

Farksal Yalıtılmış EKG Tasarımı ve Uygulaması

Gül Fatma TÜRKER^{1*}, İnan GÜLER²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü / ISPARTA

²Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü / ANKARA

Alınış Tarihi: 11.06.03.2012, Kabul Tarihi: 20.12.2012

Özet: Gelişen tıp sahasında ve hastanelerde teşhis ve tedavi için birçok alet ve cihaz kullanılır. Biyomedikal cihazlarda izolasyon, hasta ve cihaz arasında koruma sağlanması için gerekli bir sistemdir. Şebekeden kaynaklanabilecek her türlü tehlikeye karşı hastayı korumak tüm sistemlerde ön planda tutulmalıdır. Bu çalışmada, kalp sinyalinin vücuttan algılanmasını sağlayan bir EKG devresi tasarlanmış ve izolasyon işlemi optik bir izolatörle sağlanmıştır. Optik izolasyon işleminin temel prensibi hasta ile bağlantısı olan kısımlarla, hasta için tehlikeli olabilecek seviyedeki gerilimlerin bulunduğu görüntüleme cihazları arasındaki elektriksel bağlantıyı kesmektir. Uygulamada hastaya yönelik elektriksel şok riskini minimize etmek için EKG sinyalleri, görüntüleme cihazının bağlanacağı devre kısmına optik izolatör ile aktararak farksal yalıtım sağlanmıştır. İnsan hayatının önemi ve hastaların hassasiyeti düşünülerek uygulama gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: EKG, Farksal Yalıtım, İnsan Sağlığı, Optik Yalıtım.

Design and Implementation of Differential Isolated ECG

Abstract: Many instruments and equipments are used for diagnostic and treatment in hospitals and the field of medicine which develops. Isolation is a necessary system which provides the care between patient and machine in biomedical equipments. In all systems, to guard patient against the all kinds of the dangers, which can be occurred from the mains must be the most important subject. In this study, an ECG circuit is designed to detect heart beats from the body and isolation is made by an optical isolator. Main principle of optical isolation is to cut the electrical connection between the parts where the patient is connected to device and the display tools which runs on very high voltage that causes danger for the patient. In this application, in order to minimize the risk of electrical shock of patient, a differential isolation is provided by transferring the ECG signals in the circuit part where the monitoring device will be plugged in to by the help of an optic isolator. This application has been performed by considering the importance of the human life and sensitivity of patient.

Keywords: ECG, Differential Isolation, Human Health, Optic Isolation.

1. Giriş

Günümüzde ani ölümlerin büyük çoğunluğunun sebebi kronik bir hastalık olan kalp rahatsızlıklarıdır ve dünya genelindeki ölümlerin sebepleri arasında ilk sırada gelmektedir. Çeşitli kalp rahatsızlıklarından dolayı her yıl yaklaşık 7,2 milyon insan yaşamını kaybetmektedir [Mackay vd., 2007]. Tanı amaçlı kullanılan EKG (elektrokardiyogram) işaretleri insan vücudu üzerinde algılanabilen ve kalbin elektriksel aktivitesinin sonucu olarak ortaya çıkan belli tipteki biyolojik işaretlerdir [Yazgan ve Korurek, 1996]. Hayati önem taşıyan kalpteki ritim bozukluklarının önceden tespit edilebilmesinde, EKG verilerinin değerlendirilmesi önemlidir. Tanı amaçlı EKG sinyalleri deri yüzeyinden çeşitli bağlantı şekilleri ile algılanır, yükseltilir ve gözlenir [Gomez, 2002].

EKG tasarımında ölçüm sistemi için 0.05- 150 Hz arasında bir bant genişliği önerilmiştir. Biyolojik işaretlerin deri üzerinden algılanmasında kullanılan yüzey elektrot çeşitleri: Metal plaka, gezici tip, bükülebilir, emici düzenli, tümüyle atılabilir ve kuru elektrotlardır. Biyolojik işaretlerin kuvvetlendirilmesinde kullanılan kuvvetlendiricilere biyopotansiyel kuvvetlendirici adı verilmektedir. Biyolojik işaret fark işaretleri şeklinde olduğundan, bunların kuvvetlendirilmelerinde kullanılan

Kuvvetlendiriciler de fark kuvvetlendiricileri şeklindedir [Fidan, 2006].

