

YÜRÜYEN DALGA ULTRASONİK MOTOR İÇİN SAYISAL DENETİMLİ BİR KOMPAKT HIZ SÜRÜCÜSÜNÜN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A DIGITALLY CONTROLLED COMPACT SPEED DRIVER FOR TRAVELLING WAVE ULTRASONIC MOTOR

Altan GENCER¹

¹Seyyid Burhaneddin Endüstri Meslek Lisesi, MEB, 38070, Kayseri.
altangencer@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 15.12.2012, Kabul Tarihi/Accepted: 01.03.2013
*Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2013.92400

Özet

Bu makalede, yürüyen dalga ultrasonik motor için sayısal denetimli kompakt bir hız sürücüsü tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Sürücü basit, hafif ve küçük olmakla beraber ultrasonik motorun hız ve yön komutları sayısal olarak girilirken gerçek motor hızı, gerilimi ve akımı bir display üzerinden izlenebilmektedir. Gerçekleştirilen sayısal denetimli sürme sisteminin deneyleri değişik hız ve yük şartlarında laboratuvarında yapılmış ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Ultrasonik motor, Dijital kontrol, LCD.

Abstract

In this paper, a compact size digitally controlled speed driver for travelling wave ultrasonic motor was designed and implemented. Although the driver system is light in weight, simple, small in size, it is possible to enter speed and direction digitally as well as tracking the real motor speed, voltage and current on an LCD. The implemented system was tested in a laboratory for different speed and load cases and obtained results are presented.

Keywords: Ultrasonik motor, Digital control, LCD.

1 Giriş

Günümüzde ultrasonik motorlar endüstride, robot ve otomotiv uygulamalarında servo sistem olarak özel ilgi çekmektedir [1].

Endüstrideki gelişmelere paralel olarak motorların yüksek hız, yüksek moment, küçük boyut ve uzun ömürlü olmaları istenmektedir. Bu sebeplerden dolayı yeni motor tasarımları geliştirilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca yarı iletken teknolojisinin gelişmesi sonucunda sürme devrelerinin daha ucuz sağlanabilmesi de motor tasarımlarına hız verilmesinde etkili olmaktadır. Yeni olarak geliştirilen ve yapısında piezoelektrik malzemelerin kullanıldığı motorlara ultrasonik motorlar (USM) denilmektedir [1,2]. Ultrasonik motorun hız denetimi;

- Uygulanan gerilimlerin frekansı,
- Uygulanan gerilimlerin genliği,
- Uygulanan gerilimler arasındaki faz farkı,

değiştirilerek yapılabilmektedir. Genellikle USM hız denetiminde, uygulanan gerilimin frekansı kontrol etme metodu en geniş hız denetim aralığına sahip olduğundan, en çok tercih edilen yöntemdir [3].

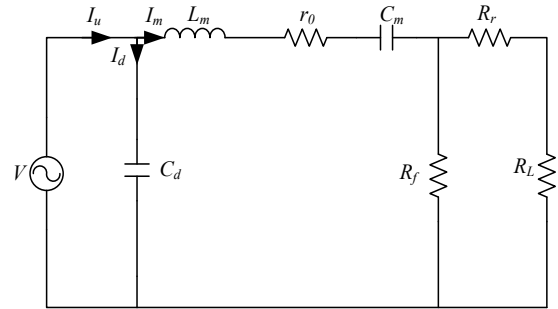
Ultrasonik motorun hız denetimi "Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM)" algoritmalarına da oldukça bağımlıdır. Bugüne kadar farklı DGM algoritmaları geliştirilmiş ve matematiksel olarak analiz edilmiştir [4-6]. Shinse-i üretici firmasının ürettiği D6060 sürücü devresini kullanarak sadece uygulanan gerilimlerin frekanslarını değiştirerek hız denetimi gerçekleştirmişlerdir [7-10]. Ti-Chen uygulanan gerilimlerin frekanslarını ve faz farkını değiştirerek hız denetimini gerçekleştiren yeni bir sürücü devresi önermiştir. Önerilen bu sürücü devresi aynı zamanda D6060 sürücü devresine olan bağımlılığı ortadan kaldırmıştır. Fakat bu yeni sürücü devresinde DSP kullandığından, daha karmaşık denetim

sağlamaktadır. Gerilim, frekans, akım ve hız bilgilerini izlemek için ek ölçü aletleri kullanma gerekliliği oluşmaktadır [11].

Bu çalışmada, yukarıdaki olumsuzlukları ortadan kaldırmak için USM'un hız denetimini gerçekleştiren mikrodenetleyici temelli bir sürme sistemi tasarlanmıştır. Motorun hızını LCD üzerinden izlemek için görsel bir ara yüz geliştirilmiştir. Mikrodenetleyici ile daha basit ve esnek bir denetim sağlanırken, LCD ile de denetim sisteminin kullanımı kolaylaştırılmış ve izlenebilirlik kazandırılmıştır. Bu deney düzeninde gerilim, frekans, akım ve hız bilgileri LCD'den izlenerek ek ölçü aletlerinin kullanılma gerekliliği ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca görsel denetim yardımı ile kullanım kolaylığının yanında eğitim amaçlı kullanılma özelliği de sağlanmıştır.

2 Yürüyen Dalga Tip USM Eşdeğer Devresi

Yürüyen dalga tip Ultrasonik motorun (YDUSM) çalışma koşulları parametre değişimlerinden dolayı oldukça karmaşıktır. YDUSM'un eşdeğer devresinin geliştirilmesinde piezoelektrik malzemenin etkileri ve eşitlikleri dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada kullanılan YDUSM için kabul gören bir eşdeğer devre Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Yüklü eşdeğer devre [12].

