

Elektroterapi Uygulamaları için Tekfaz Dikdörtgen Dalga Çıkışlı Programlanabilir bir Sinir Uyarım Cihazı

A Programmable Nerve Stimulator Device with Monophasic Rectangular Wave Output for Electrotherapy Applications

Erdal C. Çam ve Gökhan Ertas

Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Yeditepe Üniversitesi
gokhan.ertas@yeditepe.edu.tr

Özetçe

Bu çalışma kapsamında taşınabilir, programlanabilir, tek kanal ve tek fazlı dikdörtgen dalga çıkışı veren bir transkutanöz elektriksel sinir uyarım cihazı geliştirilmiştir. Cihaz 5cm² yüzey alanına sahip kendinden yapışkanlı karbon-kauçuk bir çift elektrotla sahiptir. Elektrotlar üzerinden tatbik edilen yüksek genliğe sahip uyarıcı dalgalar düşük genlikli hallerinden bir trafo yardımıyla elde edilmektedir. İstenen frekanslara ve uyarı sürelerine sahip tek fazlı uyarıcı dalgaların düşük genlikli halleri trafo sürücü devresinde yer alan mikrodenetleyici tarafından yazılımsal olarak üretilmekte ve genlikler elle bir değişken direnç yardımıyla ayarlanmaktadır. Cihaz çıkışındaki dalga 15Hz-250Hz frekans aralığında ve 0-79mA akım aralığında olabilmektedir. Geliştirilen cihaz +9V pille çalışmaktadır ve tek kanal çıkış vermektedir. Bununla birlikte istendiğinde harici bir güç adaptörüne bağlanmasına imkân tanıyan bir güç soketine sahiptir ve iki kanal çıkış verecek şekilde kolayca güncellenmesi mümkündür.

Anahtar Kelimeler — *Elektroterapi; mikrodenetleyici; tek faz.*

Abstract

In this study, a portable and programmable transcutaneous electrical nerve stimulation device providing a single channel and single-phase rectangular wave output has been developed. The device is equipped with a pair of carbon-rubber self-adhesive electrodes with a surface area of 5cm². High amplitude stimulation pulses applied across the electrodes are produced by a transformer from the low-amplitude states. Select the desired frequency and notice period to the owners of single-phase stimulus of low amplitude waves where the software is produced by the microcontroller within the transformer driver circuit and the amplitude is set manually by using a variable resistor. The device provides wave outputs of 0-79 mA current range and 15Hz-250Hz frequency range. The device developed is operated with a 9V battery and offers a single-channel output. However, if required, it has a power socket allowing to connect to an external power adapter and it can be easily upgraded to provide two-channel outputs.

Keywords — *Electrotherapy; microcontroller; single-phase.*

1. Giriş

Başlıca fizik tedavi yöntemlerinden biri olan elektroterapi deri yüzeyi, deri altı dokuları ve derin kas gruplarının elektriksel uyarılarla aktive edilmesi esasına dayanmaktadır. Uyarılar birçok fizyolojik etkiye ve tepkiye yol açar. Örneğin metabolizma hızlanır, kılcak damarlar genişler, kan dolaşımı artar. Öte yandan, ağrı tedavisi deri yüzeyine yakın sinirlerin elektriksel sinyallerle uyarılmasıyla mümkün olmaktadır. Bu amaca yönelik transkutanöz elektriksek sinir uyarımı yöntemi uzun süren ağrıların, cerrahi sonrasında gelişen ağrıların ve hatta kaslardan yada eklemlerden kaynaklanan ağrıların tedavisinde kullanılmaktadır. Yan etkisi olmayan bir tedavi seçeneği sunan bu yöntem aynı zamanda ağrı kesici ilaç alamayan hastalar içinde bir çözüm sunmaktadır. Bunlarla birlikte alışkanlık yapma potansiyeline sahip ağrı kesici ilaçlar ile birlikte kullanıldığında hastanın bağımlılık geliştirmeden tedavi edilmesine imkan tanımaktadır [1].