Gelişen teknoloji ile birlikte hastalıkların tanı tedavi süreçlerinde çok sayıda tıbbi cihaz kullanılır. Hasta ile direkt temas halinde olan cihazlarda izolasyon önemlidir. Şebeke gerilimi ile desteklenen bu cihazlardan kaynaklanabilecek voltaj etkilerinden hastayı korumak gerekir. EKG cihazlarında izolasyon çalışmaları 1990' yıllarda uygulanmaya başlamıştır [Metting Van Rijn vd., 1993]. Optik, kondansatörlü, manyetik izolasyon ve izolasyon yükseltici gibi çeşitli izolasyon tekniklerinin kullanıldığı EKG cihazları gerçekleştirilmiştir [Petrov, 2004; Lim, 2004; Transito vd., 2007 ; Piipponen vd., 2007]. Bir LED, bir foto direnç ya da bir foto transistör kullanılan optik izolasyon tekniği kullanımı oldukça yaygındır [Mimouni ve Karim, 2011]. Farklı bir yöntem olarak 8051 mikro denetleyicisi ile tasarlanmış izolasyon sağlayan tek kaynak beslemeli EKG gerçekleştirilmiştir [Almejrjad, 2012].

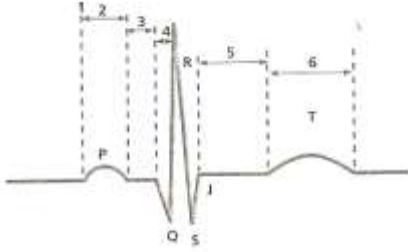
Bu çalışmanın ilk bölümünde EKG ve Farksal Yalıtımın önemi hakkında genel bilgi verilmiş, yapılan uygulamalar anlatılmıştır. İkinci bölümde kalp hastalıklarının önceden tespit edilip, hızlı bir şekilde teşhis, tedavisi ve hastanın güvenliği için Farksal Yalıtılmış EKG cihaz tasarımı,

*gulturker@sdu.edu.tr

uygulaması verilmiştir. Üçüncü bölümde ise gerçekleştirilen uygulamanın bulguları, sağladığı katkıları değerlendirilmiştir. Son bölümde ise sonuç ve öneriler verilmiştir.

2. Farksal Yalıtılmış EKG Tasarımı ve Uygulaması

Bir EKG sinyalinde P, Q, R, S, T ve U harfleri dalgaları tanımlayan harflerdir. Kalp kasının kulakçık ve karıncık ile ilgili elektriksel titreşimlerini ifade etmektedir.



Şekil 2.1. EKG 'de Dalgalar, Aralıklar ve Segmentlerin İsimlendirilmesi

- 1: Uyarının sinoatriyal çıkışı
- 2: Atriyal aktivasyon
- 3: Atriyovenriküler iletim
- 4: Ventrikül aktivasyon zamanı
- 5: Ventriküllerin tam olarak depolarize olması
- 6: Ventrikülerrepolarizasyon

Kalp Hızına Göre P-R ve Q-T Aralığının Maksimum Değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

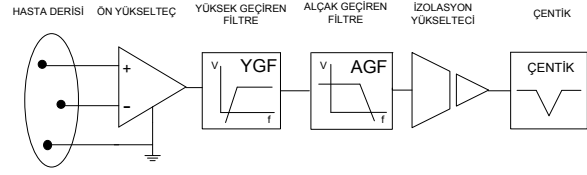
Çizelge 2.1. Kalp Hızına Göre P-R ve Q-T Aralığının Maksimum Değerleri

