

Biyomedikal Uygulamalar için 1Hz – 1MHz Frekans Bandında Akım Uygulayabilen Gerilim Kontrollü Akım Kaynağı Tasarımı

Voltage Controlled Current Source Design for BioMedical Applications at the Frequency Range of 1Hz to 1MHz

Anıl Can GÜZELER¹, Hamza Feza CARLAK¹

¹Mühendislik Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü
Akdeniz Üniversitesi

acguzeler@gmail.com, fezacarlak@akdeniz.edu.tr

Özetçe

İnsan dokularının elektriksel özellikleri, türlerine ve sağlıklı olup olmamalarına göre değişkenlik göstermektedir. Dokuların bu özelliklerinden faydalanılarak yapılan teşhis ve tedavi işlemleri etkili bir biçimde uygulanabilmektedir. Elektriksel empedans görüntüleme gibi bazı görüntüleme yöntemlerinde dokuların elektriksel iletkenliklerinin tespiti kritik önem taşımaktadır. Bu tespitin yapılabilmesi için ve bazı klinik uygulamalarda da tedavi amaçlı olarak dokulara insan hayatını tehlikeye sokmayacak şekilde güvenlik sınırları dâhilinde elektriksel sinyal uygulanabilmektedir. Gerilim Kontrollü Akım Kaynağı tasarımları sayesinde, uygulanması planlanan elektriksel sinyaller, özel elektrotlar ile kontrollü bir şekilde dokuya uygulanabilmektedir. Gerilim Kontrollü Akım Kaynakları, Howland ya da Tietze Topolojilerine göre yükten bağımsız olarak çalışan, çıkış katmanının genlik değeri ayarlanabilen kaynaklardır. Yapılan bu çalışmada Howland Topolojisi ve gömülü sistem mantığı kullanılarak Programlanabilir Gerilim Kontrollü Akım Kaynağı cihazı tasarlanmıştır. Tasarım sonucunda 1Hz – 1MHz frekans bandında 0 – 10 mA genliğinde ayarlanabilen sinüzoidal akım değerleri elde edilmiştir. Uygulanmakta olan akım değeri LCD ekrana gerçek zamanlı olarak yansıtılmıştır.

Anahtar Kelimeler — gerilim kontrollü akım kaynağı; howland topolojisi; gömülü sistem.

Abstract

The electrical property of the human tissue changes according to the species and healthiness of the tissue. Benefiting from these features of the tissue, the diagnosis and treatment process can be carried out effectively. In imaging and diagnosis applications such as electrical impedance imaging method, the determination of the electrical conductivity of the human tissue is pretty critical. Electrical

stimulation in medical safety limits can be applied to the human for diagnostic and treatment purposes. Sinusoidal signal can be injected to the tissue by Voltage Controlled Current Source in a controlled manner through special current electrodes. Voltage Controlled Current Source design is implemented according to Howland or Tietze Topology and operates independent of any load. The magnitude of the output current is adjustable at desired levels. The programmable current source is implemented with embedded systems. The feasibility and test procedure of the device is carried out step by step. Load independent current source is capable of injecting sinusoidal electrical signal in the frequency range of 1 Hz – 1 MHz at the magnitude of 0 to 10 mA. Frequency and the magnitude information is monitored on the LCD screen.

Keywords — voltage controlled current source; howland topology; embedded system.

1. Giriş

Biyomedikal gelişmeler kapsamında geliştirilen uygulamalar ve metotlar düşünüldüğünde çeşitli cihaz tasarımlarına ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Sağlık alanında elektronik cihazlar tanı, teşhis ve tedavi aşamaları için vazgeçilemez bir noktaya gelmiştir.

