

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЪРХУ ЕЛЕКТРИЧЕСКОТО СЪПРОТИВЛЕНИЕ НА ПРОВОДИМИ КОНЦИ С ПРИЛОЖЕНИЕ ЗА СМАРТ ТЕКСТИЛ

Даниела СОФРОНОВА, Радостина А. АНГЕЛОВА

Катедра "Текстилна техника",
Технически университет - София, София 1000, България
e-mail:dcholeva@tu-sofia.bg; radost@tu-sofia.bg

РЕЗЮМЕ

Световна тенденция днес е разработването на интелигентни устройства. В областта на проектирането и изграждането на текстилни продукти, интелигентни устройства са тези с вградени електронни компоненти с основно приложение в областта на медицината. Основният параметър на проводника е електрическото съпротивление, което зависи от вида на материала. При носене основният проблем е опъването на тъканта, което означава, че проводникът е под напрежение.

Основната цел на настоящата статия е да се измери електрическото съпротивление на два вида проводящи конци при различни товари, достигайки границата на крайната якост. Това ще даде ценна информация на дизайнерите на интелигентен текстил при изчисляването на електронните схеми и консумацията на енергия.

Ключови думи: смарт текстил, проводими конци, електрическа проводимост

A STUDY ON ELECTRICAL RESISTANCE OF CONDUCTIVE THREADS WITH APPLICATIONS FOR SMART TEXTILES

Daniela SOFRONOVA, Radostina A. ANGELOVA

Textile Department, Technical University of Sofia, Sofia 1000, Bulgaria
e-mail:dcholeva@tu-sofia.bg; radost@tu-sofia.bg

ABSTRACT

Nowadays the worldwide trend is developing of smart devices. In the area of the design and construction of textile products smart devices are those with embedded electronic components with primarily application in the field of medicine. The basic parameter of the conductor is the electrical resistance, which depends on the type of material. Especially in the wears main issue is the stretching of the fabric, which means that the conductor will be under stress condition.

The main goal of present article is to measure the electrical resistance of two type of conductive thread under various loads, reaching the limit of ultimate strength. This will give valuable information to smart textile's designers in calculation of electronic circuits and energy consumption.

Keywords: smart textile, conductive threads, electrical resistance

1. УВОД

Областта на приложение на нишките с проводими свойства днес е голяма. Използват се във военната индустрия, аеронавтиката, авиацията, медицината, текстила, транспорта и служат за: разсейване на статичното електричество, електромагнитно екраниране, захранване и предаване на данни и сигнали, отопление, създаване на интелигентни текстилни изделия [Anand et al. 2010, Baraff 2000]. В сравнение с традиционните проводници те притежават добра гъвкавост, ниско тегло, но в същото време имат голяма здравина, дълготрайност при определени условия и възможност да бъдат имплементирани в текстилни структури посредством различни методи - предене, пресукване, усукване, тъкане, плетене, шиене, бродирание [Elsner 2010]. Вече могат да бъдат посочени много примери за разработени продукти с вградени проводими нишки: облекло за фехтовка за регистриране на удари, облекло или аксесоари с отопляващи свойства, ръкавици за работа със смарт телефони и таблети, тениски и якета с LED знаци, шапки или якета за слушане на музика, бебешки бодита за следене на физиологични параметри на бебетата като температура, пулс, влажност и др., облекло за следене на местоположението на възрастни хора или деца с психични увреждания, превръзки за контрол на зарастването на рани и др. [Garcia-Souto et. al. 2018, Linz et al. 2007, Liua 2016].

Целта на настоящата статия е да се направи обзор на видовете проводими нишки, в т.ч. и шевни конци, както и да се определи експериментално електрическото съпротивление на два вида проводящи конци. За разлика от наличните в литературата измервания на съпротивлението на проводими влакна и нишки, в настоящата разработка се извършва модификация на метода чрез поставяне на тежест в края на пробата. Това позволява определяне на съпротивлението при различни товари, съответстващи на реални производствени и експлоатационни условия, до достигане на границата на крайната якост и оценка на влиянието на силата на опън върху проводимостта. Получените резултати дават ценна информация на дизайнерите на интелигентен текстил при изчисляването на електронните схеми и консумацията на енергия.

