

DOKULARIN ELEKTRİKSEL İLETKENLİĞİNİN DOKUNMASIZ YÖNTEMLERLE GÖRÜNTÜLENMESİ İÇİN YENİ BİR VERİ TOPLAMA SİSTEMİ

Koray Özdal ÖZKAN ve Nevzat G. GENÇER
Ortadoğu Teknik Üniversitesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Balgat, Ankara.
kozkan@metu.edu.tr, ngencer@metu.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, biyolojik dokuların elektriksel iletkenliklerinin dokunmasız olarak görüntülenmesi amacıyla gerçekleştirilmiş olan çok-frekanslı bir veri toplama sisteminin performans sonuçları sunulmaktadır. Ölçüm sistemi, 20 kHz-60 kHz çalışma frekans aralığında manyetik uyartım-manyetik ölçme prensibini kullanmaktadır. Sistem, bir verici ve fark alan iki alıcı bobinden oluşan bir algılayıcı, XY tarayıcı, sinyal üretici, güç yükseltici ve veri işleme kartından oluşmaktadır. Tasarlanan bu sistem ile iletken cisimler iki boyutlu olarak taranabilmekte ve ölçümler CM-2251 veri işleme kartı ile doğrudan bilgisayarda toplanabilmektedir. Sistemin duyarlılığı, direnç fantomlarının kullanarak 20 kHz, 30 kHz, 50 kHz ve 60 kHz çalışma frekansları için sırasıyla, 42.29 V/S, 76.96 V/S, 270.76 V/S ve 360.97 V/S olarak ölçülmüştür. Sistemin doğrusallığının, çalışılan frekanslarda, teoriye uygun olarak, frekansın karesiyle doğru orantılı olarak değiştiği görülmüştür.

1. Giriş

Manyetik uyartım-manyetik ölçme yöntemini dokuların yüzeyaltı görüntülerini elde etmek için öneren Gençer ve Tek, yöntemin potansiyelini üç boyutlu simülasyonlarla göstermişlerdir [1-2]. Bu simülasyonlar ışığında Ülker ve Gençer, iletkenlik görüntülemek amacıyla 11.6 kHz'de çalışan bir veri işleme sistemi tasarlamışlardır [3]. Sistemde sargılardan gelen sinyallerin ölçümü için Faza Kilitli Yükseltici aygıtı kullanılmıştır. Ahmad ve Gençer [4] manyetik alıcı (sargı) ve bu alıcıdan elde edilen ölçümleri işleyip dijital hale getirdikten sonra bilgisayara aktaran iki farklı donanımla 15 kHz ve 1.4 MHz çalışma frekanslarında dokunmasız iletkenlik ölçüm çalışmalarını yürütmüşlerdir. Özkan, Çolak ve Gençer daha önce [3]'de gerçekleştirilen sistemin tarama hızını ve bilgisayara veri aktarma performansını iyileştirmiş ve faza kilitli yükselteç yerine kendi tasarladıkları bir veri işleme kartı kullanarak çalışma frekansı 50 kHz olan yeni bir sistem oluşturmuşlardır [5-6]. Ancak tüm bu gerçekleştirilmiş olan sistemler tek frekansta çalışmaktadırlar. Teoriye göre ölçülen sinyal frekansın karesiyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Buna ek olarak biyolojik dokuların elektriksel iletkenlikleri frekansa bağlı olarak değişebilmektedir [7]. Çok frekansta yapılan ölçümlerle cisim hakkında her çalışma frekansı için farklı bir bilgi elde edilebilir. Dolayısıyla bir frekansta ayırt edilemeyen dokular başka bir frekansta ayırt edilebilir, ya da bir frekansta belirlenemeyen hastalıklı doku diğer bir frekansta görüntülenebilir. Bu çalışmada tasarlanan çok-frekanslı veri toplama sisteminde, kendi tasarladığımız veri işleme kartı (VİK) ve bu kartın çıkış sinyalini GPIB bağlantısı ile bilgisayara gönderen multimetre yerine [8], Acquitex CM-2251 veri işleme kartı (VİK2) ile referans sinyali ve cisimden alınan ölçüm sinyali doğrudan sayısal çevrilerek bilgisayara gönderilmektedir. Profesyonel VİK2 ile sistemin sinyal-gürültü oranı vb. parametrelerinin iyileştirilmesi öngörülmektedir. Ayrıca ayrı bir cihaz olan multimetre ve VİK yerine bilgisayarın PCI girişine bağlanan VİK2 kullanılması ile herhangi bir frekansta yapılacak deneylerden önce bağlı konum ayarı vb. amaçla sisteme müdahale edilmesi gerekmemekte ve sistemin taşınabilirliği konusunda önemli bir adım atılmaktadır. Bu çalışmada, gerçekleştirilen çok-frekanslı veri toplama sistemi anlatılacak, sistemle elde edilen doğrusallık grafikleri sunulacak ve sonuçların teoriye uyduğu gösterilecektir.