	P-R (sn)	Q-T
50	0.21	0.40
60	0.20	0.38
80	0.18	0.34
100	0.16	0.30
120	0.14	0.28

Kalp kası hücrelerine “miyokard hücreleri”, tümüne birden ise miyokard denir. Kalp kası elektriksel olarak uyarılınca kasılır ve miyokard hücrelerinin depolarizasyonu-repolarizasyonu sayesinde elektriksel sinyaller hücreden hücreye yayılır [Dubin, 2003]. Bu olay hücreden hücreye yayılmakla kalmaz, vücut yüzeyine de iletilir. Deri yüzeyinin değişik bölgelerine yerleştirilen elektrotlar kablolar aracılığı ile Elektrokardiyografa bağlanarak elektriksel olay tespit edilir [Acartürk, 2001]. Bu şekilde oluşturulan elektriksel devrelere derivasyon denir. Standart derivasyonlar Bipolar ya da Unipolar olarak düzenlenir. Bipolar derivasyonlar bedeninin iki nokta arasındaki potansiyel farkını göstermesine karşılık, Unipolar ve göğüs derivasyonları, belirli bir noktadaki derivasyonu gösterir [Bronzino, 1999]. Uygulamada Bipolar bağlantı şekli tercih edilmiş ve biyoelektrik potansiyelin aktarılmasında kullanılan elektrokimyasal

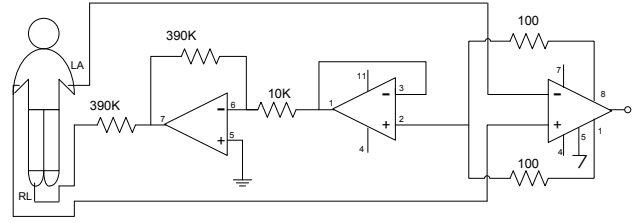
dönüştürücüler yani elektrotlar tek kullanımlık atılabilir tipte seçilmiştir.

Gerçekleştirilen sistemin blok diyagramı şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. EKG Yükselteç Devresinin Ölçüm Düzeni

Ön yükselteç: Şebeke kaynaklı işaretlerin insan vücudu aracılığı ile toprağa akması sonucu meydana gelen şebeke gürültülerini engellemek maksadı ile kullanılan devrenin adına “sağ bacak sürücüsü” denilmektedir. Sağ bacak elektrodu tüm ölçümler için referans elektrodu olarak kullanılmaktadır. Sağ bacak sürücü devresinde (Şekil 2.3), vücut üzerindeki ortak mod gerilimi kuvvetlendirildikten sonra hastanın sağ bacağına geri beslenir. Bu işlem CMRR'nin düşük bir değere sürülmesini sağlar.



Şekil 2.3. Sağ Bacak Sürücüsü ve Enstrumantasyon Katı

Vücuttaki işaretler fark sinyalleri şeklindedir ve bu işaretlerin kuvvetlendirilmesi için özellikle ortak mod işareti bastırılmış biyolojik işaretlerin yükseltilmesi amacıyla kullanılan enstrumantasyon yükselteçleri kullanılır. Bir enstrumantasyon yükselteci üç işlemsel yükselteç içeren yapıdan geliştirilmiştir. Her bir girişteki sinyal giriş sinyallerinin ortalamasına eşit olan ortak mod gerilimi yükseltilir. Kullanılan INA128 entegresi 500 kat yükseltme işlemi gerçekleştirmiştir.

EKG yükselteçlerinde kullanılan filtre katları vücuttan alınan EKG sinyalleri üzerinde yer alan ve gürültü olarak isimlendirilen harici sinyallerin bastırılmasını sağlamaktadır. Ayrıca belirli bir frekans bandını geçiren ve bu frekans bandı dışındaki frekansların tamamını zayıflatacak şekilde dizayn edilmiş filtre devreleri kullanılır. 0.05 ve 105Hz'lik bant aralığına sahip EKG sinyalini elde edebilmek için bant geçiren filtre (BGF) tasarımı, 105 Hz bir alçak geçiren filtre (AGF) ve 0.05 Hz bir yüksek geçiren filtrenin (YGF) kaskad bağlanması ile gerçekleştirilir. Bu filtreler sağ bacak sürücüsünden sonra eklenir. Sağ bacak çıkışından elde edilen sinyal 3. dereceden kesim frekansı 0.05 Hz belirlenmiş bir YGF devresinden geçirilir. Böylece oluşturulmak istenen BGF'nin alt kesim frekansı belirlenmiş olur. BGF'nin üst kesim frekansını belirleyen 3. Dereceden bir AGF ile filtre tamamlanır. Bu filtre ile sistemin üst kesim frekansı 105 Hz belirlenmiş olur.

