

Yürüyen Dalga Tip Ultrasonik Motor Denetimi ve Bilgisayarla İzlenmesi

Güngör BAL*, Erdal BEKİROĞLU**, Ramazan BAYINDIR*, Alper GÖRGÜN*
*Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü
06500 Teknikokullar, ANKARA

**Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
14280, BOLU

ÖZET

Bu çalışmada yürüyen dalga tip ultrasonik motorun hız denetimi mikrodenetleyici ile gerçekleştirilmiş ve bilgisayar ekranında görsel hale getirilmiştir. Motoru sürmek için sayısal olarak kontrol edilebilen bir sürme sistemi geliştirilmiştir. Hız bilgisi motor miline bağlı 500 darbe/devirlik artımsal devir algılayıcı ile elde edilmiştir. Gerilim ve faz farkı büyüklüklerini okumak amacıyla yüksek frekansta işlem yapabilen bir dönüştürücü devresi tasarlanmıştır. Bilgisayar ile sürücü devre arasındaki bağlantı ve iletişimi sağlamak ve işlenen verilerin değerlendirilmesini yapmak amacıyla PIC 16F877 tip bir mikrodenetleyici kullanılmıştır. Bilgisayar ile görsel bir denetim ve izleme özelliği sağlamak amacıyla Visual Basic 6.0 programı ile bir ara yüz geliştirilmiştir. Motorun yük ve çalışma koşulları değişimindeki tepkisi deneysel olarak incelenmiş, gerçek hız değerleri ile sistemden elde edilen tahmini değerler karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ile motorun bilgisayarla otomasyonu gerçekleştirilerek esnek denetim sağlanmıştır. Çalışma bu özelliği ile eğitim amaçlı olarak kullanılabilme avantajına sahiptir. Sunulan denetim sisteminin yürüyen dalga tip ultrasonik motorun hız denetiminde ve izlenmesinde etkin sonuçlar verdiği deneysel verilerle ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler : Ultrasonik motor, Hız denetimi, Otomasyon, Mikrodenetleyici

PC Based Control and Monitoring of Travelling Wave Ultrasonic Motor

ABSTRACT

In this study, speed control of a traveling wave ultrasonic motor has been implemented with microcontroller and has been visualized on the computer screen. Digitally controlled a drive system has been developed to control the motor. Speed/position data have been taken from 500 rpm incremental encoder mounted on motor shaft. Comparators circuits having high frequency operating capability have been designed to measure frequency, voltage and phase difference. A PIC 16F877 microcontroller has been used to provide connection and transmission between computer and ultrasonic motor drive system. Also it is used to evaluation of processed data. An interface software developed by using Visual Basic 6.0 to provide visual control and monitoring features. Load and varying operating condition responses of the motor have been examined experimentally. Also actual measured values and values estimated from the system have been compared. Elastic control has been provided with computer aided automation in the study. As an advantage the study can be used for educational purpose by this feature. It is revealed that the microcontroller controlled and computer based monitoring system give effective solution to the travelling-wave ultrasonic motor.

Key Words: Ultrasonic motor, speed control, automation, microcontroller

1. GİRİŞ

Günümüzde endüstrideki gelişmeler ve çeşitli gereklilikler nedeniyle elektrik motorlarının geliştirilmesi zorunluluğunu artırmaktadır. Motorların yüksek hız, yüksek moment, düşük ağırlık, düşük boyut ve uzun ömürlü olmaları istenmektedir. Bu sebeplerden dolayı yeni motor tasarımlarına başlanmasına neden olmaktadır. Ayrıca yarı iletken teknolojisinin gelişmesi sonucunda sürme devrelerinin daha ucuza mal edilebilmesi de motor tasarımlarına hız verilmesinde etkili olmaktadır. Yeni olarak geliştirilen ve yapısında piezoelektrik malzemelerin kullanıldığı motorlardan biri de ultrasonik motorlardır.

