

СЪБИРАНЕ И ПРЕОБРАЗУВАНЕ НА ЕНЕРГИЯ ЧРЕЗ АВТОНОМНИ МИНИАТЮРНИ ЕЛЕКТРОЗАХРАНВАНИЯ

Станко Нешев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: stneo@xars.eu

РЕЗЮМЕ. Изчерпването на природните енергийни ресурси, замърсяването на околната среда, увеличаването на енергийните потребности в ежедневието и промишлеността налагат използването на автономни възобновяеми източници на енергия. В резултат на природни явления и човешка дейност се отделят неголеми количества различна енергия, която би могла да бъде преобразувана в електрическа и използвана за хранване на устройства с ниска консумация. Основните принципи на преобразуване на енергията използвани в Energy harvesting са електромагнитни, термоелектрични, пиезоелектрични, електростатични и фотоволтаични. Неоспорими области на приложение са всички електрични консуматори използващи батерии и акумулатори.

COLLECTION AND ENERGY CONVERSION THROUGH AUTONOMOUS MINIATURE POWER SUPPLIES

Stanko Neshev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, E-mail: stneo@xars.eu

ABSTRACT. Depletion of natural energy resources, environmental pollution and increasing energy needs in daily life and industry require the use of autonomous renewable energy. As a result of natural phenomena and human activities are released small amounts of different energy that could be converted into electricity and used to power devices with low consumption. Main principles of energy conversion are electromagnetic, thermoelectric, piezoelectric, electrostatic and photovoltaic. Compelling application areas are all electric consumers using batteries.

Въведение

В резултат на природни явления и човешка дейност се отделят неголеми количества различна енергия, която би могла да бъде преобразувана в електрическа и използвана за хранване на устройства с ниска консумация. Този процес на улавяне или събиране на енергия е популярен с термина Energy Harvesting. Основната цел на тези технологии е хранване на малки безжични автономни устройства работещи в специфична среда и условия (Mitcheson, P., 2008; Roundy, S., 2004; Williams, C., 1995; Joon Kim, 2010; <http://venividiviki.ee.virginia.edu>).

Тази група консуматори се нуждае от много малко електроенергия, а осигуряването и чрез конвенционалната електрическа мрежа е в някакъв аспект неудобно или дори невъзможно. Характерен пример на приложение в минно-добивния отрасъл са безжичните сензори и модули работещи в комуникационните системи. Класическата алтернатива за тях е хранване с батерии или акумулатори, при което се генерират значителни разходи и се замърсява околната среда. Необходимата им енергия може да се извлича и от естествени източници като: светлина, топлина, вятър, вода, кинетична енергия и др. Получената от едно Energy Harvester устройство енергия е с ограничен капацитет но прилагани в система, съществуват технологии посредством които се генерират мощности от няколко вата.

Използването на подобни устройства в миннодобивната промишленост и геологията е ефективно при сензори за контрол на състоянието на статични конструкции и съоръжения, машини и превозни средства, както и за получаване на постоянна информация за околната среда.

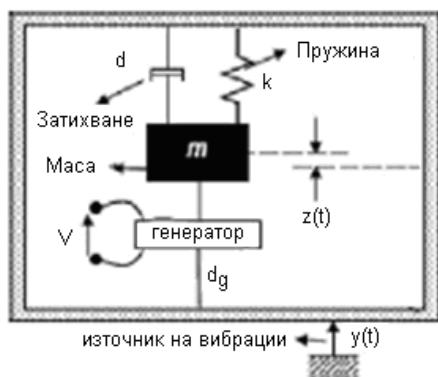
Предвид пространствената разсредоточеност на производството в отрасъла и потребността от постоянно проследяване и измерване на редица параметри в реално време, Energy Harvesting технологиите безспорно биха били ефективен заместител на използваните в момента батерии.

Класификация на автономните миниатюрни източници на енергия

Електромагнитни източници

Електромагнитните Energy Harvesters преобразуват механичното движение на постоянен магнит спрямо фиксирана бобина в променливо напрежение. Движението може да е в резултат на машинни вибрации и механични въздействия от всякакъв тип.