2. ВИДОВЕ ПРОВОДИМИ НИШКИ И КОНЦИ

Проводимите нишки са изградени от чисто метални нишки или в смес с текстилни нишки или влакна. За да се получи нишка с добри проводими свойства, е важно да се избере подходящо съотношение и начин на прекръстосване на проводимата нишка с непроводимата. Съществуват два основни метода за производство на проводими нишки - чрез предене и пресукване. Процесът на предене може да се извършва само с проводими влакна, както и със смеси от проводими и непроводими влакна. Освен това преденето може да бъде с образуване на сърцевина, която от своя страна е провидима или непровидима, около която се усукват нишки от другия вид. При втория метод проводимата нишка се пресуква с непроводимата. Обикновено проводимите текстилни нишки се образуват чрез нанасяне на покритие от метални частици, галванични субстанции или метални соли. Най-често процесът на нанасяне на покритието се извършва с електролитно нанасяне, с отлагане чрез изпарение, прахово покритие и покриване с проводим полимер.

В **Таблица 1** са представени основните методи за получаването им и са дадени примери, а няколко вида проводими нишки и техните свойства са подробно описани в [5].

Проводимите нишки, предназначени за шиене или машинно бродирание, са разпределени в две основни групи:

- *Нишка, изградена само от проводими влакна.* В тази група се включват металните жици, въглеродните нанотръби, графитни влакна, проводими полимерни влакна. Най-често срещаните се нишки са тези, получени от неръждаеми стоманени влакна, отличаващи се с много ниско съпротивление (в рамките на няколко $\Omega.m$). Недостатък на този вид нишка е тяхна крехкост.

Непровидима или малко проводима сърцевина покрита с провидим елемент. Като проводник могат да се използват въглерод, никел, мед, злато, сребро или титан. При този вид нишки обикновено се използват памучни, полиестерни или полиамидни прежди. Тяхното съпротивление варира според вида на метала (най-често сребро) и дебелината на покриващия слой. Проводимият конец обикновено не е изолиран и се предлага с различни покрития и брой на слоевете. Може да се използва като метална жица за пренос на електрически ток за много приложения.

Таблица 1

Методи за производство на проводими нишки

Метод за производство	Особености		Състав на нишката	Изображение на проводимата нишка
Предене	стандартно предене	смес от проводими и непроводими влакна	смес на метални с текстилни нишки	
		проводими влакна	100% метални нишки	
	сърцевинно предене	усукване на една или няколко метални нишки около текстилна сърцевина	смес на проводима с текстилна нишка	
		усукване на текстилни нишки около тънка метална сърцевина	смес на проводима с текстилна нишка	
Пресукване	проводимата нишка се получава чрез нанасяне на покритие от проводим материал върху текстилна непроводима нишка		смес на проводима с текстилна нишка	

3. ЕЛЕКТРИЧЕСКИ СВОЙСТВА

Електрическите свойства на нишковидни изделия с дължина l се определят чрез измерване на електрическото съпротивление R , изчислено съгласно формулата:

$$R = \frac{l \cdot \rho}{A} = \frac{4 \cdot l \cdot \rho}{\pi \cdot d^2} \quad (1)$$

където: ρ е специфично електрическо съпротивление, $[\Omega \cdot m]$,

A е напречното сечение на нишката, $[m^2]$,

d е номиналният диаметър на влакното, $[mm]$

Специфичното електрическо съпротивление е мярка за това колко силно протича електрически ток. Ако специфичното съпротивление има ниски стойности, то проводникът позволява движението на електрическите заряди. При съпротивление от $0,0171 \Omega \cdot mm^2/m$ медта е един от най-добрите проводници след чистото сребро. Специфичното електрическо съпротивление се изчислява по формулата:

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot R}{4 \cdot l} \quad (2)$$

Масовото специфично съпротивление $R_s, \Omega \cdot kg/m^2$ се определя като съпротивление в омове между краищата на проба с дължина $1 m$ с тегло $1 kg$:

$$R_s = \rho \cdot D \quad (3)$$

където: D е специфичната плътност на материала, $[kg/m^3]$.