Yaygın olarak kullanılan elektromanyetik motorların bazı dezavantajları vardır. Bu motorların en büyük sorunları boyutları ile ilgilidir. Birçok elektromanyetik motorda kullanılan sabit mıknatıs ağırdır ve önemli ölçüde yer kaplamaktadır. Ayrıca düşük hız uygulamaları için dişli sistemi gerektirirler. Dişli sistemleri de salımlara, dişli sisteminden kaynaklanan ek ağırlık ve hacim gibi problemlere sebep olmaktadır. USM'lar esnek yapım veya biçimlendirme özelliğine sahiptir ve düşük hızlarda yükü döndürebilmesi için dişli sistemine ihtiyaç göstermezler. Bu motorlar, tasarımları ile ilgili yapılacak çalışmalarla özellikle küçük ölçekli hareket sistemlerinde kolaylıkla kullanılabilir (1).

Ultrasonik motorların (USM), yüksek tutma momenti, düşük hızda yüksek moment üretme, sessiz çalışma, küçük boyut, mükemmel performans ve elektromanyetik parazitlerden etkilenmeme gibi birçok faydalı özelliklere sahiptir. Bu özelliklerden dolayı bir çok pratik uygulamada kullanılmaya başlanmıştır (2).

USM'un sürülmesi için yüksek frekanslı titreşim kaynağı ve yarı iletken elemanlardan oluşan sürme devresi gerekmektedir. Piezoelektrik titreştiriciyi sürmek yüksek kapasitansdan dolayı zordur. Bundan dolayı, motorun sürme frekansında rezonansı sağlayacak bir frekans elde etmek için kapasitansa seri veya paralel endüktans bağlanması tercih edilmektedir. Bu şekildeki yaklaşım piezoelektrik başlatıcının sürülmesi ve motorun çalışması için kolaylık sağlar. Ultrasonik motorun uygun bir şekilde sürülmesi için seri-rezonans evirici ve paralel rezonans eviriciler kullanılmaktadır (3-5). Motorun hız ve denetimini sağlamak için mikrodenetleyici, sayısal işlemci, bilgisayar tabanlı denetim yöntemleri sunulmuştur (6-8).

Bu çalışmada USM'un hız denetimini sağlamak için mikrodenetleyici temelli bir sürme sistemi tasarlanmıştır. Motorun hızını bilgisayardan denetlemek ve izlemek için görsel bir ara yüz geliştirilmiştir. Mikrodenetleyici ile daha basit ve esnek bir denetim sağlanırken, bilgisayar ile de kullanımı kolay ve izlenebilir bir denetim sistemi sağlanmıştır. Bu çalışma ile motorun hem hız denetimi hem de otomasyonu gerçekleştirilmiştir. Gerekli ölçümler bilgisayardan izlenerek, ek ölçü aletlerinin kullanılma gerekliliği ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca görsel denetim yardımı ile kullanım kolaylığının yanında eğitim amaçlı kullanılma özelliği de sağlanmıştır.

2. ULTRASONİK MOTORLAR

Ultrasonik motor, sürme kaynağı olarak ultrasonik seviyedeki mekanik titreşimleri kullanan bir motor çeşididir. İnsan kulağı 50 Hz ile 20 kHz arasındaki ses dalgalarını algılama kabiliyetine sahiptir. Bu frekans aralığına işitilebilir frekans aralığı denmektedir. Ultrasonik dalgalar 20 kHz'in üzerindeki ses dalgaları veya mekanik titreşimlerdir. Ultrasonik dalgaların kullanımı, titreşim kaynağı olarak piezoelektrik seramiklerin kullanımının doğrudan bir sonucudur. Piezoelektrik seramikler, uygulanan elektrik alanına bağlı olarak genişler veya daralır (6).

Ultrasonik motorlarda piezoelektrik davranış gösteren PZT veya PLZT adı verilen maddeler kullanılır. Kuartz ve baryum titanit piezoelektrik etkinin gözlemlendiği bazı maddelerdir. Daha sonra bu maddelerden daha güçlü piezoelektrik davranış gösteren PZT adlı bir madde türetilmiştir. Bu $PbZrO_3$ - $PbTiO_3$ karışımı katı bir maddedir. PZT terimi $Pb(Zr-Ti)O_3$ den türetilen bütün maddeler için, PLZT ise $(Pb, La)(Zr, Ti)O_3$ den türetilen maddeler için kullanılır.