На фигура 1 е представена принципната схема на подобен електромеханичен източник на енергия (<http://www.niplslab.org>).



Фиг.1. Електромеханичен източник на енергия

Движението се описва с диференциалното уравнение :

$$m\ddot{z} + (d + d_g)\dot{z} + kz = m\ddot{y} \quad (1)$$

$$m \cdot \frac{d^2 z(t)}{dt^2} + (d + d_g) \cdot \frac{d.z(t)}{dt} + k.z(t) = m \cdot \frac{d^2 y(t)}{dt^2} \quad (2)$$

където:

- m – подвижната маса;
- z – движението на масата;
- d – съпротивлението на въздуха и триенето на плъзгащите повърхности;
- d_g – съпротивлението, което се създава при преобразуване на механичната енергия в електрическа;
- k – константата на пружината;
- y – амплитудата на входните вибрации.

Мощността P_{rez} , разсейвана в съпротивлението, което се създава при преобразуване на механичната енергия в електрическа е пропорционална на електрическата енергия на генератора.

$$P_{rez} = \frac{m \cdot \omega_{rez} \cdot \mathcal{G}_g |Y|^2}{4 \cdot (\mathcal{G} + \mathcal{G}_g)^2} \quad (3)$$

където: $\mathcal{G} = d/2m\omega$ и $\mathcal{G}_g = d_g/2m\omega$ са коефициенти на затихване, а Y е амплитудата на входните вибрации.

Максимална мощност P_{rez} се постига, когато отместването Z е максимално.

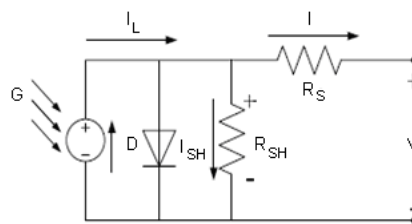
Този вид електромагнитни източници генерират мощност от порядъка на 1 mW/cm^2 .

Фотоволтаични източници

Фотоволтаичната енергия е практически неизчерпаем източник с малко или липсващи неблагоприятни въздействия върху околната среда. Обикновено електрическите характеристики на фотоволтаичната клетка са отношение между напрежение и ток, и напрежение и мощност.

Еквивалентна схема на една слънчева клетка е показана на фигура 2, (<http://www.dateconference.com>, M. Ferri, 2009) и представлява източник на ток, свързан паралелно с диод. Енергията, произведена от източника на ток, е

пропорционална на светлината, падаща върху клетката. Когато е тъмно, слънчевата клетка не е активно устройство и работи като диод.



Фиг.2. Заместваща електронна схема на фотоволтаична клетка

Основните зависимости, пряко свързани с работата на слънчевата клетка са: температурната зависимост от наситеността на диода, температурната зависимост на тока и съпротивлението R_s , ограничаващо входния и изходен ток.

Този вид фотоволтаични източници генерират мощност от порядъка на 100 mW/cm^2 .

Пиезоелектрични източници

Наименованието им (Piezoelectric EN) се дължи на използването на пиезоефекта, представляващ създаване на електрическо напрежение вследствие на механични деформации. Най-често се използват вибрациите, характерни за всички машини.

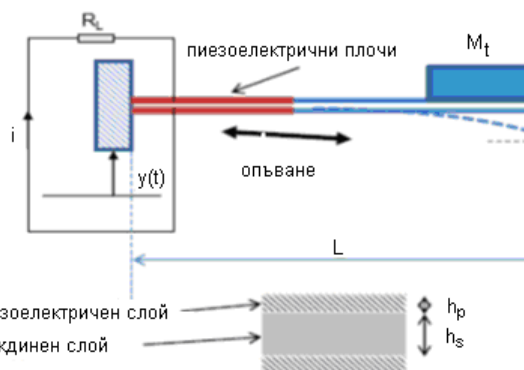
Еквивалентна схема на пиезоелектричен генератор е показана на фигура 3.



