

**ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧЕН МОДЕЛ НА СЕНЗОР ЗА ВЛАЖНОСТ НА
ОСНОВАТА НА ПИЕЗОТРАНСФОРМАТОР С НАНЕСЕН СЛОЙ
ВЛАГОАДСОРБИРАЩО ПОКРИТИЕ****Недю Недев***Технически университет Габрово, Хаджи Димитър 4, Габрово, България***кореспондиращ автор: nnedev@tugab.bg***ELECTROMECHANICAL MODEL OF A HUMIDITY SENSOR BASED
ON A PIEZO TRANSFORMER WITH AN APPLIED
MOISTUREABSORBING COATING****Nedyu Nedev¹***Technical university Gabrovo, Hadji Dimitar 4 str., Gabrovo, Bulgaria***Corresponding author: nnedev@tugab.bg***Abstract**

Humidity sensors find applications in various fields of human activity. Their operation is based on different physical phenomena, with one approach being based on surface acoustic waves. This report presents an electromechanical model of a humidity sensor developed on the basis of a piezo transformer with an applied moisture-absorbing coating. A relationship for the sensor's conversion coefficient has been obtained. Comparative results from experimental studies and theoretical calculations are presented, showing the influence of the supply voltage frequency and relative humidity on the sensor's conversion coefficient.

Keywords: piezo transformer; electromechanical model; humidity sensor

ВЪВЕДЕНИЕ

Измерването и контрол на влажност на различни материали е наложително в редица производства, земеделието, медицината и др. области на човешката дейност.

За целта се използват сензори работещи на основата на различни физични явления.

Едно от направленията, в които се работи е разработването на сензори за влажност е на базата на повърхностни акустични вълни (ПАВ).

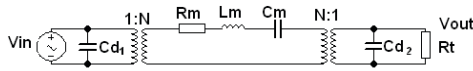
Повърхностните акустични вълни (ПАВ), са механични трептения, създадени под действието на пиезоефекта [1-3]. Тези вълни се разпространяват в близост до повърхността на пиезоеlement като затихват във вътрешността му. За

използване на сензорите на основата на ПАВ като сензори за влажност, към тях се добавя слой от влагочувствително вещество - най-често това са полимерни материали [4-8].

В настоящия доклад се представя електромеханичен модел на сензор за влажност на основата на пиезо трансформатор с нанесен влагоадсорбиращ слой.

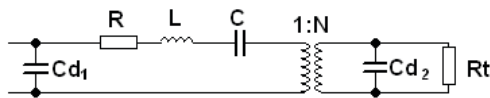
ИЗЛОЖЕНИЕ

Като електромеханична система, пиезотрансформаторът може да се представи с еквивалентна заместваща схема. Съгласно [9] заместващата схема има вида, показан на фиг. 1.



Фиг.1. Еквивалентна заместваща схема на пиезотрансформатор

В тази схема посредством електрически елементи се представят механичните свойства на ПТ като се използва електромеханичната аналогия. Елементът R_m представя загубите, L_m - масата и C_m - еластичността на ПТ. Cd_1 и Cd_2 са статични капацитети на възбудителната и генераторната секция. С N е означен еквивалентният електромеханичен коефициент на трансформация. За улесняване работата по пресмятане на параметрите на ПТ се използва опростена заместваща схема [9-13], представена на фиг. 2.



Фиг.2 Опростена заместваща схема на ПТ

Веригата е изградена от последователен RLC-контур. Този контур описва механичните трептения, разпространяващи се в ПТ. Входният и изходният капацитети Cd_1 и Cd_2 представят изолационните свойства на ПТ. Стойностите на елементите в схемата могат да бъдат пресметнати като се използват следните зависимости [10-12]:

$$Cd_1 = \frac{\pi * (D-d-b)^2 * \epsilon_{33}^T * \left(1 - \frac{d_{31}^2}{\epsilon_{33}^T * S_{11}^E}\right)}{4 * t}, \quad (1)$$

$$Cd_2 = \frac{\pi * (d-b)^2 * \epsilon_{33}^T * \left(1 - \frac{d_{31}^2}{\epsilon_{33}^T * S_{11}^E}\right)}{4 * t}, \quad (2)$$

$$R = \frac{\sqrt{2 * \rho * S_{11}^E * t}}{16 * r * Q_m * d_{21}^2}, \quad (3)$$

$$L = \frac{\rho * S_{11}^E * t}{8 * \pi * d_{21}^2}, \quad (4)$$

$$C = \frac{16 * r^2 * d_{31}^2}{\pi * S_{11}^E * t}, \quad (5)$$

където t е дебелината на пиезотрансформатора; ρ - плътността на материала, от който е изготвен пиезотрансформаторът; d_{31} - пиезоелектрическата константа; ϵ_{33}^T - диелектричната константа на материала; Q_m - механичен качествен фактор; S_{11}^E - константата на еластичност; D , d и b - параметри на ПТ.

