

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА УЛТРАЗВУКОВИ МИКРО-ГЕНЕРАТОРИ НА ЕНЕРГИЯ

Райчо ЙОСИФОВ¹ Тодор ТОДОРОВ², Цветан КАЧАМАЧКОВ³

¹катедра „Теория на механизмите и машините”, Технически университет - София, България

e-mail: rjj@abv.bg

²катедра „Теория на механизмите и машините”, Технически университет - София, България

e-mail: tst@tu-sofia.bg

³Машинно-технологичен факултет, Технически университет - София, България

e-mail: tst@tu-sofia.bg

Резюме: В статията се разглеждат тенденциите при използване на ултразвукови пиезоелектрични микро електромеханични системи (МЕМС) за генериране на електроенергия. Подобни системи намират приложение предимно в медицината като средство за комуникация и безжичен пренос на електрическа енергия. Описани са предимствата на тази технология пред съществуващите и използвани към момента методи. Предложени са и анализирани базови схеми на ултразвукови микро-генератори на енергия (УМГ).

Ключови думи: ултразвук, микро-генератор на енергия, МЕМС, пиезоелектричество.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Ултразвукът е звук с честота, по-голяма от горната граница на човешкия слух, около 20 килохерца. Някои животни като кучета (до 45 kHz), делфини (до 150 kHz) и прилепи (до 110 kHz) имат по-висока граница от тази на човешкото ухо и могат да чуват ултразвук. Типичните диагностични ултразвукови скенери, използвани в медицината работят в честотния диапазон от 2 до 13 мегахерца. По-мощни ултразвукови източници могат да затоплят локално определени тъкани и това намира приложение във физиотерапията и лечението на рака. Фокусирани ултразвукови източници могат да бъдат използвани за разбиване на камъни в бъбреците или за лекуване на перде на окото [14].

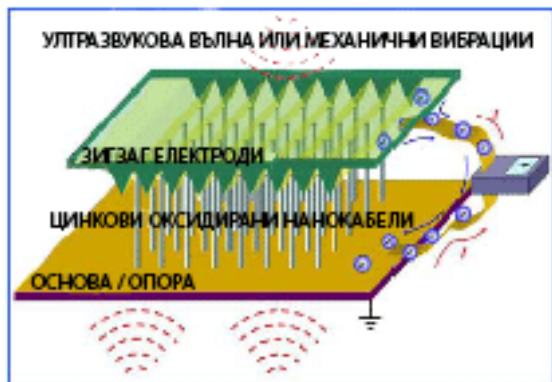
През последните десетилетия пиезоелектричните микро-генератори на енергия представляват сериозен интерес за съвременната наука. Най-голям брой научни изследвания се правят за нискочестотни микрогенератори (работна честота около 150 Hz), които улавят заобикалящите ги вибрации и генерират електричество. По-малък, но нарастващ интерес се забелязва при ултразвуковите МЕМС. Основното им приложение е в медицината като начин за безжично зареждане и комуникация с различни устройства имплантирани в човешкото тяло. В миналото са направени множество

технологични открития в тази насока, но остават доста нерешени задачи. Основните ограничения в съвременните технологии са размери, висока консумация на енергия и неефективна комуникация. От друга страна ултразвукът няма доказано вредно влияние върху човешкото тяло и се използва за други цели десетилетия наред. Освен това ултразвукът не пречи на нормалното функциониране на други апарати [15].

В медицината често се налага измерване на различни жизнени показатели като например съдържанието на кръвна захар, кръвното налягане и сърдечната честота на пациенти в дългосрочен план. В много случаи пациентите са "закачени" за няколко машини, за да се наблюдават тези показатели. По-добър подход ще бъде да се събират и организират данните и безжично да се изпращат на система за мониторинг. Въпреки че съществуват различни радиочестотни комуникационни методи, като например Bluetooth и ZigBee, те консумират значително количество енергия. Обикновено Клас 2 Bluetooth устройство консумира 2,5 mW в интервала от десет метра и Class 3 устройство консумира 1 mW в рамките на 1 метър [6]. Тази консумация е подобна за Zigbee устройство. Радиочестотните комуникации също имат недостатъци по

отношение на здравето. Те излъчват високо честотна радиация, която може да проникне през кожата и имат неблагоприятни последици за здравето [7]. Тъй като трансферната скорост на данните, необходими за наблюдение на посочените по-горе жизнено показатели е ниска (обикновено няколко Kpbs), комуникация чрез ултразвук би могло да бъде алтернативен подход към традиционните радиочестотни методи.

