

Термоелектричні перетворювачі для живлення бездротових датчиків

Владислав Моспан, Володимир Фомовський, Сніжанна Кравченко

Кафедра електронних апаратів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, УКРАЇНА, Кременчук, вул. Першотравнева, 20. email: denis.mospan@gmail.com

Анотація: Як відомо, існують два основних типи систем радіочастотної ідентифікації (RFID): активні і пасивні. Така класифікація визначається типом застосованих RFID міток. Пасивні RFID мітки не мають вбудованого джерела живлення. Електричний струм, що індукується в антені електромагнітним сигналом від зчитувача, забезпечує достатню потужність для функціонування розміщеного в мітці мікроконтролера і передачі сигналу відповіді. Активні RFID мітки мають власне джерело живлення і не залежать від енергії зчитувача, внаслідок чого можуть працювати на більших відстанях, мають більші розміри і можуть бути оснащеними додатковою електронікою. Однак, батареї мають обмежений термін дії, тому питання енергозабезпечення активних RFID міток є актуальним. Пропонується розгляд можливих шляхів вирішення цієї задачі.

Ключові слова: RFID мітки; джерела живлення; термоелектричний ефект

I. ВСТУП

Ефективність та інші робочі характеристики бездротових датчиків постійно зростають, а питання забезпечення автономних пристроїв енергією стають повсякденною проблемою. Шляхом вирішення цієї проблеми є створення пристроїв, які б «збирали» хоча б незначну частку енергії (сонячної, теплової, п'єзоелектричної або електромагнітної), яка оточує нас. Провідні інжинірингові компанії намагаються поширити впровадження подібних сенсорних технологій в такі виробництва як, медичні пристрої діагностики та спостереження, які пацієнт носить на собі, авіаційні та автомобільні функціональні монітори, а також технічні засоби віддаленого обліку споживання газу, теплової та електричної енергії.

II. МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Глобальний розвиток даного напрямку електроніки підтримується все більшою кількістю технічних засобів – від спеціалізованих інтегральних мікросхем, до активних та пасивних дискретних елементів [1–6].

Прикладом є компоненти готових налагоджувальних модулів «Energy Harvesting Solution To Go» компаній Energy Micro, Linear Technology та Würth Elektronik. В цих комплектах наявні два базових компоненти – плата збирання енергії і стартовий набір Giant Gecko. Обидва елементи містять пасивні компоненти від Würth

Elektronik. Наприклад, трансформатори WE-ENPI, спеціально розроблені для пристроїв збирання енергії з оточуючого середовища. Вони відрізняються високою ефективністю завдяки низькому активному опору обмоток та осердя, яке розроблялось спеціально для жорстких умов експлуатації. Ефективне придушення електромагнітних завад реалізується за допомогою SMD феритових фільтрів біля кожного виводу трансформатора.

На рис. 1 представлена багатоцільова плата збирання енергії. Вона виготовляється з чотирма перетворювачами напруги від Linear Technology, кожен з яких є оптимізованим для певного джерела енергії.

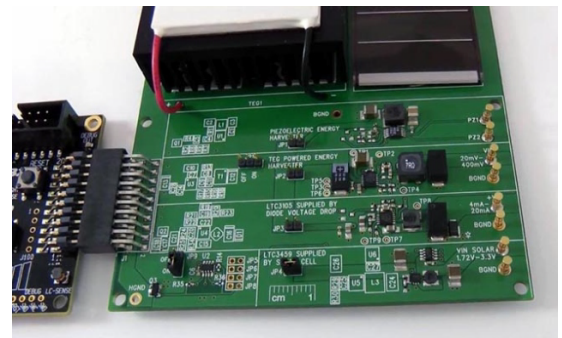


Рис. 1. Багатоцільова плата збирання енергії компанії Linear Technology

Наприклад, мікросхема LTC3588 призначена для джерела змінного струму з напругою до 20 В, таких як п'єзоелектричні та індуктивні електрогенератори.

До складу стартового набору Giant Gecko Starter Kit (рис. 2) входить мікроконтролер (МК) EFM32GG990F1024, який в активному режимі споживає всього 200 мкА/МГц. Ядро ARM Cortex M3 цього МК працює на частоті до 48 МГц. МК має 1024 КБ Flash пам'яті, 128КБ RAM, USB інтерфейс, контролер PKI, а також сенсорний інтерфейс LESENCE.