Фиг. 3. Пиезоелектричен генератор

Генерираната мощност варира от няколко стотици микровата до няколко десетки миливата и практически зависи линейно от амплитудата и честотата на вибрациите.

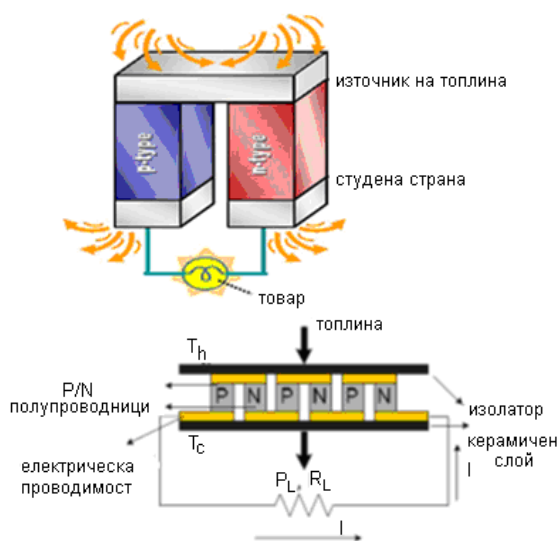
Принципното устройство на пиезоелектричния наногенератор е изобразено на фигура 4 (Poulin G, 2004, Beeby, S., 2006, Zhu D, 2010, <http://www.nipslab.org>).



Фиг.4. Принципно устройство на пиезоелектричен генератор

Термоелектрически източници

Термоелектричните източници (TEG) се основават на ефекта на Зеебек, който представлява появата на електрическо напрежение между два различни проводника с температурна разлика между тях (фиг.5) (R.J.M. Vullers 2009). Те преобразуват топлинната в електрическа енергия, чиято големина е право пропорционална на температурната разлика и коефициента на Зеебек на проводниците. При големи негови стойности може да се получи значителна енергия при малка температурна разлика, като засега най-добри са p- и n-полупроводниците от бисмутов телурид. Напрежението върху прехода между тях е около 0,7 V, а за по-големи стойности се свързват последователно повече преходи, които конструктивно се поставят между две керамични пластинки.



Фиг.5. Принципи схеми на TEG

Предимствата на TEG са липсата на движещи се части, високата надеждност и дългия експлоатационен срок (около 20 години), към които се прибавя и възможността за обратно преобразуване на електрическа в топлинна енергия и съответно работа като нагреватели.

Основен недостатък е малкият к. п. д. с типични стойности около 10%, който намалява дори под 5% при малка температурна разлика. За неговото повишаване се търсят материали с малко електрическо и голямо топлинно съпротивление, които да могат да работят при голяма температурна разлика.

Спрямо галваничните елементи TEG позволяват добиване на по-голяма енергия от единица обем за по-дълъг експлоатационен срок.

Разработват се и миниатюрни TEG (Micro-TEG) с много малка мощност, приложими за ръчни електронни часовници с напрежение около 0,2 V и мощност между няколко и няколко десетки mW, както и тънкослойни с мощност 1,5 mW при площ 0,5 cm².

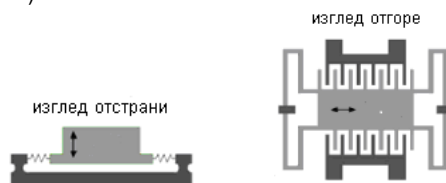
Електростатични (капацитивни) източници

Електростатичните източници ЕН (Electrostatic EN, Electrostatic Generator) използват промяната на количеството електричество и съответно натрупаната

енергия в кондензатор при движение на една от неговите пластини.

Понастоящем са известни експериментални модели главно на основата на MEMS технология. Един от тях осигурява 100 mW при вибрации с амплитуда 20 mm и честота 1,2 kHz, а друг - 0,12 mW при амплитуда 1 mm и честота 45 Hz.