2.1 Elektriksel İzolasyon

Modern biyoelektrik yükselteçlerde dahili kardiyak şok olayını önlemek için direkt hasta bağlantısında, özellikle EKG takibi esnasında, yalıtım yükselteci (isolationamplifier) kullanılmaktadır. Bu yükselteçler hasta bağlantısı ile AC güç hattı arasında $10^{12} \Omega$ 'a kadar varan yalıtımlar sağlayabilir. Yalıtım engelleri optik, manyetik transformatör, kapasitif ve ısı transferi olabilir. Yalıtım yükselteçleri zayıflatma prensibine göre çalışmakta olup, yüksek gerilimi zayıflattığı gibi gürültüyü de zayıflatır. Modern Yalıtım yükseltecin amaçları:

- Toprak çevrimlerini birbirinden ayırarak iki uyumsuz devreyi bir araya bağlarken gürültüyü zayıflatmak.
- İnsanların ve cihazın zarar görmesine neden olacak kaçak akımları engellerken işaretleri yükseltmek
- İnsanları devreleri ve cihazları korumak üzere çok yüksek gerilimlere dayanabilmek

Bataryalı Yalıtım: Biyoelektrik yükselteç AC beslemeli bir modeldekinin aynısıdır. Tek farklılık sistemin batarya ile beslenmesidir. Bir bütün halinde tek başına kullanılabilir niteliktedir. En kolay yöntem olarak görünmesinin yanında bataryanın bakımı açısından uygun olmayabilir.

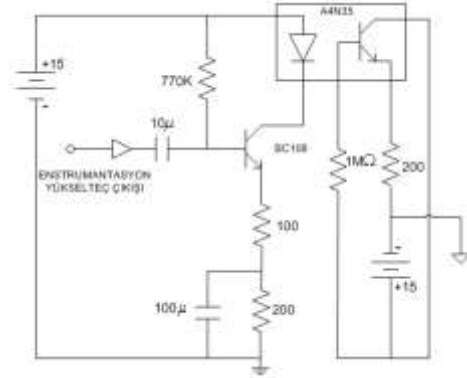
Taşıyıcı Yalıtım: Bu sistemde transformatör kullanılır. Transformatörlerin çekirdekleri 50 Hz'de verimi düşük fakat 20 kHz ile 250kHz arasında oldukça yüksek olan özel bir maddeden yapılmıştır. Bu özellik, transformatörlerin taşıyıcı frekans bandındaki işaretleri kolayca geçirirken 50 Hz frekansındaki işaretleri bastırmasını sağlar.

Optik Kuplaj: Elektronik optokuplörler yalıtım işlemini sağlamak için kullanılırlar. Bu tip yalıtım sisteminde ışık yayan LED ile bir foto direnç veya foto transistör kullanılır.

Akım Yüklemeli: Akım yüklemeli yalıtım tekniği portatif EKG monitörlerde kullanılmıştır. Yalıtım için kullanılan transformatör yalıtılmış taraftaki topraklanmamış besleme kaynakları ile yalıtılmamış taraftaki şehir şebekesi arasında izolasyon sağlar [Carr ve Brown, 1998].

Uygulamada izolasyon işlemi optik bir izolatörle sağlanmıştır (Şekil 2.3). Optik izolasyon işleminin temel prensibi hasta ile bağlantısı olan kısımlarla, hasta için tehlikeli olabilecek seviyedeki gerilimlerin bulunduğu görüntüleme cihazları arasındaki elektriksel bağlantıyı kesmektir. Bunun için bir çeşit modülasyon işlemi yapılır. Optik izolatörlerde kullanılan optik elemana optokuplör denir. Optokuplörün hasta ile bağlantılı olan kısmı izoleli gerilim denilen ve şehir şebekesi geriliminden izole edilmiş bir gerilimle beslenmektedir. Optokuplör girişine uygulanan sinyal ile girişteki ışık yayan elemanın yaydığı ışığın şiddeti değiştirilerek, sinyal değişimi bir ışık değişimine çevrilir. Görüntüleme ve sinyal işleme cihazları tarafına bağlı olan optokuplör çıkış tarafında bulunan ve üzerine düşen ışıkla ve üzerinden geçen akımın değişmesine olanak sağlayan bir optik eleman