Stator yüzeyinde parçacıkların eliptik hareketi nedeni ile teğet yönde titreşim hızı, normal yönde titreşim hızının bir fonksiyonu olarak gösterilir. Bu nedenle, stator yüzeyinde yürüyen dalga hızı Denklem (1) ile verilmiştir [13].

$$\omega(r, \theta, t) = R_r A \cos(\omega t - k\theta) \quad (1)$$

ve Kirchhoff kanunu uygulayarak, stator yüzeyindeki (θ, z) düzleminde bir P noktası u_p kadar yer değiştirdiğinde ve merkez çizgisine h kadar uzaklıkta yerleştirilirse, Denklem(2) elde edilir [13].

$$u_p = u_z \vec{e}_z + u_\theta \vec{e}_\theta$$

$$u_p = \omega(r, \theta, t) \vec{e}_z - \frac{h}{r} \frac{\partial \omega}{\partial \theta} (r, \theta, t) \vec{e}_\theta \quad (2)$$

$$u_p = R_r A \cos(\omega t - k\theta) \vec{e}_z + \frac{kh}{r} R_r A \sin(\omega t - k\theta) \vec{e}_\theta$$

Burada, \vec{e}_z ve \vec{e}_θ dikey ve çevresel yönde birim vektörleri olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, (θ, z) düzlemi içinde P noktasının eliptik hareketi ile Denklem (3) elde edilir [13].

$$\left(\frac{u_z}{R_r A} \right)^2 + \left(\frac{u_\theta}{\frac{kh}{r} R_r A} \right)^2 = 1 \quad (3)$$

Denklem (3)'ün zamana göre türevi alınır, Denklem (4) elde edilir [13].

$$\left(\frac{kh}{r} \right)^2 u_z \dot{u}_z + u_\theta \dot{u}_\theta = 0 \quad (4)$$

$$\dot{u}_z = - \left(\frac{r}{kh} \right)^2 \frac{u_\theta}{u_z} \dot{u}_\theta = - \frac{r}{kh} \tan(\omega t - k\theta) \dot{u}_\theta \quad (5)$$

Bu ilişki, Denklem (5)'de stator yüzeyinde herhangi bir nokta için, normal yönde titreşim hızı teğet yönde titreşim hızından elde edilebilir olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, Denklem (2) kullanılarak normal yönde titreşim hızı \dot{u}_z ve teğet yönde titreşim hızı \dot{u}_θ ayrı ayrı Denklem (6) ve Denklem (7)'de verilmiştir [13].

$$\dot{u}_z = -R_r A \omega \sin(\omega t - k\theta) = -\hat{u}_z \sin(\omega t - k\theta) \quad (6)$$

$$\dot{u}_\theta = \frac{kh}{r} R_r A \omega \cos(\omega t - k\theta) = \hat{u}_\theta \cos(\omega t - k\theta) \quad (7)$$

Burada,

$$\hat{u}_z = R_r A \omega \quad (8)$$

$$\hat{u}_\theta = \frac{kh}{r} R_r A \omega \quad (9)$$

Bundan başka, I_m sinüsoydal akımın maksimum değerini, \hat{u}_z normal yönde titreşim hızının maksimum değerini, \hat{u}_θ teğet yönde titreşim hızının maksimum değerini, Π_n normal kuvvet faktörünü ve Π_t teğet kuvvet faktörünü Denklem (10)'de temsil eder [13].

$$I_m = \Pi_n \hat{u}_z = \Pi_t \hat{u}_\theta \quad (10)$$

Denklem (8) ve Denklem (9) kullanarak, Π_n normal kuvvet faktörünün ve Π_t teğet kuvvet faktörünün arasındaki ilişki Denklem (11) verilmiştir [13].

$$\Pi_n = \frac{kh}{r} \Pi_t \quad (11)$$

Denklem (12)'de titreşim hızı, sinüsoydal akımın maksimum değerinin, normal kuvvet faktörünün oranına eşittir. Ayrıca, burada normal bir yönde titreşim hızının maksimum ϑ gösterilmiştir [13].

$$\vartheta = \frac{I_m}{\Pi} \quad (12)$$

Bu eşdeğer devre yüklü durumları da kapsamaktadır. R_r , rotorun hareketi sonucunda oluşan mekaniksel kayıpları temsil eden dirençtir. R_L , yük momentine karşılık gelen elektromotor kuvvetini temsil eden dirençtir. R_f yük momentine karşılık gelen dirençtir. Blokaj kapasitansı olarak adlandırılan C_d , piezoelektrik elemanın dielektrik özelliğinden kaynaklanan kapasitedir. İç direnç r_0 ile gösterilmektedir. C_m piezoelektrik seramik ve bağlı bulunduğu metal malzemenin esnekliğini, L_m ise ağırlığını temsil eden eşdeğer devre elemanlarıdır [3]. R_r ve R_L dirençlerinin değerleri ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

Yüksüz motor momenti T_{st} ve motorun yüksüz hızı n_{id} Denklem (13) ve Denklem(14) ile hesaplanabilir [12].

$$T_{st} = RA \quad (13)$$

$$n_{id} = \frac{1}{RA} I_{st} \quad (14)$$

Burada, R ultrasonik motorun yarıçapını, A ise kuvvet faktörünü temsil etmektedir. Motorun başlangıç akımı I_{st} için Denklem (15) yazılabilir.

$$I_{st} = \frac{V_{rms}}{\sqrt{\left(\omega L_m - \frac{1}{\omega C_m} \right)^2 + r_0^2}} \quad (15)$$

3 Önerilen Yürüyen Dalga Tip USM Sürme Devresi

YDUSM'nin hızı; sürme frekansı (f), uygulanan gerilimler arasındaki faz farkı (θ) ve uygulanan gerilimin genliği (V) ile kontrol edilmektedir. Bu çalışmada, sürme devresini basitleştirmek için kontrol girişi olarak sadece sürme frekansı ayarlanmaktadır. Gerilimler arasındaki faz farkı $\theta = \pi/2$ olarak sabitlenmiştir.