Ultrasonik motorda, genişleme veya daralma şeklinde alternatif dalga üretmek için piezoelektrik se-

ramik elemana 90° faz farklı yüksek frekanslı iki-faz sinüsoidal gerilim uygulanır. Titreşim seramik gövdede veya ona bağlı metal parçada üretilebilir. Osilasyonun genliği (1 μm) oldukça küçük bir değerdir. Daha yüksek bir kazanç elde etmek için ultrasonik sınırlarda seramiğin rezonans etkisinden yararlanılmaktadır. Tek yönlü bir hareket elde etmek için osilasyonlar motor içinde mekanik olarak düzeltilir. Hareketin her bir saykılının genliği mikrometre seviyesinde olmasına rağmen, daha yüksek hızlar onlarca kHz değerlerindeki yüksek frekanslar ile ifade edilebilir (9).

USM'un sürme prensibi yüksek frekanslı mekanik titreşimlere ve sürtünme kuvvetine dayanır. Motor parametreleri; sürme frekansı, kaynak gerilimi ve yük gibi çalışma koşullarındaki değişimlerinden dolayı zamanla değişmektedir. USM'un hızı; sürme frekansı, uygulanan yüksek frekanslı gerilim ve iki-faz gerilimleri arasındaki faz farkı ile kontrol edilmektedir (10).

Ultrasonik motorların temel özellikleri aşağıdaki gibidir (11).

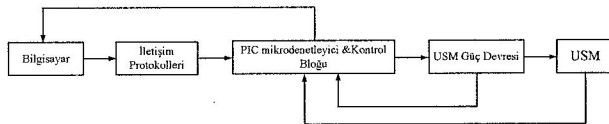
- Birim ağırlık başına üretilen moment yüksektir. Rotorun ataleti küçük tutulabildiğinden dolayı başlatma ve durdurma sırasındaki kontrol karakteristiği düzgündür.
- USM'de düşük hızlarda yüksek moment yüksek verim ile birlikte üretilebilir.
- Hız azaltıcı dişlilerin meydana getirdiği osilasyon hatalarının olmamasından dolayı motor konumunu hassas olarak elde etmek mümkündür.
- Elektrik enerjisi kesildiğinde temas yüzeyleri arasındaki sürtünme kuvvetinden dolayı mevcut konum korunabilir.
- Motor değişik biçimlerde yapılabilir ve küçük boyutlarda tasarlanabilir.
- Doğrusal hareketli (lineer) USM kolaylıkla tasarlanabilir.
- USM'ların sessiz çalışma özelliği vardır.
- USM'da elektromanyetik indüksiyondan dolayı oluşan parazitlerin etkisi yoktur.
- USM'un hızı yük momenti arttıkça azalmaktadır.
- Motoru sürmek için 90° faz farklı yüksek frekanslı iki faz sinüsoidal gerilim kaynağına ihtiyaç vardır.
- Yüksek aşınma direncine sahip piezoelektrik malzemeye ihtiyaç göstermekte olup piezoelektrik malzeme pahalıdır.
- Bu motorda yüksek güç elde etmek zordur.
- Rotor hareketi sürtünme ile elde edildiğinden stator ve rotor malzemelerindeki aşınmalardan dolayı motor ömrü sınırlıdır.

USM'lar aynı büyüklük veya ağırlıktaki elektromanyetik motorlara (EM) göre 10 ile 100 kat daha fazla çıkış momenti üretmektedirler. USM yeni geliştirilen bir motor çeşidi olmasına rağmen birçok pratik uygulamada kullanılmaya başlanmıştır (12). USM pratikte motor adımlama sistemleri, bilgisayar disk sürücüleri, mikro konumlama tablaları, hava ve sıvı pompaları, saatler, robot, mikro robot, fotoğraf makineleri, medikal cihazlar, otomotiv ve uzay uygulamalarında kullanılmaktadır.

3. USM'UN BİLGİSAYAR TABANLI OTOMASYONU

Çalışmada USM'un hız denetiminin yapılması ve sistemi meydana getiren parametrelerin ölçülmesi ve izlenmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda bir mikrodenetleyici üzerinden Visual Basic programı yardımı ile görsel bir kontrol ünitesi gerçekleştirilmiştir. Sistemin blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir. Bilgisayardan girilen referans hız ve yöne göre üretilen kontrol sinyalleri motorun sürme devresine uygulanmaktadır. Motor bu sinyallere uygun hareket etmektedir. Motorun hızı, gerilim, faz farkı ve frekans bilgileri sürekli olarak ölçülerek bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayar bu değerleri kaydederek, gerektiğinde grafik oluşturmaktadır. Ayrıca referans hızın izlenmesi için oransal denetim yöntemi ile denetim sinyali sürekli olarak güncellenmektedir.