Ултразвуковите микро-генератори на енергия (УМГ) са микро-електромеханични системи (MEMS), които преобразуват ултразвукови вълни в електрическа енергия. Публикувани са няколко модела на микро и нано ултразвукови генератори на енергия. Зонг Линг Уанг изледва иновативен ултразвуков нано-генератор състоящ се от масив от пиезоелектрични (ZnO) нановлакна и зигзагообразен електрод [12]. Иновативният дизайн на този нано-генератор разчита на уникалната връзка между пиезоелектричните и полупроводникови свойства на нановлакната.

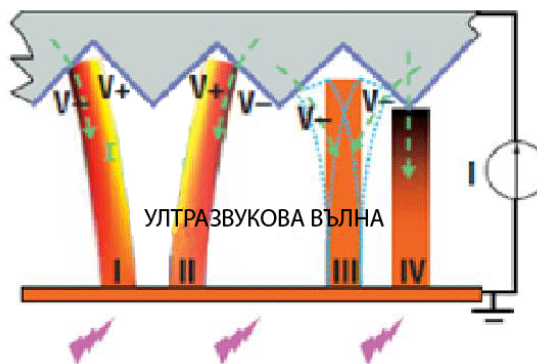


Фиг. 1 Ултразвуков нано-генератор с масив от пиезоелектрични (ZnO) нановлакна и зигзагообразен електрод [12]

Асиметричният пиезоелектричен потенциал между върха на нановлакната, както и шотки контактът между електрода и влакната, са в основата на принципа на действие. Когато върху електрода се приложи външно усилие (ултразвукова

вълна), той се движи и съответно предава движението си на нановлакната. Това води до извиване и пораждаване на вътрешно напрежение във влакната. При контакт между електрода и влакната се генерира електричен заряд (фиг. 1) [13].

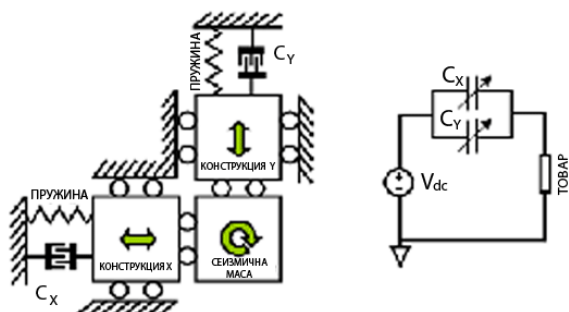
Предимството тук е, че електрическа енергия се генерира независимо от посоката на движение. Максималната мощност на този генератор достига $10 \mu W / cm^2$ и авторите смятат, че оптимизиране на 3D конфигурацията може да я повиши [13].



Фиг. 2. Схематична илюстрация на контакта между нановлакната и електрода [13]

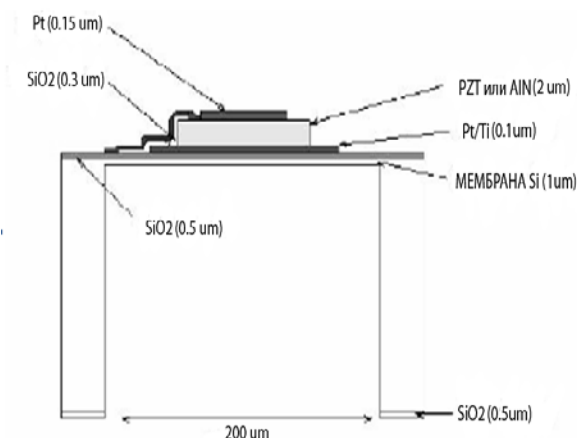
Йонг Зу и колектив представят ултразвуков MEMS микро-генератор на енергия с две степени на свобода. Устройството може да улавя вибрации в произволни посоки и е с широк честотен диапазон на работа [10]. Освен това се разглежда и възможността за безжично захранване на импланти в човешкото тяло. Фигура 3.а) показва принципната схема на действие. Елементите X и Y и сеизмичната маса са свързани помежду си чрез еластични връзки. Сеизмичната маса се движи за да абсорбира външните вибрации във всяка посока. Електростатични променливи гребеновидни кондензатори, биват задвижвани по оси X и Y, при което се генерира електрическа енергия. Фигура 3.б) показва еквивалентната електрическа схема на микрогенератора.