Като са използвани зависимостите (1) - (5) са пресметнати параметрите на електрическите компоненти, участващи в опростената заместваща схема на дисков пиезотрансформатор, изготвен от пиезокерамика SPZT-8, с диаметър $D=30\text{mm}$ и дебелина $t=2.5\text{mm}$.

Коефициентът на преобразуване на ПТ се представя със следната зависимост [13]:

$$G_v = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{C_{d2}}{C} - \omega L C_{d2} + \frac{R}{R_t}\right)^2 + \left(\omega \left(R C_{d2} + \frac{L}{R_t}\right) - \frac{1}{\omega C R_t}\right)^2}} \quad (6)$$

където ω е ъгловата честота, а R_t е съпротивлението на товара, включен към ПТ.

Като сензорен елемент за измерване на влажност ПТ ще изменя своята маса вследствие на добавянето на масата на адсорбираните от сорбционния слой водни молекули. Допълнително внесена маса ще се прояви като нова последователно включена индуктивност L_i в заместващата схема на ПТ. Индуктивността на заместващата схема на сензорния елемент ще се получи като сума от L и L_i :

$$L_s = L + L_i \quad (7)$$

На базата на експерименталните данни, получени при изследване на реалните пиезотрансформаторни сензори за влажност, е синтезиран моделът на изменение на L_i при изменение на относителната влажност:

$$L_i = \frac{L}{-0.0103(RH)^2 + 0.2824(RH) + 85.22} \quad (8)$$

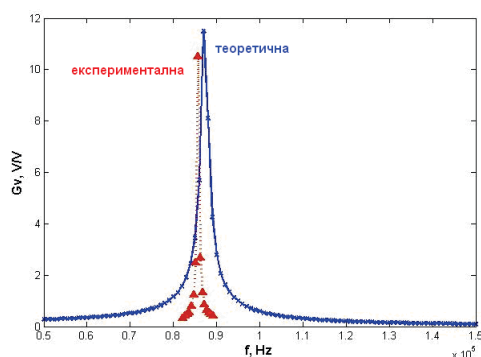
където влажността RH се задава в относителни единици.

След заместване на (7) в (6) се получава зависимостта за коефициента на преобразуване на пиезотрансформаторния сензорен елемент за влажност:

$$G_{vs} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{C_{d2}}{C} - \omega L_s C_{d2}\right)^2 + \left(\omega \left(RC_{d2} + \frac{L_s}{R_t}\right) - \frac{1}{\omega C R_t}\right)^2}} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{C_{d2}}{C} - \omega(L + L_i)C_{d2}\right)^2 + \left(\omega \left(RC_{d2} + \frac{(L + L_i)}{R_t}\right) - \frac{1}{\omega C R_t}\right)^2}} \quad (9)$$

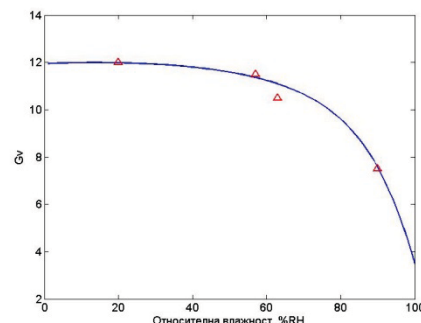
Като са използвани стойностите на константите на пиезокерамиката, зададени от производителя, в среда MATLAB е извършена симулация за определяне на зависимостта на G_{vs} от честотата и от относителната влажност. На фиг. 3 са представени теоретично изчислената графична зависимост на изменение на коефициента на преобразуване при изменение на честотата на възбуждане на ПТ и получената зависимост от експерименталните изследвания.