Transkutanöz elektriksel sinir uyarım temelli cihazlar düşük şiddetli akımlar üretilip bu akım sinyallerini cilde yapıştırılan elektrotlar aracılığı ile deriye iletirler [2]. Bu sinyaller deri altında yer alan sinirlerle ve oradan sinirler aracılığı ile beyne ulaştırılır. Beyin kendisine ulaşmakta olan bu sinyaller ile ağrı duyusunu yer değiştirir. Sonuç olarak ağrı algılanmaz hale gelinir. Ekin sonuçlar elde edilmesi uygun cihaz seçimine oldukça bağlıdır. Transkutanöz elektriksel sinir uyarım temelli cihazlar için birçok ortak parametreler söz konusudur. Bunlar uygulanacak dalga tipi, dalga genliği, dalga frekansı ve darbe süresidir. Dalga tiplerinin başlıcaları tek fazlı dalga, iki fazlı dalga ve iki fazlı asimetrik dalgadır [3]. Dalga genliği kullanıcının algı hassasiyetine göre değişse de azami 80V olmaktadır [4]. Doku direnci 1kΩ kabul edildiğinden ötürü, bu genlik değeri 80mA akıma karşılık gelmektedir. Dalga frekansı ve darbe süresi uygulama amacına göre değişiklik gösterse de sırasıyla 1-200Hz ve 50-400µs aralığında değer almaktadır. Kliniklerde kullanılan terapi cihazları şebeke geriliminden beslenirken, günlük kullanıma yönelik taşınabilir cihazlar genelde +9V pil ile çalışmaktadır. Elektroterapi uygulama süresi hedeflenen terapiye göre değişiklik göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında taşınabilir, programlanabilir, tek kanal ve tek fazlı dikdörtgen dalga çıkışı veren bir Transkutanöz elektriksel sinir uyarım cihazı geliştirilmiştir. Cihazın detaylı anlatımı aşağıda verilmektedir.

Tıbbi Cihaz Tasarımı 1

2. Geliştirilen Cihaz

Geliştirilen cihaz iki elektrottan, bir trafo ve trafo sürücü devresinden, bir mikrodenetleyiciden ve bir gerilim besleme katından oluşmaktadır.

2.1. Elektrotlar

Farklı şekil ve boyutlarda elektrotlar bulunsada geliştirilen cihaz güçlü uyarımdan kaçınmak ve arzulanmayacak ağrı artışlarına sebep vermemek için 5cm² yüzey alanına sahip kendinden yapışkanlı karbon-kauçuk bir çift elektrota sahiptir (Bakınız Şekil 1). Öte yandan unutulmamalıdır ki uyarılması hedeflenen bölge ile elektrotlar arasında empedans uyumu sağlamak ve akım kayıplarını en aza indirmek için elektrot yüzeylerine jel sürülmesi fayda sağlamaktadır.



Şekil 1: Elektrotlar.

2.2. Trafo

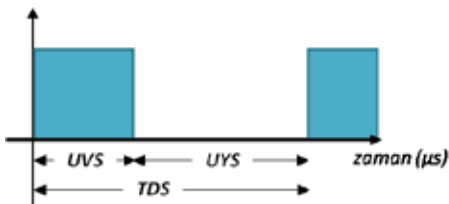
Cihazda elektrotlar üzerinden tatbik edilen yüksek genliğe sahip uyarıcı dalgalar düşük genlikli hallerinden bir trafo yardımıyla elde edilmektedir. Bu amaca yönelik olarak 220:12 çevirme özellikli bir trafo; birincil sargı tarafına elektrotlar ve ikincil sargı tarafına trafo sürücü devresi çıkışı bağlanmak suretiyle 1:18,3 oranında yükseltme yapacak biçimde çalıştırılmaktadır.

2.3. Trafo Sürücü Devresi

İstenen frekanslara ve uyarı sürelerine sahip tek fazlı uyarıcı dalgaların düşük genlikli halleri trafo sürücü devresi tarafından üretilmektedir. Bu sürücü devresi bir mikrodenetleyici, iki transistor, bir LED, bir diyot ve biri ayarlanabilir olmak üzere üç dirençten oluşmaktadır.