Експериментално е постигната 0.1 nW генерирана мощност.



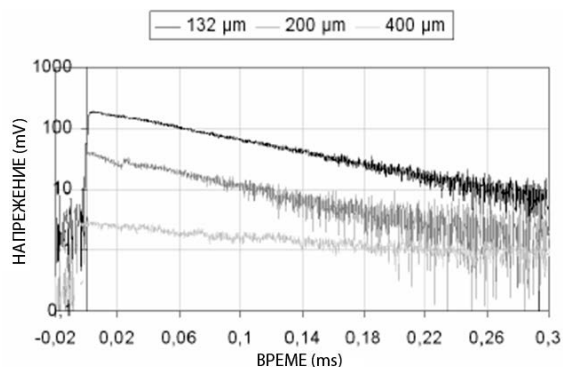
Фиг. 3. Ултразвуков MEMS генератор на енергия с две степени на свобода [10]

Бруно Кавалиер и колектив докладват изработката на PZT/Si пиезоелектричен ултразвуков микро-преобразувател.



Фиг. 4. PZT/Si пиезоелектричен ултразвуков микро-преобразувател на енергия [5]

Първоначалната им идея е да се използва за ултразвуково наблюдение, но осъзнават, че устройството им е подходящо и за преобразуване на механична в електрическа енергия. Устройството им може да се види схематично на фиг. 4 [5]. Изработени са и са тествани няколко модела с различни размери на мембраната. Фиг. 5 е графика на получените резултати. Товарът е 1 MΩ.

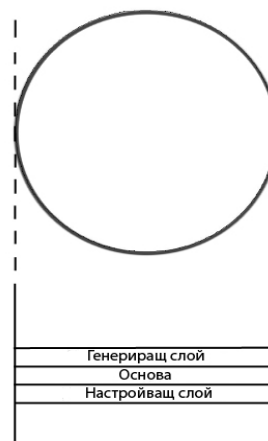


Фиг. 5 Експериментални резултати от изследване на PZT/Si пиезоелектричен ултразвуков микрогенератор на енергия [5]

2. ИЗПОЛЗВАНИ СХЕМИ И ТЕХНИКИ ПРИ УМГ

2.1. Двуслоен (биморфен) настройващ се ултразвуков микрогенератор на енергия тип диафрагма.

Основното условие за получаване на максимална мощност при пиезоелектричните генератори на енергия е резонансната честота на системата да бъде максимално близка до тази на постъпващите вибрации. Тъй като е трудно да се предвиди честотата на вибрациите и тя варира според множество други фактори, се налага създаването на генератори с настройваща се резонансна честота.



Фиг. 6 Базова схема на двуслоен(биморфен) настройващ се ултразвуков микрогенератор на енергия тип диафрагма

Съществуват много начини за настройване един, от които е наслагване на два слоя пиезоелектричен материал, като единия се използва за генериране на енергия, а другия за настройване – промяна собствената честота на системата възможно най-близка до тази на външните вибрации [8]. От друга страна диафрагмените структури имат сериозен потенциал да бъдат използвани за ултразвукови преобразуватели [11]. На фиг. 6 е показана базова схема на двуслоен (биморфен) настройващ се ултразвуков микрогенератор на енергия тип диафрагма.

Дейвид Чарнеги [2] показва подобен модел за настройване на нискочестотен двуслоен микрогенератор тип конзолна гредка със съсредоточена маса на свободния край. Разглежда два варианта – само единият или и двата пиезоелектрични слоя се използват за настройка. По-добър резултат дава вторият вариант, което го прави предпочитан (фиг. 7).