Visual Basic yapısal bir programlama dili olan Basic dilinden türetilmiş olmasına rağmen olaya bağlı bir programlama dilidir. Yapısal yada yordamsal uygulamalarda, uygulama kodun hangi kısımlarının çalışacağını ve hangi sırada çalışacağını denetler. Uygulama kodun ilk satırı ile başlar ve gerektiğinde yordamları çağırarak uygulama boyunca önceden tanımlanmış bir yolu izler. Olaya bağlı bir uygulamanın çalışması, önceden belirlenmiş bir yolu izlemez. Farklı kod bölümleri olaylara bağlı olarak çalışır. Olaylar, kullanıcın eylemlerinden, sistem yada diğer uygulamalardan gelen iletilerden tetiklenir. Programın bu üstün özelliği sayesinde anlık parametre değişimleri kolaylıkla izlenmiştir.



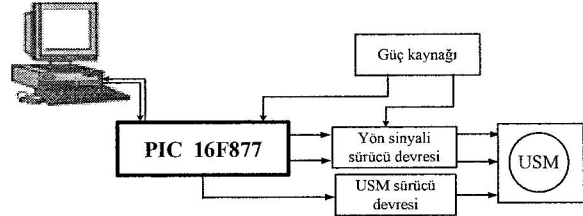
Şekil 1. USM Hız Denetim Otomasyonu Blok Diyagramı

Bu çalışma kontrol kartı tasarımı, mikrodenetleyici için kontrol yazılımının yapılması, bilgisayar ile mikrodenetleyici iletişimi için gerekli protokollerin hazırlanması ve bilgisayar programının yazılması, USM için sürücü devre tasarımı, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi olmak üzere 5 aşamada gerçekleştirilmiştir.

3.1. Kontrol Kartı Tasarımı

Bilgisayar ile mikrodenetleyicinin karşılıklı iletişimi sağlamak ve USM'un sürme sinyali, yön sinyali,

artımsal encoderden gelen hız/konum bilgisi, özel olarak tasarlanan sıfır geçiş devresinden gelen faz farkı bilgisi ve fazlardan gelen gerilim bilgisini okumak ve değerlendirmek amacıyla LPT port ile PIC 16F877 mikroişlemcinin arasındaki bağlantıların bütünüdür. Şekil 2'de kontrol kartına ait blok diyagram verilmiştir.



