

## **INVESTIGATION OF ENERGY THERMOHARVESTER MADE BY SHAPE MEMORY ALLOYS**

**Todor TODOROV, Rumen NIKOLOV, Yanko RALEV**

**Abstract:** The paper deals with thermal harvester which transduce solar energy into motion of permanent magnet by shape memory alloy (SMA) wire. The moving magnet interacts with a second magnet which is sandwiched between two piezoelectric membranes and its deflection produce electric energy. The solar energy is concentrated at the SMA wire by a mirror which obturates the light beams when the SMA wire contracts. Subsequently the wire is cooling and the processes are repeated. In the paper instead the mirror the SMA wire is driven by PWM voltage generator in order the basic parameters of the system to be determined.

**Keywords:** Shape memory alloy, piezoelectric effect, energy thermoharvester, permanent magnet

## **ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕРМОХАРВЕСТИЕР ОТ СПЛАВИ С ПАМЕТ НА ФОРМАТА**

**Тодор ТОДОРОВ, Румен НИКОЛОВ, Янко РАЛЕВ**

**Резюме:** В статията е изследван термогенератор, който преобразува слънчева енергия в движение на постоянен магнит чрез жица от сплави с памет на формата (СПФ). Подвижният магнит взаимодейства с друг, разположен между две пиезоелектрични мембрани, които при деформирането си произвеждат електричество. Слънчевата енергия се концентрира върху жицата от СПФ чрез подвижно огледало, което препречва светлинните лъчи, когато жицата се свива. Следва охлаждане на жицата и повтаряне на процесите. В статията вместо с огледало, жицата се задвижва с генератор на широчинно импулсно модулирано напрежение, за да се установят основните параметри на системата.

**Ключови думи:** Сплави с памет на формата, пиезоелектричен ефект, термохарвестер, фотохарвестер, генератор на енергия, постоянен магнит

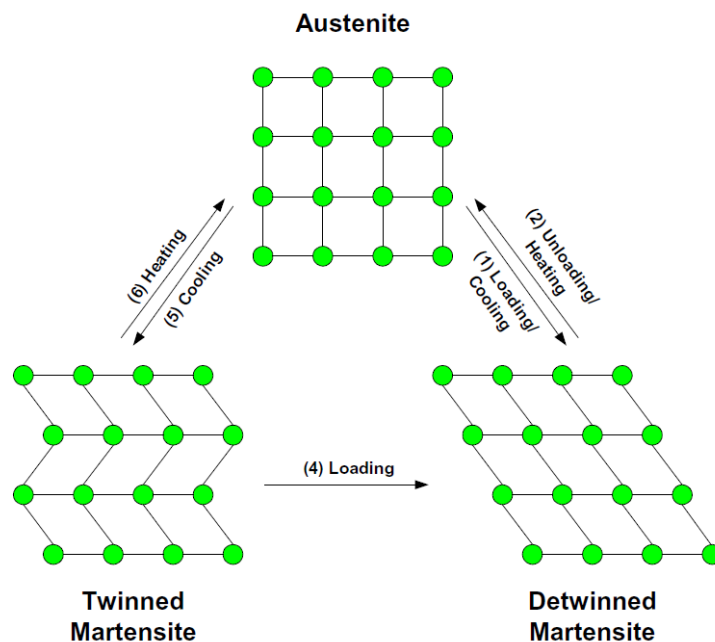
### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

Сплавите с памет на формата (СПФ) са сравнително нови материали, които имат способността да възвръщат предварително зададена форма при нагряване. Този клас материали спада към така наречените „умни“ материали, които използват външно влияние, за да бъде активирана тяхната „памет“. Активацията на СПФ се предизвиква чрез нагряване, което може да се получи практически от всички известни принципи на преобразуване на енергия в топлинна. Ефектът памет на формата се дължи на мартензитно-аустенитно превръщане и смяна на кристалната решетка (фиг.1) [1].