2. Teorik Formülasyon

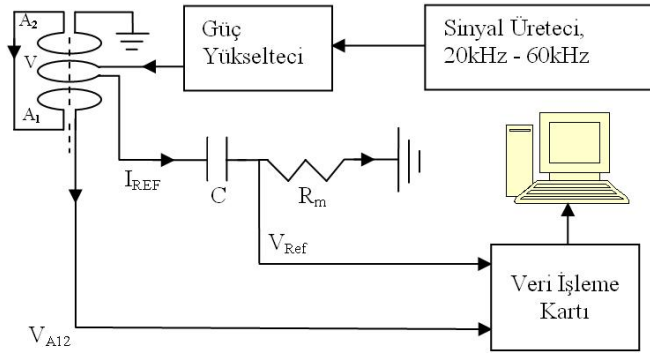
Elektriksel iletkenliği manyetik ölçümlerle bağdaştıran teorik formülasyon [2]'de verilmiştir. Cisimlerin iletkenlikleri ile voltaj ölçümleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir:

$$v = \int \left(\frac{w\vec{A}_{R1}}{I_{R1}} - \frac{w\vec{A}_{R2}}{I_{R2}} \right) \cdot \sigma (w\vec{A}_T + \nabla\phi) dV_{cisim} \quad (1)$$

Burada \vec{A}_{R1} ve \vec{A}_{R2} , sırasıyla, birinci ve ikinci alıcı sargılarda akan ters akımlar I_{R1} ve I_{R2} tarafından, \vec{A}_T ise verici sargı akımı tarafından üretilen manyetik vektör potansiyelleridir. ϕ sayıl potansiyel, σ ise görüntülenecek cismin iletkenliğidir.

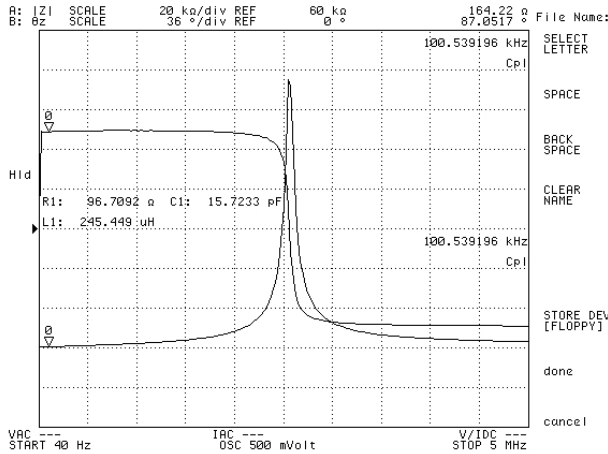
3. Veri Toplama Sistemi

A. Sistem: Dokuların elektriksel iletkenliklerinin dokunmasız yöntemlerle görüntülenmesi için tasarlanan çok-frekanslı veri toplama sistemi Şekil 1’de görülmektedir: sinyal üretici tarafından sürülen güç yükseltici verici sargıyı uyarır. Verici sargıda akan akım, özdeş ve birbirlerinin farkını alacak şekilde bağlanmış olan iki alıcı sargıda bir gerilim indükler. Alıcı sargılarda oluşan fark gerilimi V_{A12} ve verici sargıdan geçen akımın referans direnci R_m üzerinde oluşturduğu referans gerilimi V_{Ref} , Acquitek CM-2251 veri işleme kartı ile sayısal olarak çevrilerek doğrudan bilgisayara gönderilmektedir. Algılayıcının altına iletken bir cisim konulduğunda V_{A12} geriliminin fazı ve genliği cismin iletkenliğine bağlı olarak değişecektir. Bu değişim, bilgisayar ortamında V_{A12} ve V_{Ref} gerilimlerinin faza duyarlı sezimi ile belirlenmektedir. [8]’de sonuçlarını verdiğimiz sistemde VİK ile gerçekleştirilen faza duyarlı sezimin bilgisayar ortamında yapılmasıyla alçak geçiren süzgecin kutup sayısı ve kesim frekansı gibi parametrelerinin çok hassas olarak ayarlanması mümkün olmaktadır.

