technology Corp., publikované v časopise Technology First, p. 4-5, Feburary 2012, Farnell Inc.



Farnell

<http://sk.farnell.com>
www.element14.com