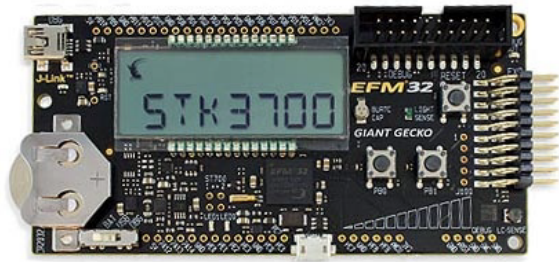


Рис. 2. Стартовий набір EFM32 Giant Gecko Starter Kit

Більшість автономних датчиків має структуру, подібну до представленої на рис. 3.

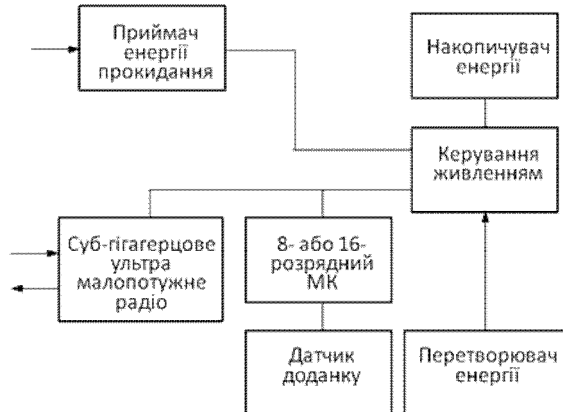


Рис. 3. Базова структура автономного бездротового датчика

Функції блоків, представлених на рис.3, є наступними:

- датчик вимірює і збирає будь-яку кількість параметрів оточуючого середовища, необхідних у конкретному застосуванні (доданку);
- перетворювач конвертує будь-який вид енергії на електричну;
- модуль керування живленням стабілізує, переспрямовує і накопичує одержану енергію;
- МК обробляє одержані від первинних датчиків сигнали і підтримує зв'язок з іншими вузлами системи через радіоканал;
- приймач сигналу прокидання приймає зовнішній запит на виведення датчика із сплячого режиму.

Незалежно від методів та технології побудови систем збирання енергії, всі рішення підпорядковуються головній меті – максимальному збільшенню економічності, що передавати інформацію якомога частіше. Однак кожна технологія збирання має достатньо вузькі границі застосування. На сьогодні найбільш поширеними є перетворювачі сонячної енергії, оскільки працюють з ефективністю від 25% до 50% на см^2 . Наслідком просторого поширення фотогальванічних елементів буде постійне зниження їх ціни в перерахунку на см^2 .

Між тим, в якості елементів збирання енергії можна застосовувати і п'єзоелектричні, і термоелектричні (TEG), і деякі інші елементи.

Пристрій керування живленням для систем з бездротовими датчиками має бути малих розмірів, легким у застосуванні і забезпечувати різні вихідні напруги. Таким вимогам відповідає, наприклад, мікросхема LTC3108 фірми Linear Technology, виконана у корпусі DFN розмірами $3 \times 4 \times 0,75$ мм або у корпусі SSOP 16, яка забезпечує роботу при наднизьких напругах, що знімаються з термоелектричних елементів збирання енергії оточуючого середовища.

Означена мікросхема з термоелектричним елементом збирання енергії є працездатною при мінімальній різниці температур ΔT на поверхні елемента порядку 1°C . При використанні підвищувального трансформатора із співвідношенням кількості витків обмоток 1:100 запуск блоку-генератора мікросхеми відбувається при напрузі на виході термоелемента порядку 20 мВ. З виходу синхронного випрямляча постійна напруга надходить до ключа схеми підкачки заряду, що виконаний на польовому транзисторі, стік якого підключений до накопичувального конденсатора C_{out} . Вихідна напруга V_{out} визначається напругами керування на виводах VS1, VS2 і може перебувати в межах 2,35...5 В. на виході додаткового стабілізатора LDO формується постійна напруга 2,2 В, призначена для живлення зовнішнього мікропроцесора схеми бездротового датчика.