Трансформацията от мартензит в аустенит се осъществява при определени стойности на температурата, което зависи основно от химичния състав на сплавта. При срещане на съпротивление по време на трансформация СПФ генерират сила, поради което са предимно актуатори и двигатели [2]. Те могат да заместят традиционните методи за задвижване поради големия си брой предимства, изразяващи се в много добри електрически и механични свойства, висока корозионна устойчивост, работа над милиони цикли, широк диапазон на температурна на активация, голяма работна сила, безшумност. Употребата на тези материали е ограничена при високи честоти (до 100 Hz) и при процеси, в които загряването трябва да се сведе до минимум. Актуаторите от СПФ демонстрират до 100 J/cm<sup>3</sup> енергийна плътност, която е най-високата постигана досега.

Устройство, служещо за събиране на неоползотворена енергия от околната среда в английската литература се нарича „energy harvester“, което в директен превод е „енергиен събирач“, „енергиен жетвар“, или „енергиен комбайн“. У нас за този тип енергийни системи се налага терминът харвестер. Тези устройства в най-общият смисъл преобразуват някаква неоползотворена енергия на околната среда в електрическа енергия, която може директно да се консумира или съхранява. Мощността е от порядъка на няколко  $\mu$ W до 10 mW. Харвестерите все повече навлизат в съвременния свят от една страна поради непрекъснатото намаляваща мощност на електроните устройства и от друга поради

единственото възможно решение в някои технически ситуации. Те успешно заместват батериите и захранванията в системи с ограничен или невъзможен достъп, премахват необходимостта от замяна батерии на многовъзлови безжични сензори, спестяват хирургични намеси за смяна на батерии в медицината.



**Фиг.1 Фазови трансформации в СПФ: martensite- martensite; twinned martensite –двойникуван мартензит; detwinned martensite – дедвойникуван мартензит; austenite –аустенит [1]**

В публикацията [3] авторите изследват комбинирани системи за добив на енергия, съдържащи СПФ и пиезоелектрични преобразователи на енергия. Сплавта с памет на формата е нишка, която деформира пиезоелектрична пластина, с помощта на специален еластичен механизъм. Постигнато е преобразуване на 75  $\mu\text{J}$  енергия при единична вибрация и температура 60  $^{\circ}\text{C}$  при един от харвестерите, а при другият отчитат 90  $\mu\text{J}$  при загряване и 60  $\mu\text{J}$  при охлаждане. В публикацията [4] авторите разглеждат и комбинирани пиезоелектрични и пиезоелектрични елементи със сплави с памет на формата и провеждат експерименти. Същият колектив създава и изследва композитни материали от пиезоелектрици и сплави с памет на формата, които подобряват енергийните характеристики на харвестерите [5]. Чрез разработване на микродвигател, който използва собственото си задвижване за охлаждане и температурата на чипа за загряване е създаден харвестер, съдържащ 0.12 g SMA жица за задвижване на механичен микродвигател с механична мощност 2.6 mW, който завърта електромагнитен генератор, произвеждащ 1.7 mW електрическа мощност за захранване на сензорен възел [6].

*Цел на статията е да се изследва поведението система, съдържаща СПФ, магнити и пиезоелектрици, за да се определят функционалните физически и геометрични параметри, като вместо топлинен (или светлинен) източник се използва нагряване на СПФ с периодични импулси от постоянно електрическо напрежение. Чрез получените параметри се цели да се уточнят конструктивните изисквания към механизмите на системата и да се установи нейната приложимост.*

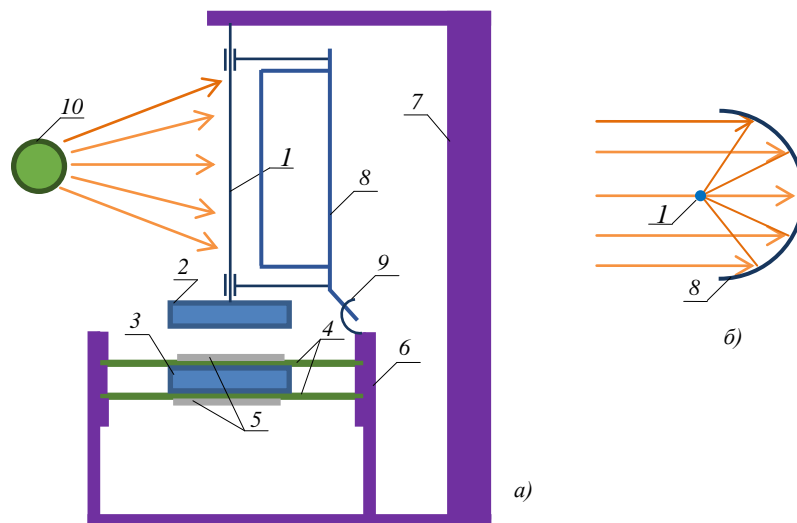
## 2. ОПИСАНИЕ НА КОМБИНИРАНИЯ ХАРВЕТЕСТЕР