Специфична особеност на тези ЕН е необходимостта от захранващ източник (обикновено батерия) с напрежение няколко V, който да осигури първоначалния заряд на кондензатора. На фигура 6 е представен принципът на действие на електростатичните микрогенератори (Beeby, S. P, 2006).



Фиг. 6. Принцип на действие на електростатичните микрогенератори

Електростатичната енергия, съхранявана в кондензатор, се изразява с уравнението:

$$E = \frac{1}{2} Q.V = \frac{1}{2} C.V^2, \quad (5)$$

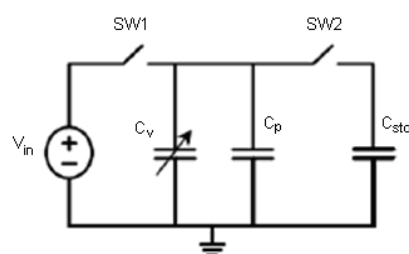
където: Q е зарядът, а V — потенциалът.

Капацитетът от своя страна е равен на

$$C = \epsilon_r \epsilon_o \frac{A}{d} \quad (6)$$

където: A - площта на припокриване на пластините;
d - разстоянието между пластините;
 ϵ_o - диелектричната проницаемост на вакуума;
 ϵ_r - относителна диелектрична проницаемост на диелектрика.

На фигура 7 е показана заместващата схема на електростатичен генератор.



Фиг. 7. Заместващата схема на електростатичен генератор

Максималната потенциална енергия за един цикъл, която може да бъде добита се определя по формулата.

$$E = \frac{1}{2} V_{max} V_{in} \Delta C \quad (7)$$

където $\Delta C = V_{max} - V_{min}$, а V_{max} представлява максимално допустимото напрежение.

Съвременни приложения на Energy Harvesting технологиите

Съществуващите и очакваните приложения на TEG са твърде разнообразни. Все по-често те се използват в самолети, където температурната разлика между кабината и околния въздух може да надхвърли 50°C. В някои космически апарати TEG осигуряват мощност до няколко киловата, като топлината се получава от радиоактивен източник на основата на полоний-238. На същия принцип, но с използване на тритий, е реализиран и се предлага TEG с 125 mW/cm³ и експлоатационен срок над 12 години.

Пиезоелектричните системи се използват при контрол на състоянието на статични конструкции, като мостове, сгради, железопътни линии и други подобни съоръжения.

Увеличаването на вибрациите над определена граница означава наличие на предпоставка за повреда. Същевременно тези EH генерират енергия за захранване на комуникационните модули, които осъществяват връзка с управляващите терминали.

EH се използва за контрол на състоянието на пациенти. Основното чрез тях се захранват монтирани на кожата имплантирани сензори за следене на жизнените функции на възрастни и рискови пациенти. EH могат да се използват и за захранване на слухови апарати.

Не трябва да се пренебрегва и приложението на EH за наблюдение на околната среда. В предприятията с опасни производствени процеси се налага чрез сензори да се следи за наличието на вредни вещества във въздуха и водата. В земеделските стопанства се контролират параметрите на почвата - влажност, соленост и др.

EH могат да се използват и в битови устройства с малка консумация като например Bluetooth устройства, електронни часовници, радиоприемници и калкулатори. Инсталирането на електрически и комуникационни инсталации също може да бъде облекчено чрез безжични задаващи и изпълнителни модули.

Специфични особености на EH са малкото количество произвеждана енергия и генерирането и само в определени моменти от време. За осигуряване на непрекъснато захранване те трябва да съдържат подходящ елемент за съхранение на енергията.

Приложение в областта на миннодобивния отрасъл

Безспорни области на приложение на Energy Harvesting технологиите са случаите когато има трудности при реализиране на захранването на консуматори, намиращи се в структурата на разсредоточени системи за

мониторинг. Това е често срещано явление в областта на минно-добивното производство.