Ескіз однієї з конструкцій термоелектричного модуля (ТЕМ) збирання енергії оточуючого середовища показаний на рис. 4.

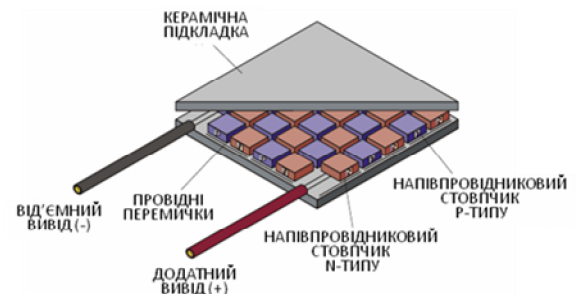


Рис. 4. Конструкція термоелектричного модуля

Модуль побудовано на основі ефекту Зеебека, що полягає у появі ЕРС в замкненому колі з різномірних металів, які мають різні температури. зворотний ефект, який має назву ефекту Пельть'є, полягає у виділенні або поглинанні тепла під час проходження струму через з'єднання різномірних провідників. ТЕМ складається з низки послідовно з'єднаних одиничних напівпровідникових комірок n та p типів провідності, встановлених на провідні площадки. Конструкцію модулю виконують таким чином, що комірки різної провідності фізично контактують з протилежними боками модуля. В якості напівпровідникового матеріалу зазвичай використовують телурід вісмуту (Bi_2Te_3).

Вихідна напруга термоелектричного модулю (ТЕМ) залежить від різниці температур його різних

сторін, від кількості напівпровідникових комірок та від результуючого вихідного опору модуля. Із збільшенням кількості комірок зростає вихідна напруга і одночасно збільшується вихідний опір модуля R_{SURSCE} . На рис. 5 представлені перехідні характеристики мікросхеми LTC3108 по виходах $V_{OUT}, V_{STORE}, V_{LDO}$ при подаванні на вхід V_{IN} прямокутного імпульсу розмахом 100 мВ. Ефективність передачі електричної потужності від модуля до мікросхеми залежить і від нелінійного вхідного опору входу V_{IN} , який залежить від величини прикладеної напруги.

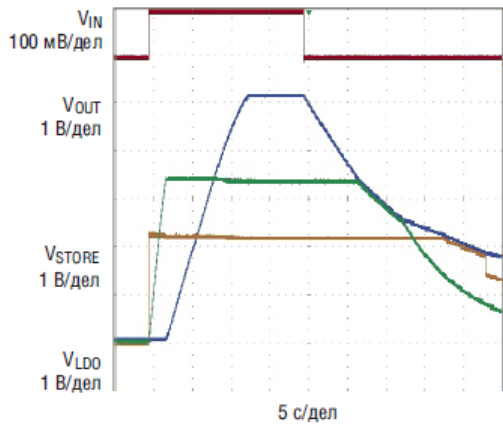


Рис. 5. Перехідні характеристики мікросхеми LTC3108

На рис. 6 приведені залежності вихідної потужності мікросхеми з TEM від опору навантаження (опору входу V_{IN}) при різних значеннях R_{SURSCE} і залежність вхідного опору входу V мікросхеми від величини вхідної напруги. з графіків видно, що при малих опорах R_{SURSCE} (1 Ом) присутній максимум при вхідному опорі $R_{LOAD} = 1$ Ом.

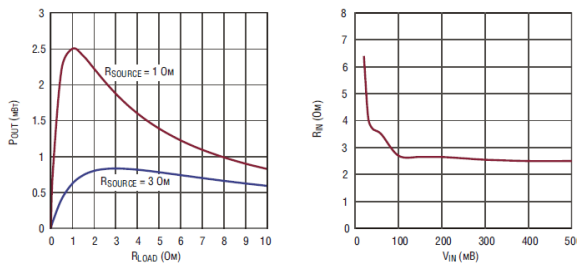


Рис. 6. Вхідні характеристики мікросхеми з TEM

На рис.7 представлені залежності вихідної напруги V_{OC} на холостому ході та потужності типового TEM (площа 30 мм², 127 комірок, $R_{load} = 2$ Ом TEG P_{out} , від різниці температур його поверхонь.

