



TIP TEKNO'17

TIP TEKNOLOJİLERİ KONGRESİ

12-14 Ekim 2017 / TRABZON

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Prof.Dr. Osman Turan Kongre Merkezi



Biyomedikal ve Klinik
Mühendisliği Derneği



Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Biyomalzeme 2

14 Ekim 2017 - 09.00-10.30 - Salon B

Biyomedikal Uygulamalarda Kullanılan İletken Jellerin Elektriksel Karakteristikleri

The Electrical Characteristics of Electroconductive Gels Used in Biomedical Applications

Sarper Kara¹, Mustafa Konal², Metin Ertaş² Cengiz Polat Uzunoğlu²

¹Biyomedikal Cihaz Teknolojileri Bölümü, Biruni Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
skara@biruni.edu.tr

² Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
{mustafa.konal, ertas, polat}@istanbul.edu.tr

Özetçe—İletken jeller biyomedikal uygulamalarda ilgili işaretlerin hastaların uygun vücut noktalarına düzgün iletimi için sıklıkla kullanılmaktadır. İletim esnasında işaret kaybı açısından ve dolayısıyla etkili tedavi için jeller önemli rol oynamaktadır. Bazı durumlarda tek kullanımlık ve kendinden jele sahip elektrotlar hızlı kullanım için kullanılmakla birlikte yine de elektrokardiyogram (EKG), elektroensefalogram (EEG), Ultrason ve TENS (Deri yoluyla elektriksel sinir uyarımı) gibi çoğu kritik uygulamada harici jel kullanımı gerekmektedir. Elektrot, jel ve deri birleşimi seri bir direnç ve kapasite eşdeğer devresi ile modellenenmektedir. Bu çalışmada bu eşdeğer devreye dayanarak iletken jellerin elektriksel karakteristikleri incelenmiştir. Piyasada bulunabilen beş farklı iletken jel elektrotları modellemek için kullanılan bakır plakalar arasında dielektrik malzeme olarak yerleştirilerek kapasiteler oluşturulmuştur. Testler sırasında iletken jellerin kapasite ve kayıp faktörlerini ölçülmüştür. Ayrıca iletken jellerin iletkenliği ve toplam çözünmüş katı madde (TÇKM) miktarları elde edilmiştir. Biyomedikal uygulamalarda bu karakteristiklerin karşılaştırılması uygun jel seçiminde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler — iletken jel; kapasite; kayıp faktörü.

Abstract—Electroconductive gels are widely used in biomedical applications for a proper transmission of produced signals to related body points of patients. During the transmission the biomedical gels play vital role in terms of relatively small signal loss and hence effective treatment. In some cases, disposable electrodes with self-gel attachments are used for quick application, however there are several critical cases in which additional gel application is required such as electrocardiogram (ECG), electroencephalogram (EEG), Ultrasound, Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) and etc. The electrode gel and skin combination structure simulates a circuit equivalent which contains capacity and a series resistive. In this study the electrical characteristics of electroconductive gels are investigated

based on this equivalent circuit. Five different commercially available electroconductive gels are used as dielectric material between copper plates constructed for simulating biomedical electrodes which operate as a capacitor. During the tests the capacitance and dissipation factors of the conductive gels are measured. Also conductivity and TDS (Total Dissolved Solids) values are obtained for gel samples. A comparison of these characteristics may facilitate proper gel choice in biomedical application.

Keywords — *electroconductive gel; capacity; dissipation factor.*

I. GİRİŞ

Biyomedikal uygulamalarda elektriksel uyarım, elektriksel işaret iletimi ve ölçülmesi konuları günümüz biyomedikal cihazları ile ilgili yapılan çalışmalarda sıklıkla incelenmektedir [1-2]. Özellikle elektrot ve deri teması önemli bir iletim noktası oluşturmaktadır. Bu aşamada temas noktasında iletkenliğin artırılması ve iletken biyomedikal işarette en az kayıp olabilmesi amacı ile iletken jeller kullanılmaktadır [3]. Bazı uygulamalarda jel elektrot üzerinde üretim aşamasında olmakla birlikte, birçok uygulamada deri ve elektrot arasına harici olarak uygulanmaktadır. İletken jeller EKG, EEG, Ultrason ve TENS gibi tıbbi uygulamalarda işaret iletimi için kullanılmaktadır [4-6].