Друга възможна област на приложение са транспортните системи, които са основно звено на съвременните рудници. Те изискват сравнително сложна организация на движението, което успешно се компенсира с усъвършенстването на средствата за сигнализация. Тази сигнализация може да се захранва от пиезоелектрични източници, които преобразуват вибрациите в електрическа енергия.

Сензорите, които регистрират наличието на взривни газове, могат да се захранват от термоелектрични генератори, като информацията се предава чрез безжична връзка. По този начин се намалява опасността от възникване на искра и улеснява инсталацията и проектирането на сигналната система.

Отчитането на налягането в газопроводи, намиращи се на отдалечени и труднодостъпни места, може да се подсигури с датчик за налягане, свързан към GPRS модул, който изпраща информацията на определени интервали от време, като захранването на тази система се осигурява от соларен панел.

Друг пример на приложение е отчитането на нивото на водата в сондажи при черпене на определени количества и възстановяването и от природните ресурси. Най-често тези сондажи се извършват на отдалечени места, където няма електричество и се налага използването на алтернативни източници на енергия.

Монтирането на TEG на ауспуха на дизелови двигатели може да осигури значителни мощности. Такива експериментални TEG са с мощност между няколко десетки вата до малко над 1 kW. С това се намалява разходът на гориво и се очертава възможност за замяна на алтернатора с TEG.

По подобен начин работят TEG, монтирани върху тръба с топла вода. При обем 10 cm³ и температурна разлика от 30 °C те осигуряват мощност до десетки mW.

Заклучение

Като цяло концепцията на настоящата статия е свързана с анализ на основните принципи на преобразуване на енергията от автономни миниатюрни преобразуватели. Разгледани са основните принципи на автономните миниатюрни преобразуватели - енергоизточници от гледна точка на необходимостта от повишаване на ефективността на енергозахранването и търсенето на алтернативни източници на икономически изгодна за минно добивния отрасъл енергия. За съжаление количествената оценка на ефективността им се явява сложна задача и за постигане на реален ефект предстои да се извършат още редица научни и приложни изследвания.

Очаква се автономните миниатюрни захранващи източници в бъдеще да удовлетворяват информационните потребности на мобилните системи с което да увеличат и

ефективността на контролно диагностичните системи в разредоточените производства.

Литература

Mitcheson, P. D., E. M. Yeatman, et al., 2008. Energy harvesting from human and machine motion for wireless electronic devices" *Proceedings of the IEEE* 96(9): 1457-1486.

Roundy, S., P. K. Wright, et al., 2004, *Energy Scavenging For Wireless Sensor Networks with special focus on Vibrations*, Kluwer Academic Publisher.

Williams, C. B. and R. B. Yates, 1995. *Analysis Of A Micro-electric Generator For Microsystems*. *Solid-State Sensors and Actuators, 1995 and Eurosensors IX. Transducers' 95. The 8th International Conference on 1*.

Beeby, S. P., M. J. Tudor, et al., 2006. Energy harvesting vibration sources for microsystems applications.

Measurement Science and Technology 17(12): R175-R195.

Zhu, D., M. J. Tudor, et al., 2010. Strategies for increasing the operating frequency range of vibration energy harvesters: a review. *Measurement Science and Technology* 21: 022001.

Joon Kim, K., F. Cottone, et al., 2010. Energy scavenging for energy efficiency in networks and applications. *Bell Labs Technical Journal* 15(2): 7-29.

M. Ferri, D. Pinna, E. Dallago, and P. Malcovati, *Integrated micro-solar cell structures for harvesting supplied microsystems in 0.35- μ m CMOS technology in Proceedings of IEEE International Conference on Sensors*, pp. 542-545, October 2009.

R.J.M. Vullers et al. *Micropower energy harvesting*, *Solid-State Electronics* 53, 2009.

http://venividiviki.ee.virginia.edu/mediawiki/images/4/4f/E-Harv_Documentation_v1.1.pdf

<http://www.nipslab.org/files/file/nips%20summer%20school%202011/Cottone%20Introduction%20to%20vibration%20harvesting.pdf>