Електрическото съпротивление, изразено чрез масовото специфично съпротивление, е:

$$R = R_s \frac{L}{N \cdot Tt} 10^5 \quad (4)$$

където: L е разстоянието между краищата на пробата, $[cm]$; N е броят на краищата на преждата (нишките) или влакната в напречното сечение; Tt е линейната плътност на преждата или влакната, tex .

4. ЕКСПЕРИМЕНТ

4.1. Изследвани проводими конци

Избрани са два вида проводими конци, предназначени за машинно бродирание и шиене. Първият вид е Silver-tech 120 на AMANN GROUP, изграден от пресукана полифилamentна полиестерна нишка и полифилamentна полиамидна нишка с нанесено сребърно покритие. Вторият конец, на SparkFun Electronics, е изработен изцяло от стоманени влакна. В **Таблица 2** са посочени данните за линейната плътност (по информация на производителя) и средната стойност на измерените разрывна здравина и удължение.

Таблица 2

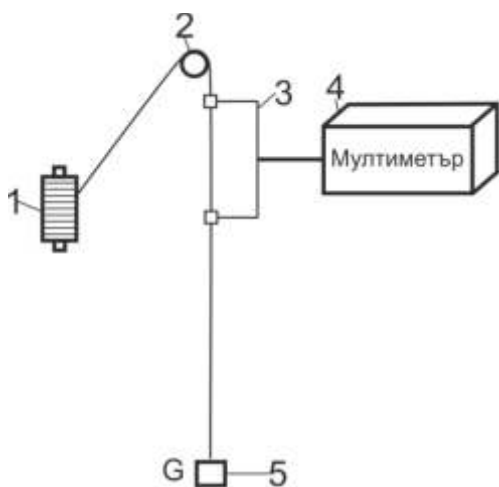
Технически характеристики
на проводимите конци

	Линейна плътност, dtex	Здравина до скъсване, cN	Удължение до скъсване, %
Silver-tech 120	90*3	1260	17
Стоманени неръждаеми vlakна	450*3	1520	8

По данни на производителя електрическото съпротивление на проводимия конец от стоманени vlakна е $60 \Omega.m$, а на втория вид проводим конец е $91,86 \Omega.m$.

4.2. Измерване на електрическото съпротивление

Измерването на електрическото съпротивление на *конеца 1*, отвиван от *бобината 2* се извършва по двуточковия метод посредством дигитален мултиметър *Agilent 34401A* с точност до $0,1\%$. Схема на опитната постановка е показана на *Фигура 1*. Проводени са опити при различна големина на силата на *тежест 5* при променливо разстояние между *клемите 3* на *уреда 4*.



Фигура 1 Схема на опитната постановка

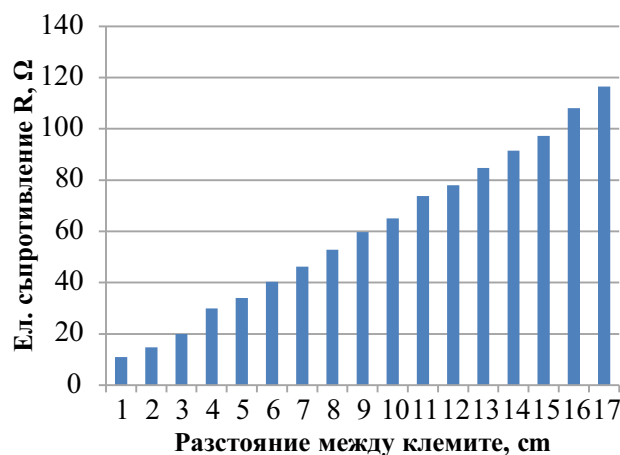
4.3. Условия на изпитване

Изследванията са направени в съответствие със стандарт БДС ISO 139:2005 при температура на въздуха $t = (20 \pm 2)^\circ C$ и относителна влажност на въздуха $\phi = (65 \pm 2)\%$.