На фиг.2 е дадена принципна схема на енергийния преобразувател. Към свободния край на жица от СПФ 1 е закрепен постоянен NdFeB магнит 2, който взаимодейства с друг такъв магнит 3, разположен между две еластични мембрани 4 с пиезоелектрични слоеве 5 от PZT. Системата с мембраните и дисковете е поместена в корпус 6. Стойка 7 служи за закрепване на неподвижния край на жицата от СПФ. Върху жицата е захванат въртящо елемент огледало/обтюратор 8, който се завърта с помощта на канална гърбица 9, когато СПФ се свива или отпуска и магнитът 2 се отдалечава или приближава към мембраните.

Жицата от СПФ е разположена във фокуса на огледалото (фиг. 2 б). Когато върху огледалото пада успореден сноп светлинни лъчи вследствие на фототермичния ефект жицата се загрява. При достигане на температурата на мартензитно–аустенитното превръщане жицата започва да се скъсява и повдига нагоре задвижващия магнит 3. Промяната на положението на магнита предизвиква

промяна в деформацията в еластичните мембрани и пиезоелектричните слоеве генерират електрическа енергия.

Отражателят 8, освен че концентрира топлината върху жицата от СПФ играе роля на обтюратор, който чрез завъртане прекъсва достъпът на топлина до жицата от СПФ. За завъртането на обтюратора се използва гърбицата 9, която преобразува вертикалното движение на обтюратора във въртеливо. Когато жицата от СПФ е максимално скъсена, обтюраторът застава между източника на

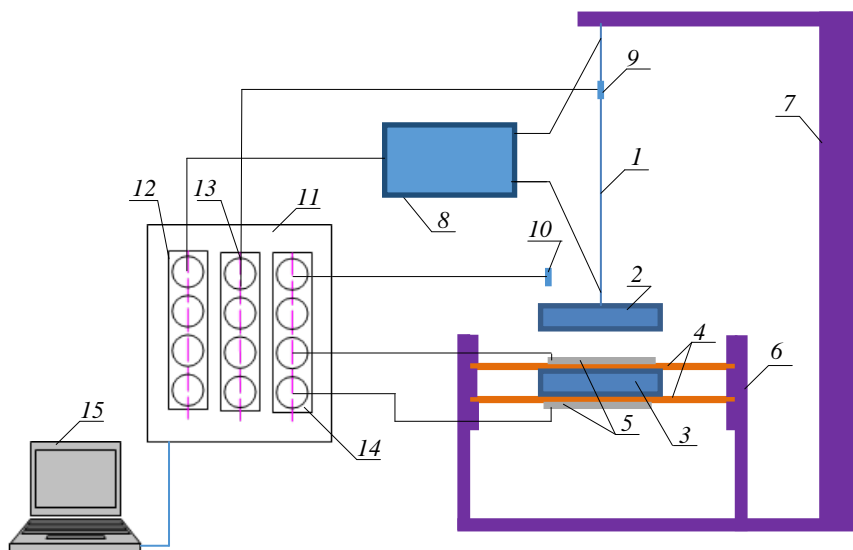


**Фиг. 2 Принципна схема на устройството:** а) обща схема на харвестера; б) разположение на нишката от СПФ спрямо фокуса на кръглото огледало; 1. Жица от СПФ; 2. Подвижен постоянен магнит; 3. Задвижващ магнит; 4. Еластични мембрани; 5. Пиезоелектрични слоеве; 6. Корпус; 7. Стойка; 8. Отражател/обтюратор; 9. Гърбичен механизъм; 10.Светлинен/топлинен източник.