Ayarlanabilir dirençle kullanıcı algı seviyesine göre uyarım dalgasının genliğini (yoğunluğunu) elle ayarlamaktadır. İdeal durum göz önüne alındığında, azami genlik +4,3V olmaktadır. Bundan ötürü elektrotların bağlandığı trafo çıkışında $4,3V \times 18,3 \cong 79V$ azami gerilim elde edilebilmektedir. Elektroterapide doku direnci 1k Ω olarak düşünüldüğünde, bu gerilim çıkışta azami 79mA akıma karşılık gelmektedir.

Belli bir frekansa ve belli bir darbe genişliğine sahip tek fazlı uyarım dalgası mikrodenetleyici tarafından yazılımsal yöntemle üretilmektedir. Dalga frekansı, DF için toplam dalga süresi, TDS mikro saniye cinsinden hesaplanır: $TDS = 10^6/DF$. Darbe genişliği uyarı var süresi, UVS olarak temsil edildiğinde uyarı yok süresi $UYS = TDS - UVS$ olarak hesap edilir (Bakınız Şekil 2)



Şekil 2: Zamanlama diyagramı.

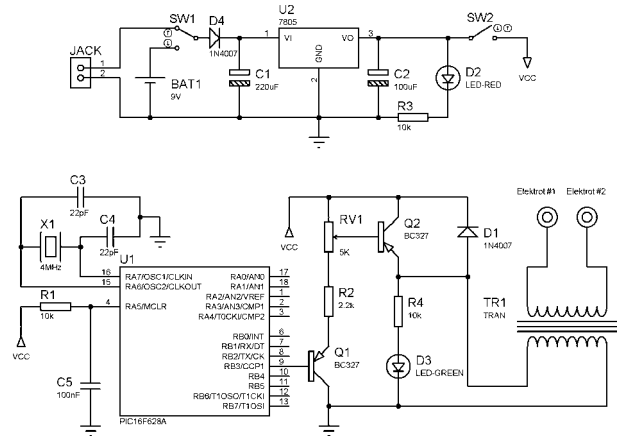
2.4. Mikrodenetleyici

Geliştirilen cihazda PIC16F628A mikrodenetleyicisi bulunmaktadır. İki port üzerinden giriş/çıkış olarak programlanabilir on altı olmak üzere toplamda on sekiz bacağına sahip bu mikrodenetleyicinin bu uygulamada RB3 bacağı hesaplanmış uyarı var süresince mantıksal bir seviyesine ve hesaplanmış uyarı yok süresince mantıksal sıfır seviyesine çekilerek bu bacağına bağlı transistor çalıştırılarak hedeflenen dalga formu üretilmektedir.

Yukarıda anlatılan yazılımsal dalga üretimi için gerekli fonksiyonları yerine getiren mikrodenetleyici programı Proton IDE ortamında Proton Basic programlama diliyle kodlanıp derlendikten sonra bir PICkit2 programlayıcısı kullanılarak mikrodenetleyiciye yazılmıştır.

2.5. Gerilim Besleme Katı

Tasarlanan cihazda yer alan mikrodenetleyici ve trafo sürücü katı +5V DC gerilimle beslenmektedir. Bu gerilim, +9V'luk bir pilden uygun kondansatörler bağlanmış LM7805 voltaj düzenleyici tümeleşik devresi içeren bir pozitif besleme katı tarafından sağlanmaktadır. Cihaz ihtiyaca göre pil yerine harici bir güç adaptöründen de beslenebilmektedir. Tasarlanmış olan cihazın tüm elektronik devresi Şekil 3' de görülmektedir. Şekil 4' te ise cihazın önden, arkadan ve üstten iç görüntüsü görülmektedir.



Şekil 3: Cihaza ait tüm elektronik devre.

3. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında elektroterapi uygulamalarında kullanılabilecek taşınabilir tek kanal bir elektronik cihaz geliştirilmiştir. Cihaz belli bir frekansta belli bir darbe süresine sahip yoğunluğu ayarlanabilir tek faz dikkörtgen dalga çıkışı verebilmektedir. İstenen dalga formunun üretilmesi yazılımsal olarak mikrodenetleyici tarafından gerçekleştirilmektedir. Mevcut yapı asgari 15Hz ve azami 250Hz frekansta dalga üretimine imkân tanımaktadır. Öte yandan dalga yoğunluk ayarı kullanıcı tarafından değeri elle değiştirilen bir ayarlanabilir dirençle yapılmaktadır.