Şekil 2'deki kontrol devresi PIC 18F452, LCD, tuş takımı ve sürme için gerekli olan elektronik devreden oluşmaktadır. LCD ekran; mikrodenetleyiciden gelen bilgileri, motor hızı ve gerilim bilgilerini görmek, girilen referans hız ile motor gerçek hızı arasındaki ilişkiyi kıyaslamak için görsel bir ortam sağlamaktadır. YDUSM hız kontrol devresinin girişindeki optokuplor yalıtım için kullanılmıştır. Mikrodenetleyiciden gelen DGM sinyali optokuplordan geçirildikten sonra alçak geçiren filtre devre yardımı ile DA sinyale çevrilmektedir. DA sinyalinin genliği DGM sinyalinin çalışma oranına bağlı olarak değişmektedir. DGM sinyalinin çalışma oranı (görev süresi) artırıldığında DA gerilim genliği de artmaktadır. Filtre devresinden elde edilen DA gerilim motora uygulanan gerilimlerin frekansını kontrol etmektedir. DA gerilim değiştikçe motora uygulanan gerilimlerin frekansları da değişmektedir. Motor sürme frekansı değiştirildikçe motor hızı da değişmektedir. Dolayısı ile filtre çıkışındaki DA geriliminin seviyesi değiştirilerek motor hızı da değiştirilebilmektedir [4].

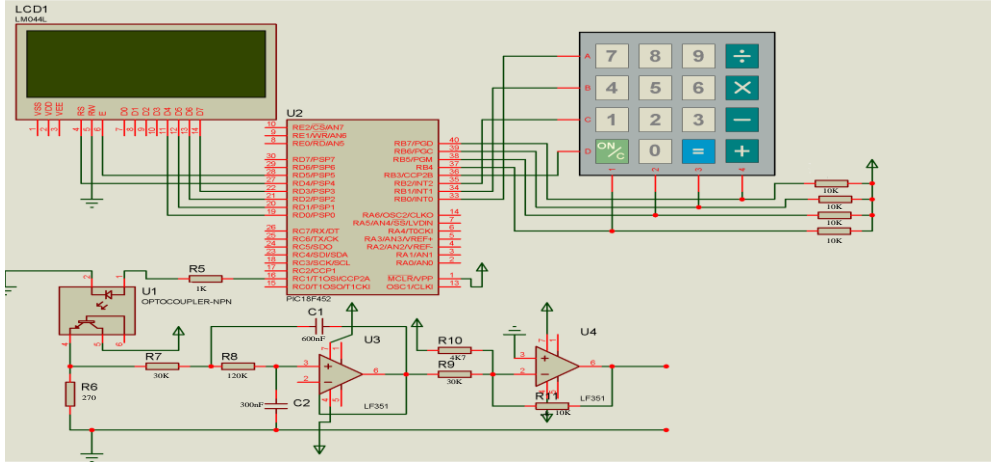
Şekil 3'de gerilim kontrolü, faz çoklayıcı ve güç yükseltici bölümlerinden oluşan USM için yeni sürme devresi verilmiştir. Gerilim kontrolü içerisinde XR8038 fonksiyon entegresi bulunmaktadır. 1-100kHz arasında kare, üçgen ve sinüs dalgası üretir. Faz çoklayıcı devresi tüm geçiren filtre içermektedir. Tüm geçiren filtre sinüsoydal gerilimi 90° faz farklı iki sinüsoydal gerilime dönüştürmektedir. Burada, 4051 dijital anahtar entegresi ile motorun dönüş yönü belirlenmektedir.

3.1 XR 8038 Fonksiyon Üretici

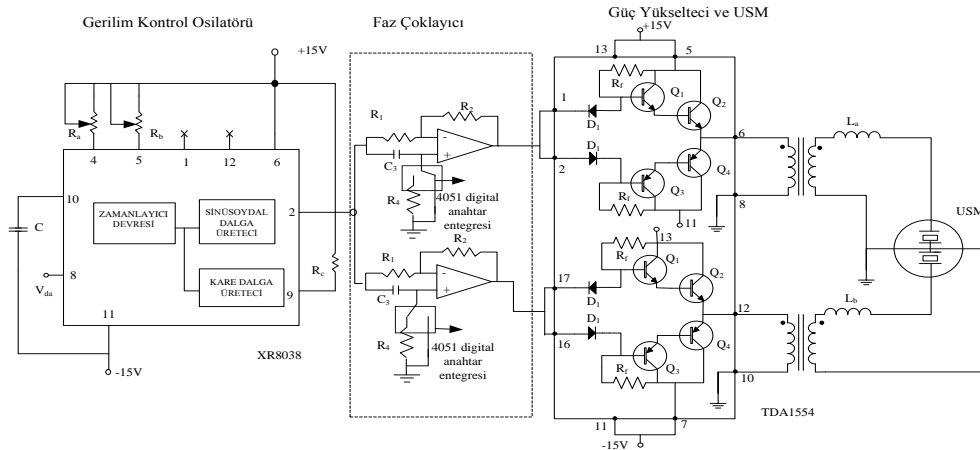
Şekil 4'de görülen XR8038 fonksiyon üretici entegre 0,001 Hz-100 kHz arasında kare, üçgen ve sinüs dalgası üretir.

PIC 18F452'den üretilen DGM sinyali filtre devresinden geçirilerek, DA gerilimine dönüştürülmektedir. Bu DA gerilimi Gerilim kontrol osilatörü (GKO) içerisinde bulunan XR8038 fonksiyon üreticinin 8 nolu ucuna uygulanmaktadır. DA geriliminin değerine bağlı olarak sürme frekansı üretilmektedir [14].