топлина 10 и жицата 1. Следва охлаждане на жицата и съответното ѝ удължаване под действие на магнитната сила. Обтюраторът пада вертикално и едновременно с това се завърта като отново заема позиция на огледало. Така при наличие на светлина или подходяща лъчиста топлина, движението на системата циклично се повтаря, генерирайки електричество.

### 3.ОПИТНА ПОСТАНОВКА ЗА БАЗОВИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА СИСТЕМАТА

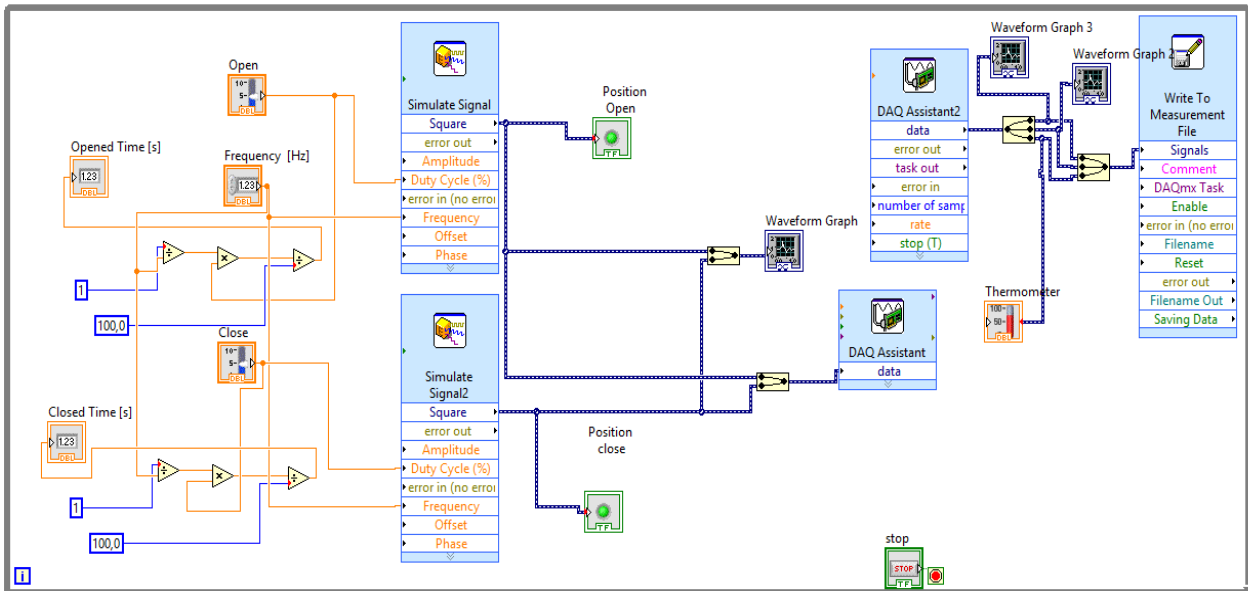
Опитната постановка е предварителен етап от изработването на харвестера, целящ да се определят основните параметри.