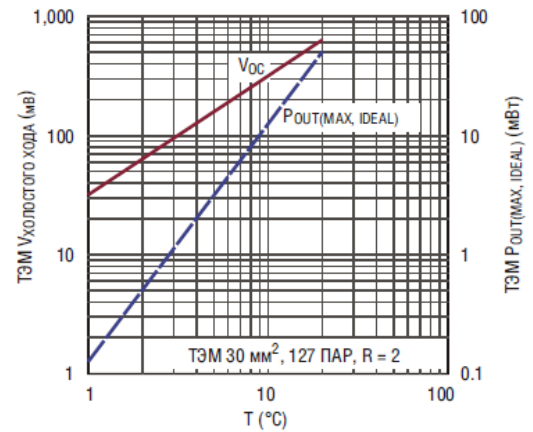


Рис. 7. Вихідні характеристики TEM

З графіків видно, що для одержання потужності 10 мВт потрібна різниця температур ΔT має складати 9°C, а для одержання $P_{OUT} = 1$ мВт, $\Delta T = 3$ °C..

Велике значення для успішної реалізації живлення бездротових датчиків має вірне обрання TEM. Багато виробників TEM не надають значень і залежності вихідної потужності TEM від різниці температур їх поверхонь. Зазвичай приводять значення максимальної вихідної напруги U_{MAX} та струму I_{MAX} . Обрати TEM певного розміру з оптимальними характеристиками можна по максимальній відданій потужності $P_{ВИХ} = U_{MAX} I_{MAX}$ та мінімальному вихідному опорі R_{SOURCE} [3].

При конструюванні пристроїв з TEM слід враховувати вплив на ефективність перетворення енергії теплових опорів між TEM та оточуючим середовищем, TEM та джерелом тепла (див. рис. 8).

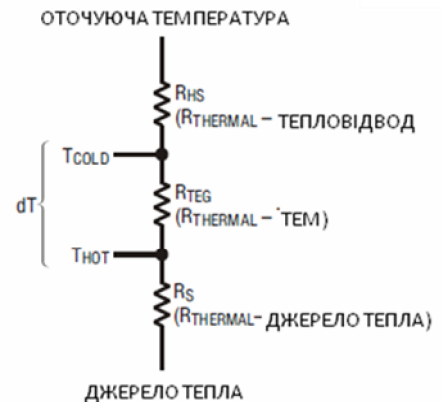


Рис. 8. Теплові опори TEM/джерела тепла

Різниця температур TEM визначається виразом:

$$dT = \frac{R_{TEG} (T_{SOURCE} - T_{AMBIENT})}{R_S + R_{TEG} + R_{HS}}$$

де T_{SOURCE} – температура джерела тепла;
 $T_{AMBIENT}$ – температура оточуючого

середовища; R_{TEG} – тепловий опір ТЕМ (типові значення 1...100С/Вт); R_S – тепловий опір джерела тепла; R_{HS} – тепловий опір тепловідводу.

Встановлення тепловідводу (охолоджуючого радіатора) на зовнішню поверхню ТЕМ є обов'язковим, інакше її температура, через низький опір R_{TEG} модулів буде близькою до до температури внутрішньої поверхні модуля, що дасть малі значення dT і вихідної потужності ТЕМ.

Типове включення мікросхеми LTC3108 в бездротовому датчику з ТЕМ 9500/128/100В ($S=40\text{mm}^2, R_{\text{source}}=1,25\text{Om}, U_{\text{вих}}=40\text{мВ} \dots 1\text{В}$) фірми Ferrotec і трансформатором LPR6235-123QML фірми Coilcraft з відношенням кількості витків обмоток 1:50 надане на рис. 9 [7]. Діапазон оптимальних різниць температур поверхонь ТЕМ перебуває в межах $2 \dots 10^0\text{C}$, запуск генератора імпульсів і заряд конденсатора C_{OUT} відбувається при dT більше 2^0C . Зчитування даних і ВЧ випромінювання бездротових датчиків зазвичай здійснюються протягом коротких інтервалів часу, а ємність конденсатора C_{OUT} при імпульсному характері струму в навантаженні визначається наступним виразом:

$$C_{OUT}(\text{мкФ}) = \frac{I_{\text{ІМП}}(\text{мА})t_{\text{ІМП}}(\text{мс})}{dV_{\text{ВИХ}}(\text{В})}$$

де $I_{\text{ІМП}}$ – імпульсний струм в навантаженні; $t_{\text{ІМП}}$ – тривалість імпульсу; $dV_{\text{ВИХ}}$ – допустимий спад напруги на навантаженні.