Birçok çalışmada kullanılan iletken jellerin kimyasal ve çeşitli elektriksel özellikleri incelenmiştir [3, 7]. Bu çalışmada piyasada ticari olarak bulunabilen 5 farklı iletken jelin ilgili elektriksel özellikleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında deri, elektrot ve jel etkileşimini modelleyen eşdeğer devre [5] temel alınarak bu etkileşimden doğan seri direnç ve kapasite değerleri test düzeneği kurularak ölçülmüştür. Elektrot ve deriyi modellemek için iletkenliği yüksek dairesel bakır levhalar kullanılmıştır. Levhaların

Biyomalzeme 2

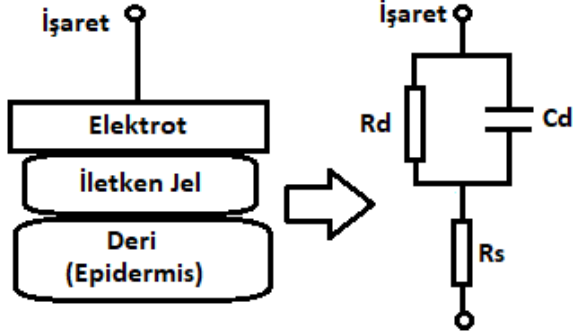
14 Ekim 2017 - 09.00-10.30 - Salon B

arasına değişik iletken jeller uygulanarak kapasite ve kayıp faktörleri [8-9] ölçülmüştür.

Çalışmada ayrıca test edilen jellerin iletkenlikleri ve TÇKM değerleri iletkenlik ölçer ile ölçülmüştür [10]. İletkenlik değerleri ilgili iletken jelin elektriksel akımı ne oranda ilettiğini dolayısıyla öz direncinin ne değerde olduğunu gösterir. Direncin fazla olması gerilim düşümüne dolayısıyla işaretle genlik kaybına yol açmaktadır. İletken jellerin ölçüm değerleri karşılaştırılarak kullanım alanları açısından değerlendirilmiştir.

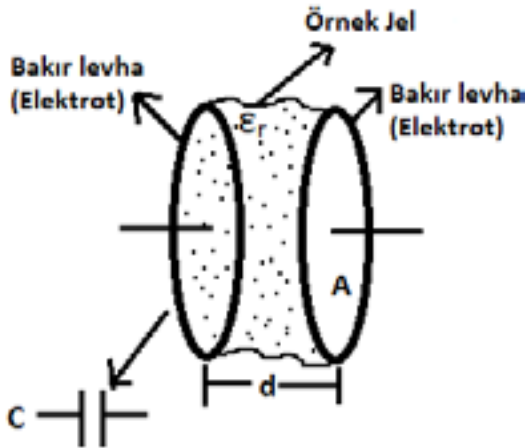
II. TEST DÜZENİĞİ

Çalışmada biyomedikal uygulamalarda kullanılan jellerin deri ve elektrotlar arasında temas yüzeyi oluşturması ve bunun sonucunda ortaya çıkan eşdeğer devre modeli kullanılmıştır. Bu model Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Standart bir deri-elektrot etkileşimi ve eşdeğer devresi

Modelde elektrot jel etkileşimi Cd kapasitesi ile Rd paralel direnci ile modellenir. Ayrıca jelin iletkenliği ve dolayısıyla direnci eşdeğer devrede Rs ile gösterilmiştir. Toplam eşdeğer devre ise kapasitif bir empedans oluşturur. Bu çalışmada elektrot ve deriyi modellemek için 2.89cm çapında dairesel bakır levhalar kullanılmıştır. İletken jellerin ve bakır levhaların oluşturduğu kapasite ölçümleri için kullanılan test modeli Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Elektrot ve jel etkileşimi ile oluşturulmuş kapasite modeli

İletken jeller dielektrik malzeme gibi düşünülürse ve belli bir dielektrik katsayısına (ϵ_r) sahip olduğu varsayımıyla elektrotlar arasında homojen bir şekilde yayılarak kapasite düzeneği oluşturulmuştur. Elektrotların yüzey alanı A ve elektrotlar arası mesafe d ise doğru akım kaynağı ile kapasite değeri;

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (1)$$

olarak hesaplanabilir. Çalışmada kullanılan iletken jel örnekleri ve biyomedikal elektrotları modellemek için kullanılan dairesel bakır levhalar Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Elektrot ve jel etkileşimi ile oluşturulmuş kapasite modeli

Çalışmada piyasada ticari olarak bulunabilen EKG, EEG, Ultrason ve TENS uygulamalarında kullanılan beş farklı iletken jel incelenmiştir. Kapasite modellerinde elektrotlar arası mesafe gerçeğe uygun olması amacı ile 1mm ve 2mm olarak ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sırasında referans dielektrik malzeme olması ve fikir vermesi açısından elektrotlar arasında hava uygulanarak ölçüm değerleri alınmıştır. Ölçümlerde yüksek frekansları modellemek için 1kHz ve 1V genlikte kapasite ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sırasında GW Instek LCR-821 model LCR metre kullanılmıştır. Kullanılan LCR metre Şekil 4'te görülmektedir.