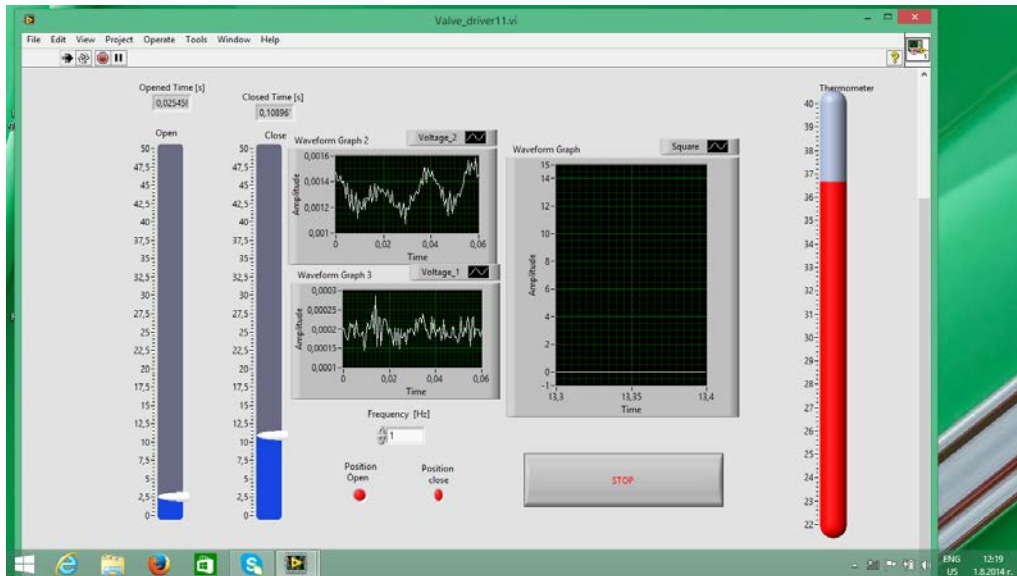
**Фиг.3 Опитна постановка:** 1. Жица от сплав с памет на формата (СПФ); 2. Подвижен постоянен магнит; 3. Задвижващ магнит; 4. Еластични мембрани; 5. Пиезоелектрични слоеве; 6. Корпус; 7. Стойка; 8. Усилвател; 9. Термодвойка; 10. Позиционен сензор; 11. NI DAQ; 12. Генератор на импулси; 13. Блок на NI за термодвойки; 14. Аналогов вход; 15. Лаптоп.



Фиг. 4. Фотография на опитната постановка



Фиг. 5. Блок диаграма на LabVIEW

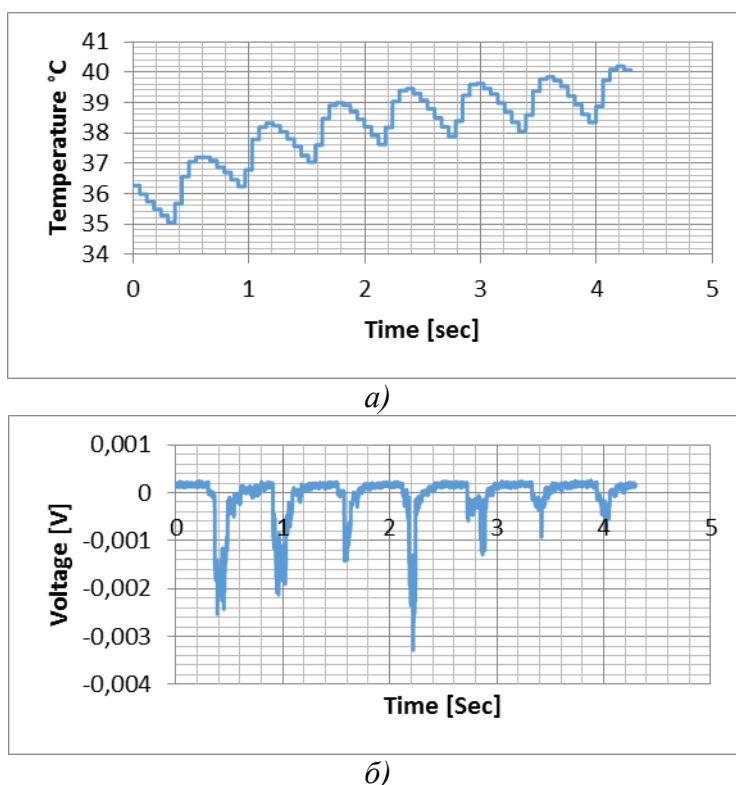


Фиг. 6. Преден панел на LabVIEW

Схемата на опитната постановка е показана на фиг. 3. Огледалото от фиг. 2 е свалено и вместо с топлинен източник, жицата от СПФ е захранена директно в краищата си от източник на постоянно напрежение 8. Честотата и широчината на импулсите на захранващото напрежение е задавана чрез система за събиране на данни на National Instruments. Температурата се измерва с термодвойка 9, а позицията от магнито-релуктивен безконтактен сензор. Данните от сензорите се записват в системата за събиране на данни 11, в която са поместени съответните функционални входни и изходни модули 12, 13 и 14. Експериментът се управлява чрез програма на LabVIEW с блок диаграма показана на фиг. 6 и фронт панел от фиг. 6. Особеност на изграждането на блок диаграмата е, че един и същи физически DAQ е използван в две различни логически функции като устройство за генериране на сигнал и устройство за обработване на данни.