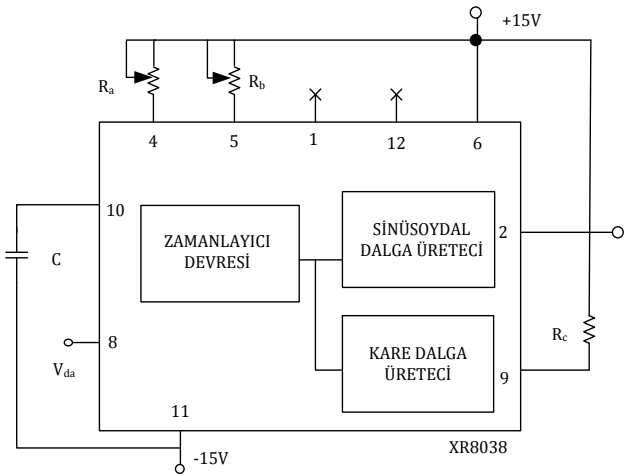
Şekil 5'de, filtre devresinin çıkış gerilimi ile XR 8038 arasındaki ilişki verilmiştir. YDUSM'un sürme frekansı 40kHz-44kHz arasındadır. Bu nedenle XR 8038'nin bu frekans aralığında sürme frekansı üretmesi için filtre devresinin çıkış geriliminin değeri 8V ile 8,2V arasında değişmelidir [14].



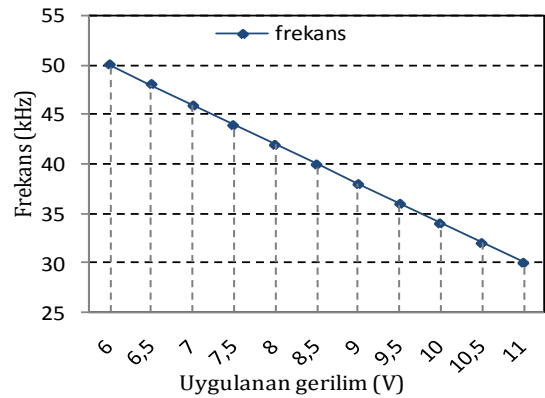
Şekil 2: YDUSM'un PIC 18F452 filtre devresi ile hız kontrol devresi.



Şekil 3: Önerilen USM sürme devresi.



Şekil 4: XR8038 iç yapısı.



Şekil 5: Filtre devresinin çıkış gerilimi ile XR8038 ürettiği frekans arasındaki ilişki.

3.2 Faz Çoklayıcı

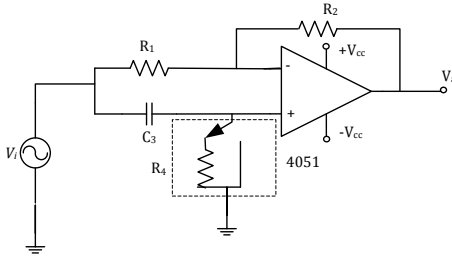
Şekil 6'da Tüm geçiren filtre devresi görülmektedir. Çoğu filtrelerden farklı olarak R_1 ve R_2 değerleri eşittir. Bu nedenle giriş geriliminin genliği ile çıkış geriliminin genliğinin birbirine eşit olması sağlanır. Faz çoklayıcı devresinde, PIC 18F452'de gelen dönüş yönü sinyaline bağlı olarak 4051 dijital anahtarlama entegresi R_4 'ü devreye ilave eder ya da devreden çıkartır. Bu sayede faz çoklayıcının çıkışından birbirinden 90° ya da -90° faz farklı iki faz elde edilir. Aynı zamanda C_3 sabit tutulmaktadır. Tüm geçiren filtre devresinin transfer fonksiyonu verilmiştir [11].

$$H(s) = \frac{V_0}{V_i} = \frac{sRC - 1}{sRC - 1} \quad (16)$$

Denklem(16)'da $s=j\omega$ yerine yazılırsa Denklem(17) elde edilir.

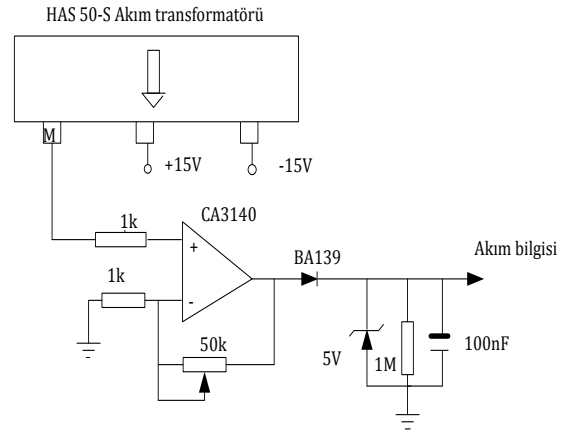
$$\angle H(s) = -2 \arctan^{-1} \omega RC \quad (17)$$

Denklem (17) $\omega=2\pi f_r'$ dir. $f_r=40$ kHz'dir. Buradan 90° faz farkı için $C_3=10$ nF ve $R_4=400\Omega$ olarak bulunur. Bir fazı sabit tutmak için diğer faza ait olan $R_4=0\Omega$ olarak seçilir. 4051 sayısal anahtar entegresi ile saat yönü veya saat yönünün tersi dönüş yönünü belirlemek için R_4 direnci sırasına bağlı olarak ya 0Ω değerini ya da 400Ω değerini alır.



Şekil 6: Faz çoklayıcı.