Tanı ve teşhis aşamasında görüntüleme teknolojileri en etkili uygulamalardandır. MR, BT, Röntgen, Ultrason gibi çeşitli uygulamalarda hastalardan veriler alınmaktadır. Ancak özellikle radyoaktif ışınım esasına dayalı uygulamalarda hasta araştırması halen devam etmekte olan bazı zararlara maruz kalmaktadır. Hastaya güvenlik sınırlarında akım uygulayarak dokunun elektriksel iletkenlik değişiminin incelenmesi de non-invazif yöntemlerden bir tanesidir. Gerilim Kontrollü Akım Kaynağı uygulamaları sayesinde dokuya, yükten bağımsız ve kontrollü şekilde akım uygulanabilmektedir. Akım dağılımından faydalanılarak, vücudun iletkenlik haritası görüntü bilgisayar ortamına aktarılabilir.

Tedavi uygulamalarında ilaç ya da cerrahi metotlar öncesinde hastalığın niteliğine göre stimülasyon işlemleri gerçekleştirilebilir. Elektrostimülasyon da denilen bu

Bu çalışma TÜBİTAK BİDEB Kurumu tarafından 2209/A programı 1919B011403541 nolu proje kapsamında ve Akdeniz Üniversitesi tarafından desteklenmektedir.

Tıbbi Cihaz Tasarımı 4

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

uygulamalar kas ve sinir dokularının iletkenlik özelliğinden yararlanarak çalışırlar. Elektrik sinyali kas ve sinir hücrelerinde eksitasyon (uyarılma) oluşturur. Eksitasyon kas hücrelerinde denerve kas, afferent sinir hücrelerinde analjezik/antalik (ağrı kontrolü), efferent sinir hücrelerinde ise nmes (kas kasılması) şeklinde etki gösterir. Elektrostimülasyonun temel hedefi elektrik akımlarıyla uyarılabilen kas ve sinir hücrelerini stimüle etmektir. Elektrostimülasyon genel anlamda, sinir membranında bulunan $-70mV$ 'luk potansiyeli $-50mV$ 'a düşürmektir.

Gerilim Kontrollü Akım Kaynağı yapısının çalışmaları yaklaşık otuz yıl öncesinde yapılan geri beslemeli yükselteçlerin bulunmasına dayanmaktadır. Yükselteç yapısı ilk kez 1954'te Hollandalı Elektrik Mühendisi Bernard Tellegen tarafından kullanılmıştır [1]. Tellegen'in ideal yükseltecinde iki portlu bir yapı görülmektedir. 1964'te ise Carlin 'Nullor' yapısını tasarlamıştır. Nullor yapısında ilk kez giriş ve çıkış empedansları ortaya çıkmıştır. Bu empedans yapılarının seviyelerinin değiştirilmesiyle de akım ve gerilim bağlantılı kaynaklar ortaya çıkmıştır. Bu sayede gerilim kontrollü akım kaynağı modellemesi ilk kez burada oluşturulmuştur [2].

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Son yıllarda yapılan biyolojik ve biyo mühendislik araştırmaları dokuların elektriksel tepkilere farklı cevaplar verdiğini göstermektedir. Özellikle dokuların elektriksel iletkenliği yani akım yoğunluğu dağılımından yararlanılarak Electrical Impedance Tomography (EIT), Magnetic Resonance Electrical Impedance Tomography (MREIT) ve Electrical Resistance Tomography (ERT) [3] cihazları ile görüntüleme yapılabilmektedir. Ayrıca nöral sitimülasyon [4], elektro-cerrahi, defibrilatörler ile kalp pili araçlarının uygulamalarında dokudaki akım yoğunluğu dağılımı önemli bir yere sahiptir[5].

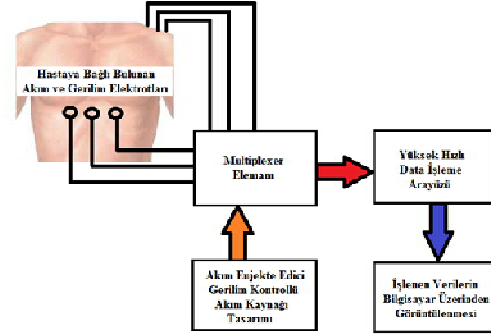
2.1.1. Biyomedikalde Gerilim Kontrollü Akım Kaynağı Uygulamaları

Bioempedans Teknolojisi; dokuyu karakterize etme, fizyolojik ölçüm, hastalık tanısı görüntüleme gibi birçok biyomedikal uygulamasının temelini oluşturmaktadır. Bioempedans ölçüm cihazının sistemine bakıldığında en önemli unsur gerilim kontrollü akım kaynağıdır [6].