#### 4. РЕЗУЛТАТИ ОТ ЕКСПЕРИМЕНТИТЕ

На фиг. 7 е показано измерване, направено при следните параметри: дължина на жицата 110 mm; начална междина 12 mm; температура на околната среда 25.9 °C; ток 1.52 A; жица тип Flexinol d=0.38 mm. Широчина на импулса на електрическия ток 0.099 sec при период 1 sec.



**Фиг. 7. а) Изменение на температурата на жицата със СПФ при широчинно импулсно (ШИМ) управление на загряването; б) напрежение на пиезоелектричен диск**

Резултатът показва, че по отношение на параметрите на тока устойчив режим не е постигнат, защото на графиката е видно, че въпреки променливия си характер температурата в жицата непрекъснато нараства. Максималното генерирано напрежение на отворена верига само в една от мембраните е 33 mV. Другата мембрана генерира идентично, но противофазно напрежение.

#### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведените експерименти потвърждават възможността за изграждане на осцилиращ комбиниран харвестер със сплави с памет на формата.

Такава система може да работи при всякакви условия, където има светлинен източник, не се нуждае от настройване и въпреки сравнително сложната конструкция, проявява надеждно поведение.

За да се извлече максимална енергия, подвижният магнит трябва да бъде разположен максимално близо до пиезоелектричните слоеве. Опитът показва, че съществува една минимално възможна начална междина след преминаването, на която следва удар на магнита в мембраната. В динамичен режим тази критична междина се увеличава.

Енергоотдаването на системата може да се повиши като в корпуса се монтира бобина с висока индуктивност, която да генерира допълнително електричество.

Недостатък на системата е относително трудното ѝ миниатюризиране.

Очевидно, е че максимален коефициент на полезно действие на системата ще се получи, когато собствената честота на пиезоелектричната система с неподвижния магнит, съвпадне с честотата на осцилациите на подвижния магнит.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Публикацията е финансирана със средства на НИС ТУ-София, договор No 152ПД0012-05 от програмата за подпомагане на докторанти.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Sun L., Huang W.M., Ding Z., Zhao Y., Wang C.C., Purnawali H., Tang C., Stimulus-responsive shape memory materials: A review, *Materials and Design* 33, 2012, pp. 577–640.
2. Тодоров Г., Тодоров Т., Ръководство за лабораторни упражнения по технология, конструиране и приложение на MEMS, ТУ-София, 2011.
3. Zakharov D, Lebedev G, Cugat O, Delamare J, Viala B, Lafont T, Gimeno L., Shelyakov A., Thermal energy conversion by coupled shape memory and piezoelectric effects, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 2012, 7pp.
4. Zakharov D., Gusarov B., Gusarova E., Viala B, Cugat O, Delamare J., Gimeno L. Combined Pyroelectric, Piezoelectric and Shape Memory Effects for Thermal Energy Harvesting, *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 476, 2013.
5. Lebedev G, Gusarov B V, J, Viala, Delamare J, , Cugat O, , Lafont T, Zakharov D, Thermal energy harvesting using shape memory/piezoelectric composites, *Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference (Transducers)*, 2011, pp. 669 – 670.
6. Avirovik D., Kishore R. A., Dushan V., Shashank Priya S., Miniature Shape Memory Alloy Heat Engine for Powering Wireless Sensor Nodes, *Energy Harvesting and Systems*, Vol. 2(1-2), 2014, pp. 13–18.

#### КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

проф. д-р Тодор Тодоров  
ТУ-София, България  
tst@tu-sofia.bg

доц. д-р Румен Николов  
ТУ-София, България,  
rnick@tu-sofia.bg

докторант инж. Янко Ралев  
ТУ-София, България  
yr@tu-sofia.bg