Фиг. 7 Настройваща се система използваща двата пиезоелектрични слоя за настройка

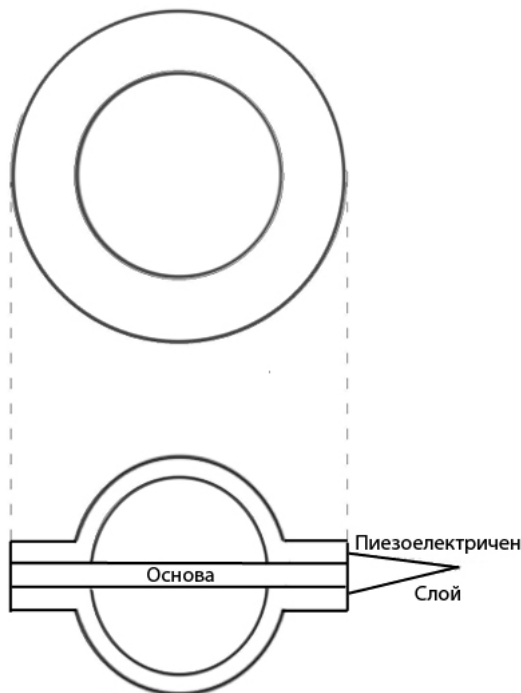
Коефициентът на еластичност на пиезоелектричния слой е обратнопропорционален на капацитета на паралелната верига на системата. Респективно това позволява настройване на резонансната честота на системата чрез промяна капацитета на паралелната верига.

За да се увеличи реалната производителност на системата е нужно параметрите в паралелната верига да се променят в реално време, така че да настройват собствената честота на системата според честотата на външните вибрации. Един от начините да се направи това е използвайки параметрите от изходната мощност на системата [1]. Налага се определянето на т. нар. функция на

производителността. Доста изследвания са правени в тази насока [1], изучавани са няколко различни подхода, но без задоволителен краен резултат. По-просто решение би могло да бъде определянето на предварително зададени коефициенти на зависимост на база практически опити.

2.2. Двуслоен (биморфен) ултразвуков микрогенератор на енергия тип купол.

Важно предимство за ултразвуковите микрогенератори на енергия е улавянето на вибрации (ултразвукови вълни) в произволни посоки (под различен ъгъл). Подобно на Уанг [9] е възможно да се моделира УМГ, който да генерира енергия от ултразвукови вълни, приложени в произволна посока както е показано на фиг. 8. Използват се два пиезоелектрични слоя тип купол като куполите на двата слоя са в противоположна посока.



Фиг. 8. Двуслоен (биморфен) ултразвуков микрогенератор на енергия тип купол

Подобен вид структури (куполовидни) се характеризират с по-добро електромеханично взаимодействие [4]. Предвид триизмерното

естество на тази конфигурация се очаква усвояване на широк спектър произволно насочени ултразвукови вълни. Основен недостатък при този вид пиезоелектрични преобразуватели е сравнително високият коефициент на еластичност [3], което ги прави по-подходящи за източници на звук.

3. СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ

Недостатък на първата предложена схема е, че не може да усвоява вълни по всички направления. Предимство е възможността за настройване собствената честота на системата. Това е много важно и трудно постижимо качество при пиезоелектричните МЕМС за добив на енергия, защото осигурява значително по-голяма изходна мощност на системата. До голяма степен това минимизира горепосочения недостатък при този вариант на УМГ.

Двойната куполовидна структура при втората предложена схема предполага, че системата ще улавя вълни от всички посоки. Това е важно предимство, защото не винаги е възможно да се предвиди положението на системата. За съжаление при тази конфигурация се появява сериозен недостатък, а именно високият коефициент на еластичност, което не е желателно за такива устройства. Освен това ефективността при усвояване на вълни по третото направление се очаква да бъде твърде ниска.

Предвид гореописаните предимства и недостатъци на предложените базови схеми, смятаме че двуслойният (биморфен) настройващ се ултразвуков микрогенератор на енергия тип диафрагма би бил по-удачен вариант за бъдещо изследване и моделиране.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ултразвуковите пиезоелектрични МЕМС се доказват като перспективна технология за диагностициране и лечение в съвременната медицина. Доказателство за това е нарастващият интерес в научните среди, както и мащабните проучвания на множество научни организации, финансирани от Европейската комисия [15]. Предимствата на тази технология са ефективната комуникация, ниската

консумация на енергия и възможността за безжично зареждане на имплантирани в човешкото тяло устройства.