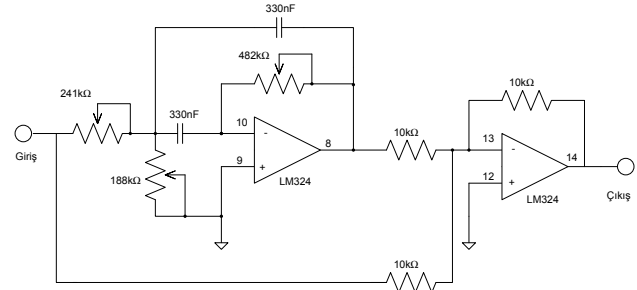
vasıtasıyla ışık değişimi tekrar akım değişimine, o da bir direnç üzerinden geçirilerek gerilim değişimine çevrilir. Böylece devrenin her iki yanı arasında bir elektriksel bağlantı olmadığında, sinyal bağdaştırılması sağlanmış olur. Uygulamada kullanılan Optoizolatör devresi Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Optoizolatör Devresi

Gerçekleştirilen projede kullanılan optokuplör altı bacaklı 4N35'tir. 4N35'in giriş kısmında bir LED, çıkış kısmında ise ışığa duyarlı bir transistör bulunmaktadır. Bu optokuplör girişi ve çıkışı arasında 2.5 kV'luk bir izolasyon sağlayabilir.

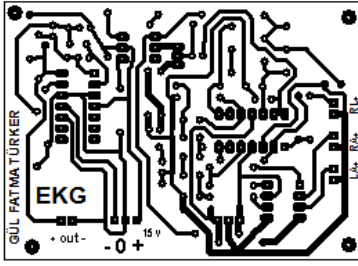
50 Hz'lik şebeke frekanslı gürültülerin zayıflatılmasında notch filtre devresi kullanılır. Tasarımda gerçekleştirilen notch filtre devresi, BW= 2 alınarak 49-51Hz frekans aralığında kullanılmıştır. Şekil 2.5'de Notch filtre devresi verilmiştir.



Şekil-2.5. BandDurduran (notch)- Çentik Filtre Devresi

3. Araştırma ve Bulgular

Çeşitli elektriksel izolasyon tekniklerinden biri olan Optik Kuplaj yalıtımı, Optoizolatör devresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan Farksal Yalıtılmış EKG devresinin uygulama kart baskı devre şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Farksal Yalıtılmış EKG Baskı Devre Şeması

Şekil 3.2’de gerçekleştirilen EKG devresinin yalıtım sonrası çıkış sinyali verilmiştir. EKG devresi çıkış sinyalinde Q,R,S,T ve U harfleri dalgaları tanımlanabilir ve tanı-tedavi amaçlı kullanılabilir.



Şekil 3.2. Farksal Yalıtılmış EKG Cihazı Çıkış Sinyali

4. Sonuç ve Öneriler

Uygulaması yapılan Farksal Yalıtılmış EKG devresinde hastanın EKG işareti elde edilerek, bu işaretin arada hiçbir yalıtım engeli olmaksızın bağımsız bir kaynakla beslenen farklı bir noktadan çıkışı elde edilmiştir. Farklı kaynakların ayrı ayrı şaseleri olması sayesinde istenilen izolasyon sağlanmış ve hasta şebeke geriliminin ani değişimlerinden korunmuştur. Farksal yalıtımı sağlamak için IL300 analog Optokuplör kullanılmıştır. Uygulamada lineer bir sonuç elde edebilmek için IL300 analog Optokuplör’ün girişine bir toplayıcı, EKG sinyalinin eksi kısmını sıfıra çekecek bir devre ekleyerek sinyalin çıkışa aktarılmasına dikkat edilmelidir.