Gerçek uygulamalarda, mekanik rezonans frekansındaki değişimleri izlemek ve piezoelektrik elemanın titreşim hızını düzenlemek için kontrol stratejisi geliştirilir. Tasarımı yapılan sistemde YDUSM'un LC parazitik rezonans empedansını kullanan yüksek frekanslı rezonans evirici tasarlanmış ve motorun kontrol sistemine entegre edilmiştir. YDUSM'un mekanik titreşim sisteminin rezonans frekansı 39-40kHz arasındaki ultrasonik frekans bölgesindedir. Evirici, YDUSM'u sürmek için bu frekans değerinin üzerinde çalışmalı ve yüksek frekanslı 90° faz farklı AA gerilimleri sağlamalıdır. Bu çalışmada faz farkı 90° olarak sabit tutulmuştur. Şekil 7'de YDUSM'un yarım-köprü seri-rezonans yüksek frekanslı iki-faz gerilime sahip transistörlü evirici devresi gösterilmiştir [1,15]. Şekil 7'de akım okuma kartı verilmiştir. LEM firmasının üretmiş olduğu HAS 50-S tipi akım transformatoru akım okuma devresinde kullanılmıştır. HAS 50-S transformatorun dönüştürme oranı 1000/1'dir. Ultrasonik motorun normal çalışma şartlarında çekeceği akım, transformatorun dönüştürme oranıyla hesaplandığında çok küçük değer olduğundan dolayı mikrodenetleyiciye gönderilecek olan bilgideki hassasiyet çok zayıftır. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için işlemsel yükselteçli bir evirmeyen yükselteç devresi tasarlanmıştır. Yükselteç çıkışı doğrultma ve filtreleme devresinden geçirildikten sonra mikrodenetleyici girişine uygulanmaktadır. Mikrodenetleyici RA1 portuna bağlı ADC birimi sayesinde ölçülen akım değeri, analog dijital dönüşümden sonra LCD display üzerinden kullanıcının izlemesine sunulmuştur [16].



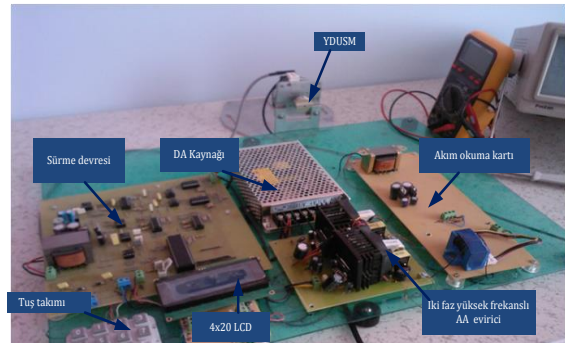
Şekil 7: Akım okuma kartı.

4 Deneysel Sonuçlar

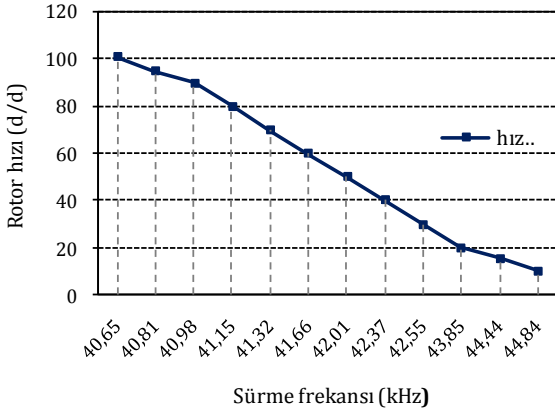
Şekil 8'deki deney düzeneğinde, motora uygulanan gerilimlerin genlikleri, frekansları ve aralarındaki faz farkı osiloskop yardımı ile ölçülmektedir. Motorun hız bilgisi hem optik takometre ile hem de motor miline bağlı enkoderden alınan kare dalga sinyalin frekansı hızı dönüştürülerek elde edilmektedir. Yüklü çalışma deneyleri için motorun miline elektromanyetik fren bağlanmıştır. Uygulanan yük, moment sensörü ile algılanmaktadır. YDUSM'un hızı genellikle sürme frekansı değiştirilerek kontrol edilmektedir. Bu çalışmada da motorun hızı sürme frekansı değiştirilerek kontrol edilmiştir. Bu deneyde, YDUSM'un hızı ile sürme frekansı arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için faz gerilimlerinin frekansı değişken, faz farkları (90°) sabit tutularak rotor hızları ölçülmüştür. Böylece, iki faz gerilimlerin faz farkındaki olası değişmelerin rotor hızı üzerindeki etkileri önlenmiş ve gerilimin frekansı ile rotor hızı değişimi arasındaki bağ elde edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucu elde edilen sonuçlar osiloskop ve diğer ölçü aletleri ile doğrulanması amacıyla yapılan kontrol işlemlerinin bütünüdür. YDUSM'un hızı genellikle sürme frekansı değiştirilerek kontrol edilmektedir. Bu çalışmada da motorun hızı sürme frekansı değiştirilerek kontrol edilmiştir.

Deneyde, Şekil 9'daki gibi sürme frekansı 44,84kHz-40,65 kHz aralığında değiştirilmiş ve bunun sonucunda rotor hızının 10d/d ile 101d/d arasındaki değiştiği gözlenmiştir. Bu çalışmada, farklı yük değerleri altında da sürme frekansı değiştirilerek rotor hızı denetlenmiştir. Şekil 10'da farklı (0,02Nm-0,1Nm arası) yük değerlerinde sürme frekansı 40,65kHz-42,55kHz arasında değiştirilerek rotor hızındaki değişim gösterilmiştir.