Biyomalzeme 2

14 Ekim 2017 - 09.00-10.30 - Salon B



Şekil 4. LCR metre

Ölçümlerde kapasite değerleri ve kayıp faktörleri (D) ölçülmüştür. Eşdeğer devrenin sadeleştirilmesi ile ölçüm düzeneğinin en sade hali bir kapasite ve eşdeğer seri bir dirençten (ESD) oluşan empedanstır. Düşük akım değerlerinde sorun olamamakla birlikte artan akım ya da frekansla eşdeğer seri direncin de değeri (oluşturulan kapasitenin doğası gereği) doğrusal olmayan oranlarda artmaktadır. Bu ısı ile tüketilen gücü ve dolayısıyla kayıp faktörünü arttırmaktadır. Kayıp faktörünün hesabı Denklem (2)'de verilmiştir [8].

$$D = \tan \delta = \frac{1}{Q} = \frac{ESD}{Xc} \quad (2)$$

Eşitlikte verilen Q kalite faktörü (kayıp faktörünün tersi) ve Xc ise kapasitenin reaktansdır (Ω). Kayıp açısının (δ) tanjantı toplam kapasitif empedansın reel kısmının (ESD) sanal kısmına (Xc) oranını ifade eder [8-9]. Kayıp faktörü en genel anlamda dielektrik malzemenin alternatif akım işaretli uygulandığında, işaretin enerjisinin bir kısmını sönmüleme eğilimi değeridir. Bir başka deyişle, işaret üzerinde ne kadar aktif güç kaybı yaşanacağını bir ölçüsüdür. İdeal kapasitenin kayıp açının sıfır dolayısıyla da kayıp faktörünün değeri sıfırdır.

Çalışmanın ikinci aşamasında iletken jellerin iletkenlikleri ve TÇKM değerleri ölçülmüştür. Malzeme içindeki TÇKM değerinin artması iletkenliği artırarak öz direnci azaltır [11]. Ölçümler sırasında Lutron YK-22CT model iletkenlik/TÇKM ölçer kullanılmıştır. Her jel örneği için onar adet ölçüm alınarak ölçümler sağlanmıştır. İletkenlik ölçer Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. İletkenlik ölçer

III. TEST SONUÇLARI

Çalışma sırasında piyasada ticari olarak bulunabilen iletken jeller test örnekleri olarak kullanılmıştır. Sonuçlarda jellerin ticari isimleri verilmemiştir. Kataloglarında Ultrason, EKG ve diğer elektrot teması gerektiren uygulamalarda kullanılabildiği belirtilmiştir. Kapasitif ölçümlerde biyomedikal uygulamalardaki kullanıma yakın kalınlıklarda jel tabakaları kullanılarak ölçülmüştür. Tabaka kalınlıkları insize marka dijital kumpas ile ölçülmüştür. Kayıp faktörleri ve kapasite değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. İletken jellerin kapasite ve kayıp faktörleri

Malzeme	C(1mm)	D(1mm)	C(2mm)	D(2mm)
Hava	7.25pF	0.071	16.42pF	0.218
JEL1	8.02uF	1.126	6.70uF	1.66
JEL2	6.3uF	1.65	5.92uF	2.75
JEL3	14.8uF	1.08	11.85uF	1.45
JEL4	13.06uF	1.69	11.7uF	2.5
JEL5	13.4uF	2.02	12.3uF	2.8

Ölçümlerde LCR metre ile alternatif akım işaretleri (1kHz, 1V) uygulanarak kapasitif empedans değerleri ölçülmüştür. Bu empedansın içinde ESD ve Xc birlikte olup kayıp faktörü (D) de buradan hesaplanmıştır. Kayıp



Biyomalzeme 2

14 Ekim 2017 - 09.00-10.30 - Salon B

faktörünün değeri üzerinden ve işaret kaybı açısından hangi uygulamada hangi iletken jelin daha uygun olacağı belirlenebilir. Doğru akımın tersine alternatif akımla (değişken manyetik alan) dielektrik katsayısının da değişebileceği göz önüne alınmalıdır.