Yalıtım katında izolasyon entegresi temin edilerek hasta ve şebeke birbirinden yalıtılabilir. Ancak hazır bir entegrenin maliyeti Optokuplör devre elemanına göre daha yüksektir. Bir cihazın seri üretiminde maliyetin önemi üreticiler için önemlidir, doğrudan izolasyon entegresi kullanmak tercih edilmemektedir. Diğer bir yöntem transformatör kullanılarak yapılabilir ancak burada da frekans ayarının dikkate alınması gerekir. Araştırmalarda, hastanelerde kullanılan EKG cihazlarında transformatör ile yalıtım sağlanmıştır. Optik yalıtım sağlayan sistemlerin diğer yalıtım sistemlerine göre üstünlüğü maliyetlerinin oldukça düşük olmasıdır. Optik yalıtım sağlayan sistemlerin lineerlik sorunu dikkate alınarak üretildiğinde hastanelerde kullanılabilir olduğu gözlenmiştir.

5. Kaynaklar

- Acartürk, E.2001. Pratik Elektrokardiyografi, Kare Yayınları, Adana, 338 pp.
- Almejrada, S.A. 2012. A SingleSupplyStandard 8051 MicrocontrollerBasedMedical K-gradeIsolation ECG Modulewith Graphics LCD.2012 Second International Conference on IntelligentSystem Design andEngineering Application.6-7 Ocak, Sanya, HainanChina.
- Bronzino, J.D. 1999.The Biomedical Engineering Handbook 2nd Edition,Principles of Electrocardiography, CrcPress, TrinityCollege, Hartford,USA, 84 pp.
- Carr, J.J., Brown, J.M. 1998. Introduction to Biomedical Equipment Technology, PrenticeHall, Third Edition, UpperSaddleRiver, New Jersey, 743 pp.
- Dubin, D., Çeviri: Namık, M.2003. Hızlı EKG Yorumu, Türkiye klinikleri kitabevi, Ankara, 336 pp.
- Fidan, U. 2006, Biyolojik İşaretlerin Kablosuz İletilmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 92s.
- Gomez, P. 2002. EKG SignalProcessing : An Algorithm to detectandaling QRS Complexes.Florida nternational University, Miami, 33pp.
- Lim, K.Y., Kim, K.K., Suk, K. 2004. The ECG Measurement in the Bathtub Using the Insulated lectrodes. IEMBS’04 26th Annual International Conference of the IEEE, 1-5 Eylül, San Francisco, CA.
- Metting Van Rijn, C.A, Kuiper, P.A., Linnenbank, C.A, Grimbergen, A.C. 1993.PatientIsolation in Multichannel Bioelectric Recordings by Digital Transmission Through a Single Optical Fiber. 302 IEEE Transactions on BiomedicalEngineering,40, 302-308.
- Mimouni H., Karim M., 2011. Design andImplementation of an Embedded System for Ambulatory Cardiac Monitoring. 2011 International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications IEEE,26-28 Ekim, Barcelona, Spain.
- Petrov, G.K. 2004. Lowcost ECGsystemfornon-hazardouse.Meeting the Challenges of Electronics Technology Progress, 27th International Spring Seminar on, 13-16 Mayıs, Sofia, Bulgaria.

- Piipponen, K.V.T. Sepponen, R., Eskelinen, P. 2007. A Biosignal Instrumentation System Using Capacitive Coupling for Power and Signal Isolation, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 54, 1822-1828.
- Transito, T.J.Y. Martinez, R., Infante, O. 2007. Electrocardiograph of Twelve Derivations, Low Current Consumption, Powered and Communicated for USB. 4th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE 2007), 5-7 Eylül, Mexico.
- Mackay, J., Mensah G.A., Greenlund, K. 2004. The Atlas of Heart Disease and Stroke. World Health Organization, Brighton, 112 pp.
- Yazgan, E. Korürek, M. 1996. Tıp Elektronikliği. İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörlüğü, Yayın No: 1574, İstanbul, 386 pp.