4.4. Резултати и анализ

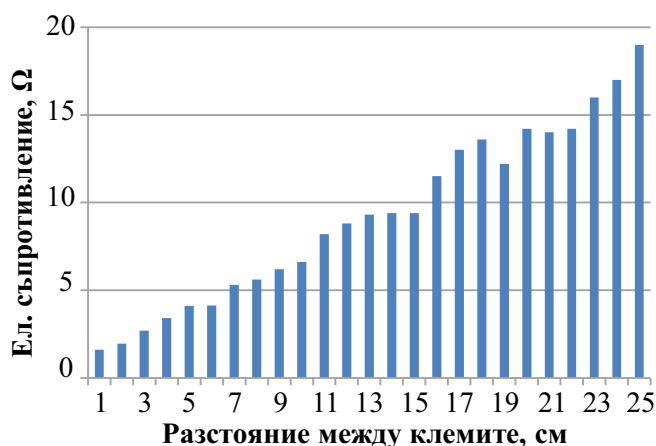
Резултатите от измерване на електрическото съпротивление на проводимата нишка Silver-tech 120 в ненатоварено състояние са показани на *Фигура 2*. С увеличаване на разстоянието между клемите на уреда съпротивлението расте, което показва, че колкото по-дълги

отрязъци от нишката са вградени в текстилното изделие, толкова то е по-ненадеждно, тъй като при по-голямо съпротивление предаването на електрическият сигнал в смарт изделието ще бъде прекъснато. При разстояние 17 см е регистрирано съпротивление 116Ω , което е около два пъти по-голямо от декларираното от производителя.



Фигура 2 Изменение на ел. съпротивление на Silver tech 120 в зависимост от разстоянието между клемите в ненатоварено състояние

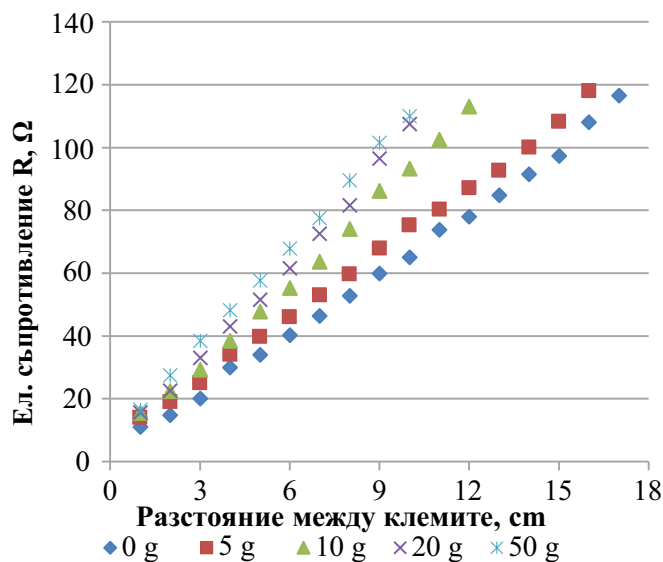
Аналогично, на *Фигура 3* са представени резултатите от измерването на *конеца* от стоманени vlakна. За разлика от другия конец, при него отчетените съпротивления имат значително по-ниски стойности, които се доближават до тези, представени от производителя.