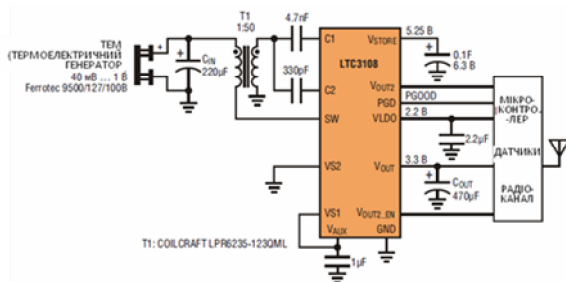


Рис. 9. Типове включення мікросхеми LTC3108 з ТЕМ

Для схеми на рис. 9 ємність конденсатора $C_{OUT}=470\text{мкФ}$ обрана для значень $I_{\text{ІМП}}=15\text{мА}$, $t_{\text{ІМП}}=10\text{мс}$, $dV_{\text{ВИХ}}=0,33\text{В}$. (при номінальній вихідній напрузі 3,3 В). Середній споживаний струм за таких умов складає 560 мкА, середня потужність в навантаженні $P_{\text{CP}}=3,3\text{В} \times 560\text{мкА}=1,85\text{мВт}$. Потужність споживання в імпульсі $P_{\text{ІМП}}=3,3\text{В} \times 15\text{мА}=49,5\text{мВт}$.

Час, необхідний для заряду конденсатора C_{OUT} становить: $t_{\text{зар}}=470\text{мкФ} \times 3.3/560\text{мкА}=2,77\text{с}$.

Питання моделювання основних характеристик і параметрів ТЕМ приведені в [8–10].

III. ВИСНОВКИ

Питання організації ефективного живлення бездротових датчиків є актуальним. Розглянуті певні технічні рішення ефективних систем живлення на основі термоелектричних модулів (ТЕМ).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1]. <http://www.energyharvestingjournal.com/en/report/s/advanced-materials/> (дата звернення 16.09.2019).
- [2]. Техосмотр – не догма, а средство обеспечения безопасности дорожного движения / Грузовое и пассажирское автохозяйство. – №09. – 2011. URL: http://www.bornica.ru/expert/gruz_pass_9_2011/ (дата звернення 16.09.2019).
- [3]. Salerno D. Ultralow Voltage Energy Harvester Uses Thermoelectric Generator for Battery-Free Wireless Sensors / David Salerno // Journal of Analog Innovation. – Volume 20. – Number 3. – 2010. P. 1–11.
- [4]. Ferrotec modules. <http://www.ferrotec.com/products/thermal/> (дата звернення 16.09.2019).
- [5]. Kryotherm modules. <http://www.kryotherm-usa.com> (дата звернення 16.09.2019).
- [6]. Laird Technologies. <http://www.lairdtech.com> (дата звернення 16.09.2019).
- [7]. Петропавловский Ю. Устройства аккумулирования энергии окружающей среды. Применение термоэлектрических преобразователей для питания беспроводных датчиков / Ю. Петропавловский // Радиолоцман. – №2. – 2012. – С. 31–41.
- [8]. Лобунец Ю. М. Анализ характеристик термоэлектрического генератора теплообменного типа / Лобунец Ю. М. // Термоэлектричество. – №1. – 2014. – С.57–64.
- [9]. Симкин А. В. Термоэлектрическая эффективность низкотемпературных генераторных материалов, возможности ее повышения / А. В. Симкин, А. В. Бирюков, Н. И. Репников, В. В. Ховайло // Вестник Челябинского государственного университета. – №7 (362). – 2015. С. 21–29.
- [10]. Зайков В. П. Модель каскадных термоэлектрических охлаждающих устройств в режиме наибольшей энергетической эффективности / В. П. Зайков, В. И. Мещеряков, Ю. И. Журавлев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – №6/8(84). – 2016. ISSN 1729-3774.