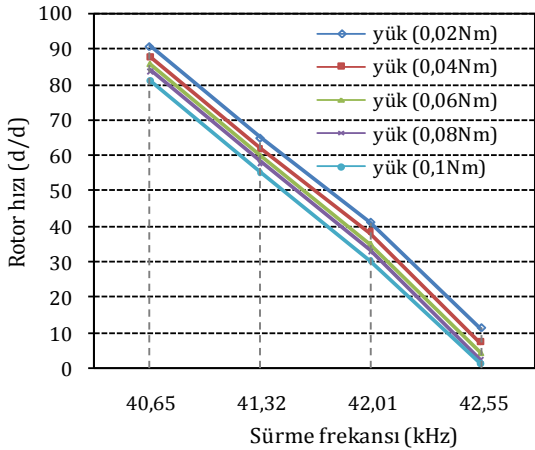
Şekil 8: YDUSM deney düzeneği.



Şekil 9: Sürme frekansı ile rotor hızının değişimi.

Şekil 10'da uygulanan gerilimin frekansı ile rotor hızının doğru orantılı olarak değiştiği gözlenmiştir. 0,02Nm yük durumunda uygulanan gerilimin faz farkı 90°, gerilimin genliği 175V sabit tutularak, frekansı 42,55 kHz de YDUSM'un hızı 91d/d olarak ölçülmüştür. 0,04Nm yük durumunda aynı deney koşulları altında motorun hızı 88d/d olarak ölçülmüştür. 0,06Nm yük durumunda aynı deney koşulları altında motorun hızı 86d/d olarak ölçülmüştür. 0,08Nm yük durumunda aynı deney koşulları altında motorun hızı 84d/d olarak ölçülmüştür. 0,1Nm yük durumunda ise aynı deney koşulları altında motorun hızı 81 d/d olarak ölçülmüştür. Aynı deney koşulları altında YDUSM'un miline bağlı olan yükün momenti artıkça motor hızının doğrusal olarak azaldığı bu deney sonuçları ile gözlenmiştir.

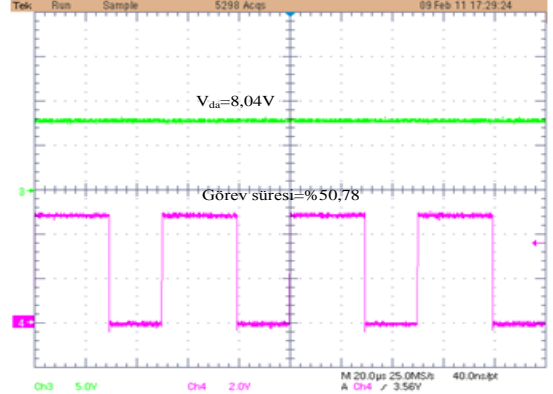
LCD ekranda gerçek hız, referans hız, YDUSM gerilim ve akım değerleri Şekil 11(a)'da gözlenmiştir. Referans hız değeri 20d/d verildiğinde, mikrodenetleyici çıkışındaki DGM sinyalinin görev süresi % 50,78 ve bu DGM sinyaline karşılık gelen filtre devresinin çıkışındaki DA gerilimi 8,04V olarak ölçülmüş ve Şekil 11(b)'de gösterilmiştir. Bu durumda YDUSM'un rotoruna akuple enkoderin çıkışından elde edilen kare dalga sinyali Şekil 11(c)'deki gibi elde edilmiştir. Motor 20d/d hızla dönerken iki-faz gerilimlerin değişimi osiloskop ile ölçülmüş ve Şekil 11(d)'de gösterilmiştir. Faz gerilimlerin değerleri A-fazı için 145V, B-fazı için 140 V olurken frekansı 43,85 kHz olmaktadır.



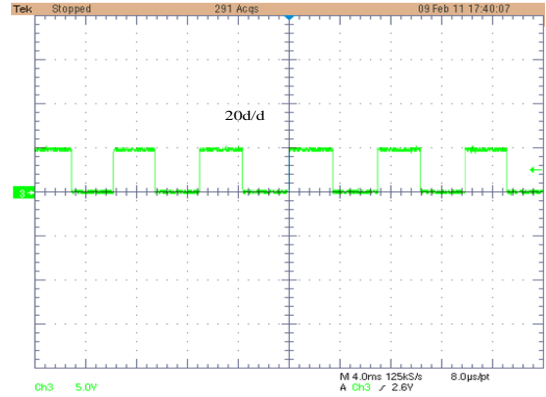
Şekil 10: Farklı frekans ve yüklerde rotor hızındaki değişim.



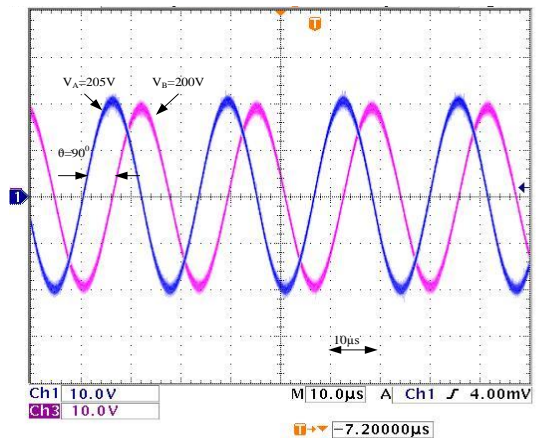
(a)



(b)