Фигура 3 Изменение на ел. съпротивление на проводима нишка от стоманени vlakна в зависимост от разстоянието между клемите в ненатоварено състояние

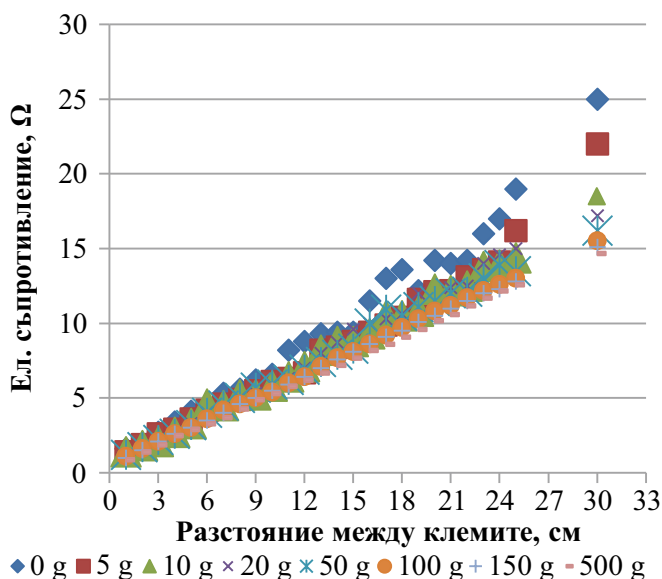
Изменението на електрическото съпротивление на образеца Silver tech 120 като функция от силата на опън върху електропроводимостта на нишките е показано на *Фигура 4*. Забелязва

се, че при прилагане на не много голяма опънова сила (4,9 cN) съпротивлението достига високи стойности при малки разстояния (10 см). Характерът на получените криви не се променя с нарастване на опъновата сила.



Фигура 4 Изменение на ел. съпротивление на Silver tech 120 в зависимост от разстоянието между клемите в напрегнато състояние

По-малко забележим е ефектът на натоварването при стоманения конец - **Фигура 5**. Както се вижда от графиката, съпротивлението расте с увеличаване на разстоянието между клемите, но много по-слабо, отколкото при конца Silver tech 120.



Фигура 5 Изменение на ел. съпротивление на проводима нишка от стоманени влакна в зависимост от разстоянието между клемите в напрегнато състояние

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В изследването е установено, че колкото по-голямо е разстоянието на прошиването и натоварването, толкова повече електричeskото съпротивление на кондуктивната нишка нараства. Изменението има линеен характер.

Ето защо използването на проводими нишки в текстилни изделия за получаване на смарт текстили изисква сериозно предварително проучване на качествата на нишките, изменението на техните свойства в зависимост от дължината на прошиване, натоварването на нишката и поддръжката на смарт изделието.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящата разработка е финансирана по проект с договор №181ПР0009-02 към НИС при Технически университет - София.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Anand, S. C., Kennedy, J. F., Miraftab, M., & Rajendran, S., Medical and healthcare textiles, Elsevier, 2010.
- [2] Baraff LJ., Management of fever without source in infants and children. Ann Emerg Med. December 2000;36, pp. 602-614.
- [3] Elsner, H, Textile technological integration of sensor modules in lightweight composite structures and possible applications, Newsletter of ECAS e. V., 2010, pp. 8-10.
- [4] Garcia-Souto, M., P. Dabnichki, Non-invasive and wearable early fever detection system for young children, Measurement, Volume 1 16, February 2018, pp. 216-229.
- [5] Kathuria, R., S. Shinde et al., Electrical and Electronic Properties of Fibers, The International Journal of Engineering and Science, Vol. 4, Issue 11, pp. 33-44, 2015.
- [6] Linz, T., L. Gourmelon, G. Langereis, Contactless EMG sensors embroidered onto textile, 4th International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, IFMBE, Vol. 13, 2007, pp. 29-34.
- [7] Liua, X., P. Lillehoj, Embroidered electrochemical sensors for biomolecular detection, Lab Chip, Vol. 16, 2016, pp. 2093-2098.