Şekil 2. Kontrol kartı blok diyagramı

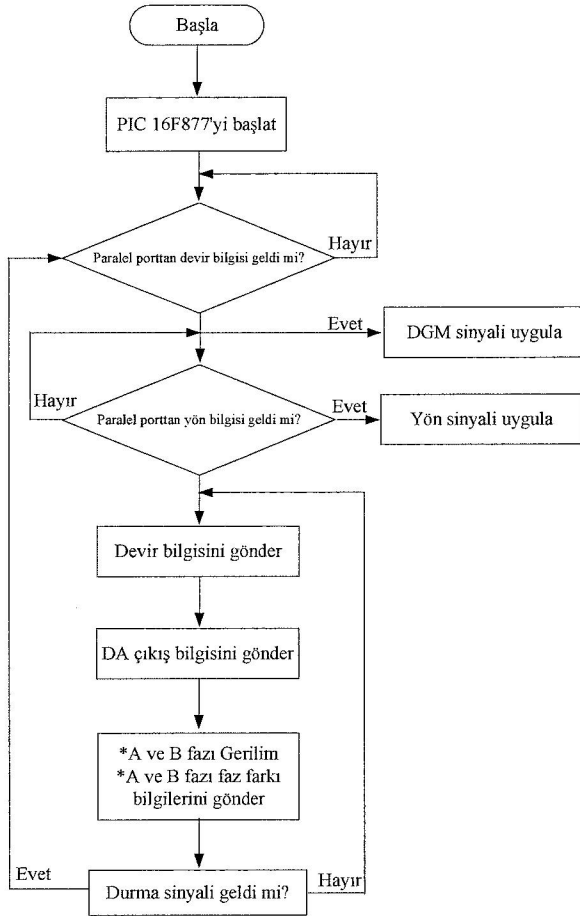
Sürme sinyali olarak USM sürme devresine darbe genişlik modülasyon (DGM) sinyali uygulanır. Mikroişlemci ile USM devresinin yalıtımını sağlamak amacıyla bir opto izolatör ve yüksek hızda anahtarlama yapabilen transistör kullanılmıştır. Yön sinyalleri yine aynı şekilde opto izolatörler üzerinden USM devresine uygulanmıştır. 500 darbe/devirlik artımsal encoderden gelen sinyaller mikrodenetleyici yardımı ile saydırılmış ve hız bilgisi LPT portu üzerinden bilgisayara gönderilerek okunması sağlanmıştır. Faz farkını okumak amacıyla işlemsel yükselteç ile bir sıfır geçiş devresi tasarlanmıştır. Bu devrede A ve B fazlarına ait yüksek genlik ve frekandaki sinyaller uygun yöntemlerle düşürülerek işlemsel yükseltece uygulanmıştır. Bu sinüsoidal sinyallerden biri pozitif alternanstan negatif alternansa geçerken işlemsel yükselticinin 1 sinyalini mikroişlemciye göndermesi sağlanmıştır. 1 sinyalini alan mikroişlemci saymaya başlamış ve diğer faza ait gerilimden sıfır geçiş bilgisi gelince saymayı durdurmuştur. Elde edilen bu değer bilgisayarda değerlendirilerek faz farkının okunması sağlanmıştır. Yine benzer şekilde düşürülen A ve B fazlarına ait gerilim değerleri mikroişlemcide analog sayısal dönüşüm yapılarak etkin bir biçimde ölçülmüştür.

3.2. Mikrodenetleyici Kontrol Yazılımı

USM'un sürme sinyalini, yön sinyallerini, bilgisayar ile haberleşmesini ve dahili ADC modülü ile ölçümlerinin yapılmasını sağlayan yazılım assembler programlama dili ile yazılmış ve PIC 16F877 mikrodenetleyiciye seri porttan yüklenmiştir. Şekil 3'te kontrol yazılımının akış diyagramı görülmektedir. Programın ana işlevleri şöyle sıralanmaktadır.

- Darbe Genlik Modülasyonu sürme sinyali üretmek
- USM'un dönüş yönünü belirleyen sinyalleri üretmek
- Bilgisayar ile paralel haberleşme sağlamak ve ölçüm değerlerini aktarmak
- ADC modülü ile motora uygulanan DA gerilim seviyesini ölçmek
- ADC modülü ile motora uygulanan A ve B faz gerilim değerlerini ölçmek

- A ve B fazları arasındaki faz farkını ölçmek



Şekil 3. Kontrol Yazılımı

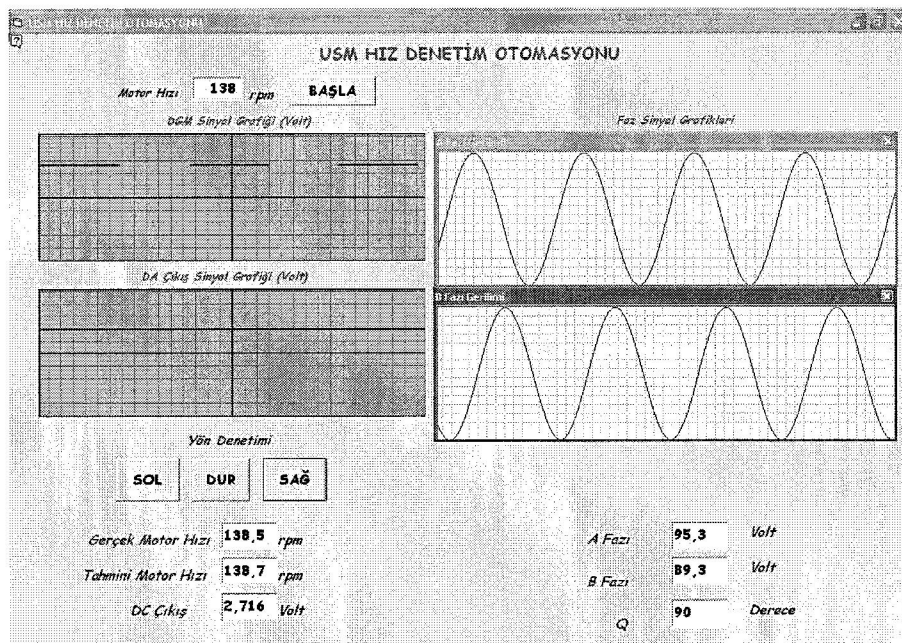
Kontrol devresine besleme gerilimi verildiği zaman mikroişlemci, içerisindeki yazılım gereğince uç konfigürasyonunu gerçekleştirip bilgisayar üzerinden