БЛАГОДАРНОСТИ

Научните следвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2012.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Fleming A. J., Moheimani S. O. R.**, Adaptive piezoelectric shunt damping. *Smart Mater. Struct.* Vol. **12** 2003, pp. 36–48.
2. **Charnegie D.** Frequency tuning concepts for piezoelectric cantilever beams and plates for energy harvesting, MSc Dissertation School of Engineering, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, 2007.
3. **Han C., Kim E. S.**, Simulation of Piezoelectric Dome-Shaped Diaphragm Acoustic Transducers, *Journal of semiconductor technology and science*, 2005.Vo 1.5, No.1.,pp. 17-23
4. **Peng J., Chao C., Tang H.**, Piezoelectric micromachined ultrasonic transducer based on dome-shaped piezoelectric single layer, 2010, Vol. 16, Issue 10, pp.1771-1775.
5. **Dogheche K., Cavallier B., Delobelle P., Hirsinger L., Ballandras S., Cattan E., Rèmesiens D., Marzencki M., Charlot B., Basrour S.**, Piezoelectric Micro-machined Ultrasonic Transducer (pMUT) for Energy harvesting, *Ultrasonics Symposium*, 18-21 Sept., Rotterdam : Pays-Bas (2005).
6. **Liscano, Ramiro.** Introduction to Bluetooth Networking, 2011. p. 8.
7. **OSHA.** Radiofrequency and Microwave Radiation. . 2009. p. 2.
8. **Kazmierski T. J. Beeby S.**, Energy Harvesting System,. Springer, , 2011, p.52.
9. **Wang1 X., Gao1 Y., Wei1 Y., Wang1 Z. L.** ,Output of an Ultrasonic Wave-Driven Nanogenerator in a Confined Tube. *Nano Research. OnPage* Volume 2, Number 3, pp.177-182. 2009.
10. **Zhu Y., Moheimani S. O. R., Yuce M. R.**, A 2-DOF Wideband Electrostatic Transducer for Energy Harvesting and Implantable Applications. *Sensors*, 2009 IEEE, pp. 1542 – 1545.
11. **Zhiyuan Shen, Mohamad Olfatnia, Jianmin Miao, and Zhihong Wang.** Displacement and resonance behaviors of a piezoelectric diaphragm driven by a double-sided spiral electrode, *Smart materials and structures*, 21, 2012, 055001.

12. **Zhong Lin Wang**, Top emerging technologies for self-powered nanosystems, nanogenerators and nanopiezotronics. Nanoelectronics Conference (INEC), 2010 3rd International. 2010. Volume-One, Page: 63.
13. **Zhong L. W., Wang X., Song J., Liu J., Gao Y.**, Piezoelectric Nanogenerators for Self-Powered Nanodevices. pervasive computing, Vol. 7, No. 1, 2008. pp. 49-55.
14. <http://bg.wikipedia.org/wiki/Ултразвук> . Посетен на 31.10.12 г.
15. <http://www.ultrasponder.org/> . Посетен на 18.09.2012г.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ULTRASONIC MICRO ENERGY HARVESTERS

Raycho YOSIFOV¹ Todor TODOROV² Tsvetan KACHAMACHKOV³

¹Ph.D Student Department „Theory of Mechanisms and Machines”, Technical University - Sofia, Bulgaria
e-mail: rjj@abv.bg

² Department „Theory of Mechanisms and Machines”, Technical University - Sofia, Bulgaria
e-mail: tst@tu-sofia.bg

³MSc student Faculty of Industrial Technology, Technical University - Sofia, Bulgaria
e-mail: tst@tu-sofia.bg

Abstract: This paper examines trends in the use of ultrasonic piezoelectric MEMS for energy harvesting. Similar systems are used primarily in medicine as a tool for communication and wireless transmission of electricity. The advantages of this technology over the existing and currently used methods are described. In this paper there is a proposed and analyzed basic schemes of ultrasonic micro energy harvesters.

Keywords: ultrasound, micro energy harvester, MEMS, piezoelectricity