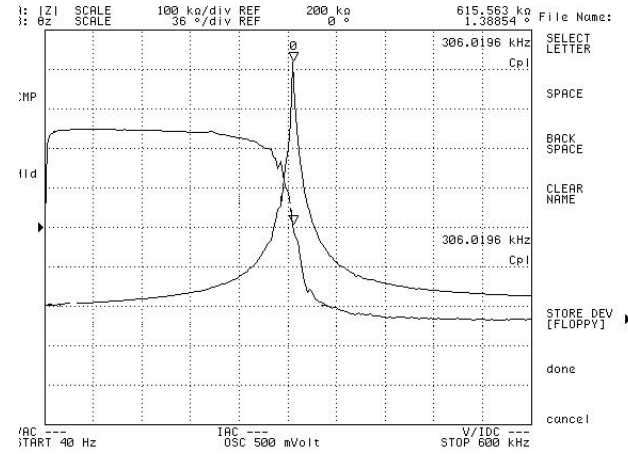


Şekil 1. Çok-frekanslı veri toplama sistemi.

B. Çalışma Frekanslarının Seçilmesi ve Algılayıcı : Problemin statik olarak incelenebilmesi için çalışma frekansının 100 kHz’in altında olması gerekmektedir [2]. Her ne kadar ölçülen sinyal, frekansın karesiyle doğru olarak arttığı için çalışma frekansının yüksek olması istense de, bobinler arasındaki kapasitif etkiyi azaltmak için düşük frekanslar gereklidir. Bu sebeple elektrik empedans tomografi (EIT) çalışmalarının pek çoğunda çalışma frekansı 50 kHz olarak seçilmiştir [2]. Bu makalede anlatılan sistem için de çalışma frekansları olarak 20kHz-60 kHz aralığı seçilmiştir. Bunun için sensörü oluşturan bobinlerin rezonans frekansı 60 kHz’in yeterince uzağında olacak şekilde tasarlanmış ve sarılmıştır (Şekil 2 a,b).



(a)



(b)

Şekil 2. Verici ve alıcı sargı çiftinin frekansa göre empedans değişimi grafikleri: (a)'da görülen verici sargının rezonans frekansı 2.55 MHz, (b)'de görülen alıcı sargı çiftinin rezonans frekansı ise 306,02 kHz'dir.

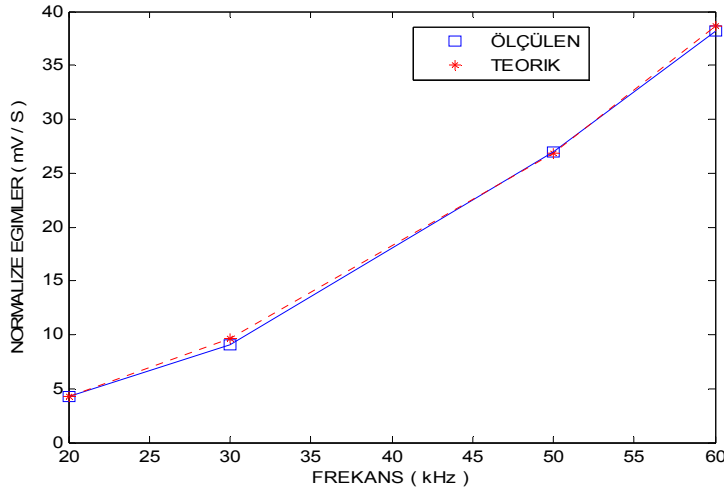


TABLE I.
DUYARLILIK DEĞERLERİNİN
FARKLI FREKANSLARDA
KARŞILAŞTIRILMASI

Frekans (kHz)	Ölçümlerden Elde edilen Duyarlılık (mV/S)	Teorik Duyarlılık (mV/S)
20	4.29	4.29
30	7.81	9.66
50	27.49	26.83
60	36.65	38.64

Şekil 3. Sistemin normalize edilmiş duyarlılık eğrisi. Ölçümlerin teoriye uygun olarak frekansın karesiyle doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir

4. Sistem Performansı

Sistemin doğrusalılığı 20 kHz, 30 kHz, 50 kHz ve 60 kHz çalışma frekanslarında, direnç fantomları kullanılarak test edilmiştir. Kullanılan direnç değerleri 150Ω-10kΩ aralığındadır ve 8.37S/m-0.125S/m iletkenlik aralığına karşılık gelmektedir [5]. Sonuçlardan sistemin, çalışılan frekans bandında, ortalama vücut iletkenliği olan 0.2 S/m çevresindeki iletkenlik değişimlerine doğrusal olarak tepki verdiği anlaşılmaktadır. Sistemin frekansla olan bağıntısını görmek için her çalışma frekansında elde edilen doğrusal eğrilerinin eğimleri, 20 kHz’de verici sargıdan akan akıma göre normalize edilmiştir (Tablo I). Teorik olarak ölçülen gerilim, çalışma frekansının karesiyle orantılı olarak değişmelidir. Normalize edilen eğimler frekansa göre çizildiklerinde sonucun teoriye uyduğu görülmektedir (Şekil 3).

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, biyolojik dokuların elektriksel iletkenliklerinin dokunmasız olarak görüntülenmesi amacıyla gerçekleştirilmiş olan çok-frekanslı bir veri toplama sistemi ve bu sistemle elde edilen doğrusal sonuçları sunulmuştur. Kullanılan VİK2 ile farklı frekanslarda deneylerin tekrarı sırasında sistemin herhangi bir ayarına müdahale gerekmeden deneyler hızlı bir şekilde yapılabilmekte ve alınan ölçümler bilgisayar ortamında hassas bir şekilde işlenebilmektedir. Ayrıca sistemin taşınabilirliği konusunda ilerleme kaydedilmiştir. Ancak sistemin maliyeti artmıştır. Teorik olarak ölçümlerin çalışma frekansının karesiyle orantılı olarak değişmesi beklenmektedir (1). Bunu görmek için sistemin 20 kHz, 30 kHz, 50 kHz ve 60 kHz çalışma frekanslarında doğrusalılığı incelenmiş ve sırasıyla 4.3 mV/S, 7.8 mV/S, 27.5 mV/S ve 36.7 mV/S olarak bulunmuştur. Sonuçlardan, sistemin 20-60 kHz olarak seçilen çalışma bandında doku iletkenliklerine (0-6 S/m) doğrusal olarak tepki verdiği, ölçülen sinyalin şiddetinin çalışma frekansının karesiyle doğru orantılı olarak arttığı dolayısıyla teorisinin doğrulandığı görülmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Genç N. G. ve Tek M. N. , “Imaging tissue conductivity via contactless measurements: a feasibility study,” TUBITAK Elektrik J., vol. 6, no. 3, s. 183-200, 1998.
- [2] Genç N. G. ve Tek M. N., “Electrical conductivity imaging via contactless measurements”, IEEE Trans. Med. Imag, Vol. 18, s. 617-627, 1999.
- [3] Başak Ülker Karbeyaz, Nevzat G. Genç, “Electrical Conductivity Imaging via Contactless Measurements: An Experimental study”, IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol. 22, No. 5, s. 627-635, May 2003.
- [4] Tafseer Ahmad, Nevzat G. Genç, “Development of a data acquisition system for electrical conductivity images of biological tissues via contactless measurements”, 23rd Ann. Int. Conf. of EMBS, Oct. 2001, Istanbul.
- [5] İlyas Evrim Çolak, Koray Özdal Özkan ve Nevzat G. Genç, ‘Dokuların Elektriksel İletkenliğinin Dokunmasız Yöntemlerle Görüntülenmesi: Yeni Bir Veri Toplama Sistemi’, BİYOMUT 2006, İstanbul
- [6] Koray Özdal Özkan, İlyas Evrim Çolak ve Nevzat G. Genç, ‘Dokuların Elektriksel İletkenliğinin Dokunmasız Yöntemlerle Görüntülenmesi: Tek Frekans Deneyleri’, BİYOMUT 2006, İstanbul
- [7] Doğa Gürsoy ve Nevzat G. Genç, ‘Elektriksel Empedans Görüntülemesinin Tıpta Uygulama Alanları’, BİYOMUT 2006, İstanbul
- [8] Koray Özdal Özkan, İlyas Evrim Çolak ve Nevzat G. Genç, ‘Dokuların Elektriksel İletkenliğinin Dokunmasız Yöntemlerle Görüntülenmesi: Çok-frekans Deneyleri’, BİYOMUT 2006, İstanbul