Elektriksel karakteristikler açısından çalışmanın ikinci aşamasında iletkenlikler ölçülmüştür. Bir maddenin iletkenliği, içindeki çözünmüş katı madde miktarı ile orantılıdır. İletkenlikler Siemens cinsinden ve TÇKM değerleri ppm olarak verilmiştir. Ölçülen değerler Tablo 2'de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi jellerin iletkenlikleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Buna göre düşük iletkenlik yüksek özdirence neden olarak akımla birlikte işaret üzerinden gerilim düşümüne yol açabilir.

Tablo 2. İletken jellerin kapasite ve kayıp faktörleri

Jel	İletkenlik	TÇKM
JEL1	1.42 mS	829 ppm
JEL2	0.454 mS	302 ppm
JEL3	1.77 mS	1185 ppm
JEL4	0.98 3mS	655 ppm
JEL5	1.075 mS	715 ppm

IV. SONUÇLAR

Birçok biyomedikal görüntüleme ve biyomedikal işaret uygulama işleminde elektrot ve deri arasında iletim için iletken jeller kullanılmaktadır. Piyasada birçok marka iletken jel olmakla birlikte elektriksel iletim özellikleri farklılıklar göstermektedir. İletim sırasında az kayıp olması işaretin kalitesi ve görüntüleme performansı açısından önemlidir. Bu çalışmada bu jellerin çalışma esnasında oluşturduğu eşdeğer devre modeli temel alınarak ölçümler yapılmıştır. Kapasite ve kayıp faktörleri ölçülerek işaret enerjisinde ne kadar kaybın olacağı incelenmiştir. Benzer özellikteki jellerin farklı kayıp faktörleri ve kalite faktörleri olduğu gözlenmiştir. Ayrıca TÇKM miktarları ve iletkenlik değerleri ölçülmüş ve farklılıklar ortaya koyulmuştur. Hassas ölçümlerin yapılacağı ya da elektriksel etkileşimin önemli olduğu (TENS) gibi uygulamalarda iletkenliğin fazla olduğu veya kayıp faktörünün az olduğu iletken jeller tercih edilmez.

KAYNAKÇA

- [1] Alon, G., Kantor, G., Ho H.S., "The effect of three of surface electrodes on threshold excitation of human motor nerve", *J Clin Electrophysiol*, 8(1):2-8, 1996.
- [2] Huijgen, E., Peper, A., Grimbergen, C.A., "Investigation into the origin of the noise of surface electrodes", *Med Biol Eng Comput*, 40(3): 332-8, 2002.
- [3] Anthony, G.E., "Electroconductive hydrogels: Synthesis, characterization and biomedical applications", *Biomaterials*, 31(10): 2701-2716, 2010.

- [4] Taji, B., Shirmohammadi, S., Groza, V. and Batkin, I., "Impact of Skin-Electrode Interface on Electrocardiogram Measurements Using Conductive Textile Electrodes", in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63(6): 1412-1422, 2014.
- [5] Lin, C.T., Liao, L.D., Liu, Y.H., Wang, I.J., Lin, B.S. and Chang, J.Y., "Novel Dry Polymer Foam Electrodes for Long-Term EEG Measurement", in *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 58(5): 1200-1207, 2011.
- [6] Poitras, S., Brosseau, L., "Evidence-informed management of chronic low back pain with transcutaneous electrical nerve stimulation, interferential current, electrical muscle stimulation, ultrasound, and thermotherapy", *The Spine Journal*, 8(1): 226-233, 2008.
- [7] Guiseppi-Elie A, Sujdak A, Wilson AM, editors. Electroconductive hydrogels: Electrical, electrochemical and impedance properties. Fall MRS Meeting Symposium J. Boston: Materials Research Society; 1997 December 1-5.
- [8] Dschung, F. and Kindersberger, J., "Dielectric dissipation factor and resistivity of liquid refrigerants and dependency on temperature", in *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 23(2): 859-865, 2016.
- [9] Rajab, A. et al., "A comparison of dielectric properties of palm oil with mineral and synthetic types insulating liquid under temperature variation", *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 43(3): 191-208, 2011.
- [10] David, I., "Investigation of the Relationship between Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids for Mono-Valent, Di-Valent and Tri-Valent Metal Compounds", *International Journal of Engineering Research and Reviews*, 3(1): 40-48, 2015.
- [11] Atekwana, E.A., Atekwana, E.A., Rebecca, S.R., Werkema, D.D., Legall, F.D., "The relationship of total dissolved solids measurements to bulk electrical conductivity in an aquifer contaminated with hydrocarbon, *Journal of Applied Geophysics*", 56(4): 281-294, 2004.