Örnek uygulamada 50Hz tek fazlı 50Hz frekansa ve 100us darbe genişliğine sahip bir kare dalga üretilmiştir. Bu dalga için toplam darbe süresi 20.000us olarak ve uyarı yok süresi, uyarı var süresinin 100us olarak verildiğinden, 19.900us olarak hesaplanmıştır.

Geliştirilen cihaz +9V pille çalışmaktadır ve tek kanal çıkış vermektedir. Fakat istendiğinde harici bir güç adaptörüne

Tıbbi Cihaz Tasarımı 1

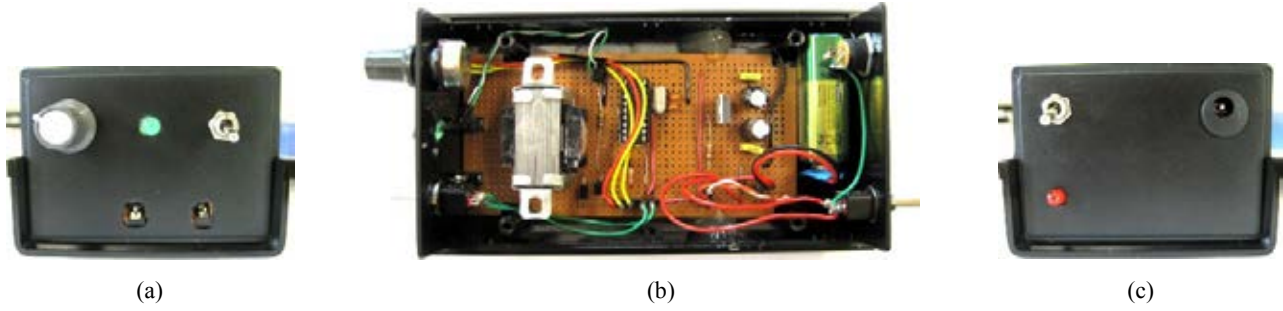
1. Gün / 15 Ekim 2015, Perşembe

bağlanmasına imkân tanıyan bir güç soketine sahiptir ve iki kanal çıkış verecek şekilde kolayca güncellenmesi mümkündür. Elektroterapide etkin sonuçlar alınmasında dalga yapısı kadar uygulama süresi ve uygulama sıklığı da önem arz etmektedir.

İleride cihaza süre ayarı yapılmasına ve uygulama zamanlarını kaydetmesine imkân tanıyacak gerçek zamanlı bir saat devresi eklemeyi planlamaktayız. Öte yandan, terapinin etkinliği farklı frekanslarda ve farklı birleşimlerde dalgaların kullanımıyla arttırılabilmektedir. Bu yeteneği kazandırmak için cihaza bir SD kart modülü eklemeyi ve cihaza uygulayacağı dalgayı veya dalgaları bir SD kartla bildirmeyi planlamaktayız. Daha etkin kullanım için yoğunluk ayarlamasını mikrodenetleyici kontrollü programlanabilir sayısal direnç tümleşik devresiyle gerçekleştirmek diğer bir planımız olmaktadır.

4. Kaynakça

- [1] Graupe, D. ve Kohn, KH., "Transcutaneous functional neuromuscular stimulation of certain traumatic complete thoracic paraplegics for independent short-distance ambulation," *Neurolog. Res*, 19, 323-333, 1997.
- [2] Banerjee, G. ve Johnson, MI., "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS): A potential intervention for pain management in India?," *Indian J Pain*, 27, 132-141, 2013.
- [3] Jones, I. ve Johnson, MI., "Transcutaneous electrical nerve stimulation," *Contin Educ Anaesth Crit Care Pain*, 9, 130-135, 2009.
- [4] Koçer, S., Rahmi, CM. ve Güler, İ., "Design of low-cost general purpose microcontroller based neuromuscular stimulator," *J Med Syst*, 24, 91-101, 2000



Şekil 4: Cihazın (a) önden, (c) yukarıdan iç ve (d) arkadan görünüşü.