Magnetic Resonance Current Density Imaging (MRCDI) tekniği görüntülenmek istenen bölgenin kesit görüntüsünü akım yoğunluğunun dağılımına bağlı olarak manyetik rezonans görüntüleme yapısıyla elde etmektir. Bu metodun uygulamaya geçmesiyle Magnetic Resonance Electrical Impedance Tomography (MREIT) cihazı tasarlanmıştır. Bu cihazın temel işlevini gösterebilmesi akım sinyal üretici olan Gerilim Kontrollü Akım Kaynağı Cihazına bağlıdır [7].

Electrical Impedance Tomography (EIT) uygulamasının temeli gerilim kontrollü akım kaynağı uygulaması dayanmaktadır [8]. Bu cihazın temel çalışma prensibi, görüntülenmek istenilen kısma akım enjekte ederek gerilimi belirleyip vücut empedansını ölçmektir. Yan yana bağlanmış akım elektrotlarına karşılık aralıklı bağlanmış gerilim

elektrotlarıyla ölçüm işlemi yapılabilir [9]. Çalışma prensibi düşünüldüğünde böyle bir sistemde ana unsurun gerilim kontrollü akım kaynağı olduğu görülmektedir. Ayrıca gerilim kontrollü akım kaynağı EIT'nin aldığı görüntünün kalitesini belirleyen temel elemandır. Medikal çalışmalar, verimli bir EIT cihazının akım uygulayacak bölümünün üstün frekans tepkisi ile büyük çıkış empedansına sahip olması gerektiğini göstermektedir[10].



Şekil 1. EIT Cihazı Çalışma Prensibi.

Canlı doku üzerinde birçok stimülasyon uygulaması yapılmaktadır. Özellikle cerebrum bölgesindeki kronik ağrılar için sinir dokusu üzerinde stimülasyon yapılmaktadır. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için kullanılan yaygın metod, Gerilim Kontrollü Akım Kaynağının akım üretici olarak akım üretmesidir [4]. Stimülasyon uygulamalarında üç çeşit akım uygulama metodu kullanılmaktadır. Bu metotlardan ilki Doğru Akım ya da diğer bir ifade ile Galvanik Akım uygulamalarıdır. Bu yöntemle iyontoferezis denerve kas stimülasyonu uygulaması yapılmaktadır. Diğer bir uygulama olan ve bu çalışmaya ilham kaynağı olan Alternatif Akım ya da literatürde ifade edildiği şekilde Faradik Akımla oluşturulan uygulamalardır. Bu yöntemle de afferent ve efferent sinir liflerinin uyarımı gerçekleştirilmektedir. Farklı dalga formları da mevcut olduğu gibi çoğunlukla ve uyarılan bölgenin niteliğine göre sinüs formu kullanılmaktadır. Son olarak da Kesikli Akım uygulamaları bulunmaktadır. Bu yöntemde Alternatif Akım yöntemine benzerdir ancak Alternatif Akım dalga formu belli sürelerde durdurularak gönderilmektedir. Bu uygulama da Alternatif Akım metodunda olduğu gibi afferent ve efferent sinir stimülasyonunda etkindir.

2.2. Yöntem

Tasarım bağımlı güç kaynakları sınıfına giren gerilim kontrollü akım kaynağı modellemesi ile gerçekleştirilmiştir. Gerilim akım dönüştürücüsü prensibine göre çalışmaktadır ve Transconductance parametresine göre dönüştürme işlemi yapmaktadır. İdeal koşulda giriş ve çıkış empedansları sonsuzdur. Uygulamada ise giriş empedansı voltaj kontrol kaynağının empedansından kaynağının empedansından çok büyük, çıkış empedansı ise yük empedansından çok büyüktür [11].