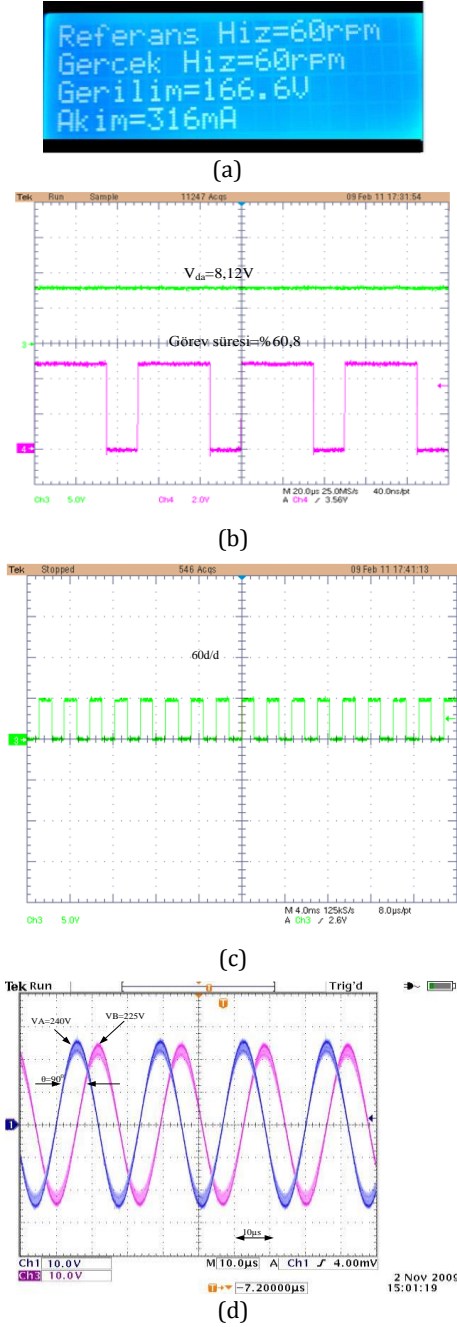
(c)



(d)

Şekil 11: 20 d/d için (a) LCD display referans hız 20 d/d için gerçek hız, gerilim ve akım değerleri gösterimi (b) PIC 18F452'de üretilen DGM sinyali ve filtre devresinden çıkan DA geriliminin değeri (c) Enkoder kare dalga sinyali (d) YDUSM iki-faz gerilimleri.

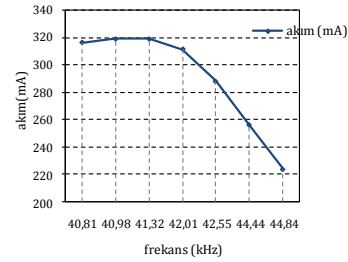
LCD ekranında gerçek hız, referans hız, YDUSM gerilim ve akım değerleri Şekil 12(a)'daki gibi gösterilmektedir. Referans hız değeri 60 d/d verildiğinde, mikrodenetleyici çıkışındaki DGM sinyalinin görev süresi % 60,8 ve bu DGM sinyaline karşılık gelen filtre devresinin çıkışındaki DA gerilimi 8,12V olarak ölçülmüştür ve Şekil 12(b)'de gösterilmiştir. Bu durumda YDUSM'un rotoruna akupule enkoderin çıkışından elde edilen kare dalga sinyali Şekil 12(c)'deki gibi elde edilmiştir. Motor 60d/d hızla dönerken iki-faz gerilimlerin değişimi osiloskop ile ölçülmüş ve Şekil12(d)'de gösterilmiştir. Faz gerilimlerin değerleri A-fazı için 166V, B-fazı için 162V olurken frekansı 42,01 kHz olmaktadır.



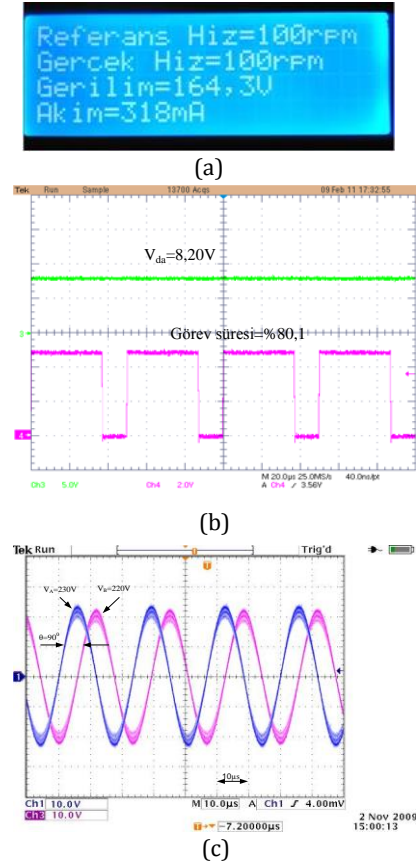
Şekil 12: 60 d/d için (a) LCD display referans hız 60 d/d için gerçek hız, gerilim ve akım değerleri gösterimi (b) PIC 18F452'de üretilen DGM sinyali ve filtre devresinden çıkan DA gerilimin değeri (c) Enkoder kare dalga sinyali (d) YDUSM iki-faz gerilimleri.

Şekil 13'de YDUSM'un sürme frekansı 40,82 kHz ile 44,84 kHz arasında değiştirilerek motorun seri eviriciden çektiği akım değerleri gösterilmektedir. Uygulanan gerilimin frekansı azaldıkça, ultrasonik motorun rezonans eviriciden çektiği akım arttığı gözlenmiştir.

LCD ekranda gerçek hız, referans hız, YDUSM'un gerilim ve akım değerleri Şekil 14(a)'da gösterilmiştir. Referans hız değeri 100 d/d verildiğinde, mikrodenetleyici çıkışındaki DGM sinyalinin görev süresi % 80,1 ve bu DGM sinyaline karşılık gelen filtre devresinin çıkışındaki DA gerilimi 8,20V olarak ölçülmüştür ve Şekil 14(b)'de gösterilmiştir. Motor 100d/d hızla dönerken iki-faz gerilimlerin değişimi osiloskop ile ölçülmüş ve Şekil14(c)'de gösterilmiştir. Faz gerilimlerin değerleri A-fazı için 164V, B-fazı için160V olurken frekansı 40,65 kHz olmaktadır.