Фиг.3 Изменение на коефициента на преобразуване при изменение на честотата на възбуждане на ПТ

Тъй като пиезотрансформаторът работи най-ефективно в резонансен режим, то и коефициентът на преобразуване на сензорния елемент е най-висок при резонансен режим, което се потвърждава от направените изчисления. Увеличаването на влажността води до промяна на параметъра L_i . При задаване на резонансната честота на работа теоретично е определен коефициентът на преобразуване при изменение на влажността на

околната среда. Получената графична зависимост, както и точки от експерименталната характеристика са представени на фиг.4



Фиг.4. Теоретично определен коефициент на преобразуване на ПТ сензорен елемент и точки от експерименталните изследвания при изменение на относителната влажност

От получените резултати се установява, че допълнително внесена маса в резултат на адсорбцията на водни молекули от сензорния елемент променя еквивалентната индуктивност в заместващата му схема, което води до намаляване на коефициента на преобразуване.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработен е електромеханичен модел на сензорен елемент за влажност на основата на пиезотрансформатор с нанесен слой влагоадсорбиращо вещество.

Получена е зависимостта за коефициента на преобразуване на сензорния елемент,

Като са използвани стойности на константите на използваната пиезокерамика е извършена симулация за определяне на зависимостта на изменение на коефициента на преобразуване на сензорния елемент от честотата и относителната влажност.

Резултатите показват, че допълнително внесена маса в резултат на адсорбцията на водни молекули от сензорния елемент променя еквивалентната индуктивност в заместващата му схема, което води до намаляване на коефициента на преобразуване.

Благодарности: Това изследване е финансирано от Европейския фонд за регионално развитие в рамките на ОП „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., Проект BG16RFPR002-1.014-0005 Център за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Djekson R.G., Novejshie datchiki, Moskva: Tehnosfera, 2007.- pp.384 ISBN 978-5-94836-111-6.
- [2] Hribšek M.F., D. V. Tošić, M.R. Radosavljević, Surface Acoustic Wave Sensors in Mechanical Engineering, FME Transactions 2010;38(1):11-18
- [3] Bill Drafts, Acoustic Wave Technology Sensors, Ieee Transactions On Microwave Theory And Techniques 2001;49(4): 795-802.
- [4] Buvailo A., Y.Xing, J.Hines, E.Borguet, Thin polymer film based rapid surface acoustic wave humidity sensors, Sensors and Actuators B 2011; 156: 444-449, doi:10.1016/j.snb.2011.04.080.
- [5] Wen Wang, Xiao Xie, Shitang He, Optimal Design of a Polyaniline-Coated Surface Acoustic Wave Based Humidity Sensor, Sensors 2013; 13: 16816-16828; doi:10.3390/s131216816.
- [6] R. Rimeika1, Rotomskis R., Poderys V., Čiplys D., Sereika A., Shur M. S., Impact of ambient humidity on surface acoustic wave attenuation and velocity in hematoporphyrin – on - LiNbO3 structure, ULTRAGARSAS (ULTRASOUND) 2008; 63(3), ISSN 1392-2114.
- [7] Yawen Dou, Cuiping Li, Wensen Luo, Lirong Qian, Litian Wang, Dan Li, Hongji Li, Mingji Li, Surface acoustic wave relative humidity sensor based on GO/TiO2 sensitive film, Sensors and Actuators A: Physical 2024; 365:114906, ISSN 0924-4247, <https://doi.org/10.1016/j.sna.2023.114906>.
- [8] Yunpeng Su, Cuiping Li, Mingji Li, Hongji Li, Sheng Xu, Lirong Qian, Baohe Yang, Surface acoustic wave humidity sensor based on three-dimensional architecture graphene/PVA/SiO2 and its application for respiration monitoring, Sensors and Actuators B: Chemical 2020; 308: 127693, ISSN 0925-4005, <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.127693>
- [9] Kuo-Tsai Chang, Hsuang-Chang Chiang, Kuo-Sheng Lyu, Effects of electrode layouts on voltage gain characteristics for ring-shaped piezoelectric transformers, Sensors and Actuators 2008; A 141:166-172
- [10] Baker E.M, W.Huang, D.Chein, F.Lee, Radial mode piezoelectric transformer design for fluorescent lamp ballast applications, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS 2005;20 (N5): 1213-1220.
- [11] A.Sherif A., M.Meddad, S.Belkhiat, Radial piezoelectric transformer study, IJ-STA 2008 Special Issue, CEM:566-579.
- [12] Peerasaksophol M., S.Srilomsak, P.Laoratanakul, T.Kulworawanichpong, Ring-dot piezo-electric ballast for 36 W fluorescent lamp, ICAEE 2011, p.169-173.
- [13] Laoratanakul P. Characteristics of radial-mode piezoelectric transformers, Materials Forum 2007;31:152-155.