Tıbbi Cihaz Tasarımı 4

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

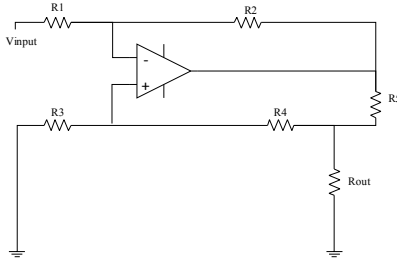
2.2.1. Gerilim Kontrollü Akım Kaynağı Tasarımı İçin Oluşturulan Sistemler

Gerilim Kontrollü Akım Kaynağı hakkında son otuz yılda yapılan araştırmalar sonucunda bazı topolojiler elde edilmiştir. Bu sistemler Howland Devresi, Tietze Topolojisi Akım Ayna Topolojisi, Geniş Bant Transconductance Yükselteç şeklindedir [11].

Bunlar arasında en yaygın olanlar ise Howland ve Tietze Topolojisidir [12]. Ayrıca bu iki yapı tüm frekans aralıkları için iyi sonuçlar verebilmektedir [11].

2.2.1.1 Howland Topolojisi

Howland devresi Howland Current Pump olarak literatürde ifade edilmektedir.. Tek ve çift konfigürasyonlu olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Tek konfigürasyonlu Howland yapısında bir adet işlevsel yükselteç (Op Amp) bulunmaktadır. Negatif ve pozitif geri beslemeler bu yapı üzerindedir. Geri besleme dirençleri olan R1 ve R2 üzerinden akım Op Amp'ın eksi sinyal girişine geçer, bir diğer geri besleme dirençleri olan R3 ve R4 üzerinden ise akım geçerek Op Amp'ın artı eski doğru akım beslemeleri arasındaki farkı değiştirir. Bu sayede çıkış akımı sabit kalır (Şekil2). Çift konfigürasyonlu yapıda ise iki adet yükselteç bulunur. Bu yapı da negatif geri beslemeli ve pozitif geri beslemeli olarak ikiye ayrılır[13].



Şekil 2. Howland Topolojisi Devre Modellemesi.

Howland yapısında çıkış akımı kısaca aşağıdaki çıkarım sayesinde tasarlanmaktadır:

$$I_{yük} = -V_{giriş} \frac{R2}{R1 + R5} \quad (1)$$

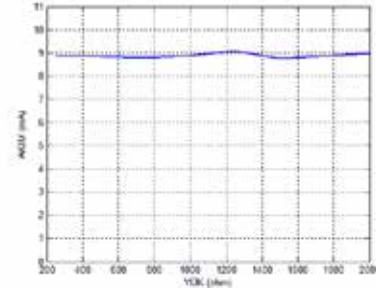
Çıkarımdan da anlaşılacağı üzere kazanç değişimi bir başka ifadeyle çıkış akımının genlik değeri R2 direnci ile ayarlanmaktadır.

Akım genlik değeri çıkarımının ardından aşağıdaki çıkarım sayesinde de Howland tasarımın en önemli özelliklerinden biri olan yük bağımsızlık özelliği sağlanmaktadır:

$$R2R3 = R1(R4 + R5) \quad (2)$$

Bouchaala'nın Howland Devresi için yaptığı çalışmalara bakıldığında Howland devresinin büyük yük empedanslarında kararlı çalıştığı görülmüştür [13]. Abad da yaptığı çalışmalar

neticesinde Tietze Topolojisine göre Howland Devresinin daha büyük yük empedanslarında çalıştığını görmüştür [11]. Buradan hareketle Howland Devresinin Tietze Topolojisine göre daha elverişli olduğu anlaşılmaktadır. Bu sebeplerden dolayı çalışma kapsamında yapılan devre tasarımı Howland Topolojisine göre yapılmıştır. Bu çıkarımlar için benzetim çalışmaları uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde Tietze Topolojisi ile kurulan sistemin yüke göre çıkış akımının değeri ortalama olarak 8,88 mA olarak tespit edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Tietze Topolojisine Göre Yük Akım Değişimi