Şekil 13: Farklı frekanslarda motorun çektiği akımın etkin değerleri.



Şekil 14: 100 d/d için (a) LCD display referans hız 60 d/d için gerçek hız, gerilim ve akım değerleri gösterimi (b) PIC 18F452'de üretilen DGM sinyali ve filtre devresinden çıkan DA gerilimin değeri (c) YDUSM iki-faz gerilimleri.

5 Sonuçlar

Bu çalışmada yürüyen dalga tip bir YDUSM'un hız denetimi gerçekleştirilmiştir. Sistem mikrodenetleyici tabanlı tasarlandığı için hızlı ve güvenilir bir hız denetim sistemi gerçekleştirilmiştir. Motor ve kontrol değişkenlerinin ölçü aletleri yerine LCD ekran üzerinden izlenmesi avantajı sağlanmıştır. Böylece hem duyarlılık hem de maliyet bakımından bir üstünlük sunulmuştur. PIC, DSPic ve benzeri güvenilir işlemciler ile yüksek çözünürlükteki küçük LCD panellerin kullanımı, hız denetimi ve izlemesinin bilgisayar desteği olmadan da sağlanabileceğini göstermiştir.

USR60'ın üretici firması Shinsei-motors'un ürettiği D6060 sürücü devresine bağımlılığı ortadan kaldırmaktadır. Bununla birlikte sürme devresinde bazı değişiklikler yapılarak, D6060 kısıtladığı YDUSM'un hız denetim yöntemlerinden faz farkı ve gerilimin genliğini değiştirmek ileriiki çalışmalarda yapılabileceği öngörülmüştür.

6 Ek A

USR60 Ultrasonik motorun ve Eşdeğer devre parametrelerinin özellikleri.

<i>Shinsei USR60 USM</i>	
Sürme frekansı	40-44 kHz
Sürme gerilimi	100-130 Vrms
Anma momenti	0,4 Nm
Anma çıkış gücü	4 W
Dönüş yönü	CW/CCW
Ağırlık	175 g
Çalışma sıcaklığı	-10/+50 °C

<i>Eşdeğer Devrenin Parametreleri.</i>	
C_d	= 9nF
r_o	= 520Ω
L_m	= 97mH
C_m	= 168pF
R_f	= 1024Ω

7 Kaynaklar

- [1] Bekiroğlu, E. ve Bal, G., "Ultrasonik motorlar II: Sürme ve kontrol devrelerinin incelenmesi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Vol. 14 (1), pp. 99-115, 2000.
- [2] Bal, G. ve Bekiroğlu, E., Bayındır, R. ve Görgün, A., "Yürüyen dalga tip ultrasonik motor denetimi ve bilgisayarla izlenmesi", Politeknik Dergisi, Vol. 9 (4), pp. 225-231, 2006.
- [3] Gencer, A. "Yürüyen dalga ultrasonik motorun üç-mod çalışma özelliklerinin incelenmesi", Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, pp. 8-100, 2011.
- [4] Bal, G., Bekiroğlu, E., Bayındır, R., ve Uzel, H. "Microcontroller based digitally controlled ultrasonic motor drive system", Journal of electroceramics, Vol. 20 (3-4), pp. 265-270, 2008.
- [5] Bal, G., "A digitally controlled drive system for travelling-wave ultrasonic motor", Turk. J. Electr. Eng. Comput. Sci., Vol. 11 (3), pp. 155-68, 2003.
- [6] Bal, G. ve Bekiroğlu, E. "A highly effective load adaptive servo drive system for travelling wave ultrasonic motor", IEEE Trans. Power Electron., pp. 1143-1149, 2005.
- [7] Petit, L., Rizesr, N., Birot, R., ve Gonnard, P. "Frequency behaviour and speed control of piezomotor", Sensors and Actuators, Vol. 80, pp. 45-52, 2000.
- [8] Bekiroğlu, E. ve Daldal, N. "Remote control of an ultrasonic motor by using a GSM mobile phone", Sensors and Actuators, Vol 120, pp. 536-542, 2005.
- [9] Yu, C.H., ve Chen, T.C. "Robust neural network controller design for travelling-wave type ultrasonic motors", 2006 IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics, October 8-11, Taipei, Taiwan, 2006.
- [10] Hang, L., Weng, W.H., Chan Y.C. ve Fang, C.H. "Self-Constructing current fuzzy neural network for ultrasonic motor drive", SICE Annual Conference 2010, August, Taipei, Taiwan, 2010.
- [11] Chen, T.C., Hsien, C., ve Tsai, M.C., "A new driver based on dual-mode frequency and phase control for travelling-wave type ultrasonic motor", Energy and conversion and management, Vol. 49, pp. 2767-2775, 2008.
- [12] Sashida, T. ve Kenjo T., "An Introduction to Ultrasonic Motors, Oxford University Press", New York, 1993.
- [13] Ghouti, N.E. "Hybrid modeling of traveling wave ultrasonic piezoelectric motor", PhD Thesis, Department of Control Engineering Aalborg University, Denmark pp. 1-165, 2011.
- [14] İnternet: XR8038 datasheet, <http://www.datasheet.com>, 2010.
- [15] Bal, G. ve Bekiroğlu, E. "Ultrasonik Motor için Eşdeğer Devre Modelinin Uygunluğunun Araştırılması", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı ELECO'2004, 108-111, Bursa, 2004.
- [16] Bayındır, R. ve Görgün, A. "PIC tabanlı bir PI denetleyici ile sekron motor kullanılarak bir kompanzator uygulaması", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Dergisi, Vol. 15 (1), pp. 87-99, 2009.