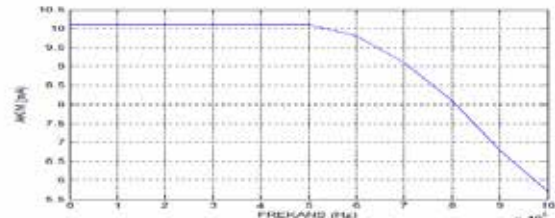
Tasarım aşamasında Howland yapısı üzerinde ayrıntılı bir biçimde benzeşim (simülasyon) çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar ile tasarımın yükten bağımsız çalışma ve frekans değişimleri karşısındaki tepkisi incelenmiştir. Yüke bağlı akım değeri yapılan benzeşim çalışmaları neticesinde ortalama olarak 9,99 mA şeklinde bulunmuştur. Bu değer istenilen değer olan 10 mA'ye en yakın sonuç olmasından dolayı Howland Topolojisi tercih edilmiştir.

Simülasyon sonuçlarının ışığında tasarım devre kartı haline getirilmiştir ve okuma devresi tasarımı yapılmıştır. Okuma devresinde yöntem olarak gömülü işlemci mantığı kullanılmıştır ve karakter LCD üzerinden akım genlik değeri görüntülenmiştir. Bu işlemin yapılabilmesi için gömülü sistem olarak tasarımda kullanılan MSP430G2553 işlemcisinde bulunan analog dijital dönüştürücü (ADC) operatörü kullanılmıştır. ADC ile okuma yapabilme ve okunan veriyi decimal formata çevirip LCD ekrana ayrı ayrı karakterler şeklinde gönderme işlemleri için algoritmalar geliştirilmiştir.

3. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında akım genlik değeri ayarlanabilen, 1 Hz – 1 MHz frekans bandında çalışabilen sinüzoidal sinyal üretebilen programlanabilir voltaj kontrollü gerilim kaynağı prototipi tasarlanmıştır (Şekil 7). İnsan vücudu dokusu referans alınarak 0 ile 2 kΩ aralığında farklı yükler için, deneysel sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 4).

Tasarımın doku üzerine uygulayabildiği akım değeri istenebilen frekans bandı için deneysel olarak tespit edilmiştir (Şekil 4).

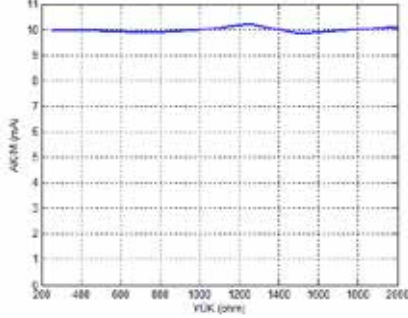


Tıbbi Cihaz Tasarımı 4

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

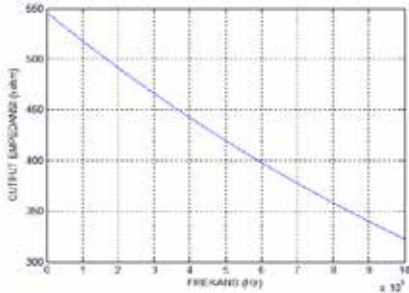
Şekil 4. Akıma Karşı Frekans Değişimi.

Sistem 0-2000 Ω arası yükler için test edilmiş ve akımın yükten bağımsız olarak uygulanabildiği görülmüştür (Şekil 5).



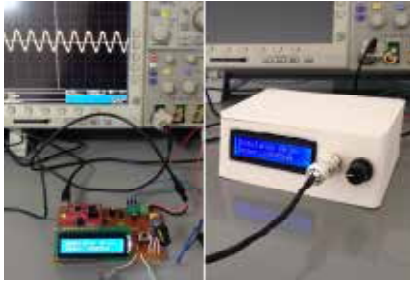
Şekil 5. Yük Akım Değişimi.

Tasarımın diğer önemli parametresi olan çıkış empedansı farklı frekanslar için deneysel olarak elde edilmiştir. Akım Kaynağının çıkış empedansı, 1 Hz - 1 MHz frekans bandında yaklaşık 550-350 k Ω aralığında olup, sistemin farklı frekanslarda yükten bağımsız olarak çalışabildiği tespit edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Akım Kaynağının 1 Hz – 1 MHz Frekans Bandında Çıkış Empedansının Değişimi

Deneysel ve simülasyon çalışmalarının sonucunda tasarlanmış olan voltaj kontrollü akım kaynağının 0-10 mA aralığında, 1Hz-1 MHz frekans bandında, biyomedikal uygulamalarda kullanılmak üzere güvenlik sınırlarında akım uygulayabildiği tespit edilmiştir.



Şekil 7. Tasarımın Devre Kartı ve Cihazın Prototipi Görüntüleri.

4. Kaynakça

- [1] I. G. H. Network. *Bernard Tellegen*. Available: http://www.ieeeeghn.org/wiki/index.php/Bernard_Tellegen
- [2] C. Toumazou, A. Payne, and J. Lidgley, "Current-feedback versus voltage feedback amplifiers: history, insight and relationships," in *Circuits and Systems, 1993., ISCAS'93, 1993 IEEE International Symposium on*, 1993, pp. 1046-1049.
- [3] F. Dickin and M. Wang, "Electrical resistance tomography for process applications," *Measurement Science and Technology*, vol. 7, p. 247, 1996.
- [4] M. Schuettler, M. Franke, T. B. Krueger, and T. Stieglitz, "A voltage-controlled current source with regulated electrode bias-voltage for safe neural stimulation," *Journal of neuroscience methods*, vol. 171, pp. 248-252, 2008.
- [5] C. Göksu, "A Programmable Current Source For Magnetic Resonance Current Density Imaging (MRCDI) At 3 Tesla," Master Thesis, Middle East Technical University, 2014.
- [6] K.-S. Cheng, C.-Y. Chen, M.-W. Huang, and C.-H. Chen, "A multi-frequency current source for bioimpedance application," in *5th International IEEE EMBS Special Topic Conference on Information Technology in Biomedicine*, 2006.
- [7] M. Sadighi, "Magnetic Resonance Conductivity Tensor Imaging (MRCTI) At 3 Tesla," Master Thesis, Middle East Technical University, 2014.
- [8] T. K. Bera and N. Jampana, "A multifrequency constant current source suitable for electrical impedance tomography (EIT)," in *Systems in Medicine and Biology (ICSMB), 2010 International Conference on*, 2010, pp. 278-283.
- [9] S. Armstrong and D. Jennings, "Current injection electrodes for electrical impedance tomography," *Physiological measurement*, vol. 25, p. 797, 2004.
- [10] Y. Wang, N. Li, H. Yu, Z. Sun, H. Nie, and H. Xu, "Study on Wide-band Voltage Controlled Current Source for Electrical Impedance Tomography," in *Intelligent System Design and Engineering Application (ISDEA), 2012 Second International Conference on*, 2012, pp. 1499-1502.
- [11] G. Özdemir, "Investigating The Multi-Frequency Performance Of Electrothermal Imaging : An Experimental Study," Master Thesis, Middle East Technical University, 2013.
- [12] D. Bouchaala, Q. Shi, X. Chen, O. Kanoun, and N. Derbel, "A high accuracy voltage controlled current source for handheld bioimpedance measurement," in *Systems, Signals & Devices (SSD), 2013 10th International Multi-Conference on*, 2013, pp. 1-4.
- [13] D. Bouchaala, X. Chen, Q. Shi, O. Kanoun, and N. Derbel, "Comparative study of voltage controlled current sources for bioimpedance measurements," in *Systems, Signals and Devices (SSD), 2012 9th International Multi-Conference on*, 2012, pp. 1-6.