devir bilgisinin gelmesini bekler. Alınan devir bilgisi üzerine DGM sinyali mikroişlemci tarafından üretilir. Daha sonra port üzerinden yön sinyallerinin gelmesi beklenir. Mikroişlemci yön bilgisini aldıktan sonra USM'un dönüş bilgisini gönderir ve motor çalışmaya başlar. Motor üzerinden artımsal encoder ile alınan devir bilgisi mikroişlemciye saydırılarak devir bilgisi okunur ve bilgisayara gönderilir. Yine USM'a uygulanan DA gerilim seviyesi ve faz gerilimleri mikroişlemcinin ADC modülü sayesinde okunur ve bilgisayara gönderilir. En son olarak bilgisayardan herhangi bir durdurma sinyalinin gelip gelmediği kontrol edilir. Durdurma sinyali verildiğinde USM'a gönderilen DGM ve yön sinyalleri kesilerek yeni bir devir bilgisi gelmesi beklenir. Durdurma sinyali gönderilmemişse değişkenlerin okunması işlemine devam edilir.

3.3. Bilgisayar-Mikrodenetleyici İletişimi ve Bilgisayar Programı

LPT port ile giriş çıkış kontrolünü sağlamak için Visual Basic 6.0 programında çeşitli modüllerin kullanılması gerekmektedir. Bu modüller yardımı ile zamana bağlı değişkenler kolaylıkla mikrodenetleyicide ve bilgisayarda değerlendirilebilmektedir. Input32.dll ve output32.dll modülleri yardımı ile port iletişim protokolleri sağlanmıştır. Bu modüller önceden tasarlanan OCX dosyaları olabileceği gibi yazılım içerisinde yapılabilecek düzenlemelerle de gerçekleştirilebilir.

Bilgisayar ile yapılan otomasyon sistemlerinde seri yada paralel portlardan birine, ethernet kartına yada data acquisition karta bilgi gönderip alabilmek sistemin özünü oluşturmaktadır. USM otomasyon projesinde bu iletişimi sağlamak için görsel bir programın kullanılması tercih edilmiştir. Grafiklerin çizilmesinde çeşitli active-x denetimleri ve programları kullanılmıştır. Şekil 4'de Visual Basic 6.0 ile geliştirilen USM hız denetimi



Şekil 4. Denetim sisteminin ekran görüntüsü

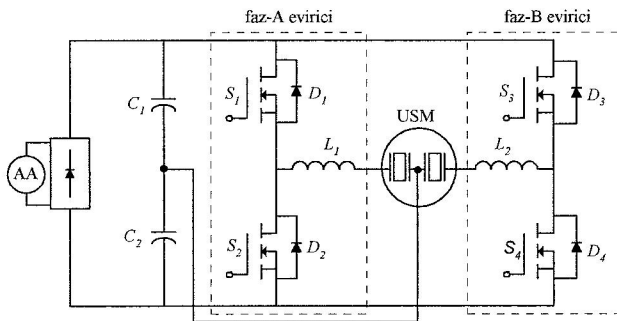
sistemine ait ara yüzün örnek bir ekran resmi görülmektedir.

Motor hızının denetlenmesi için öncelikle kullanıcıdan USM'ü çalıştırmak istediği DGM oranı istenmektedir. Bu değer girilip BAŞLA butonuna basıldığında USM sürme devresine filtre edilmiş denetim sinyali gönderilir. Daha sonra kullanıcının yön seçim sinyalini girmesi beklenir. Bu seçim yapıldıktan sonra USM'da dönme hareketi meydana gelmeyecektir. SAĞ yada SOL yön butonlarına basılınca yön bilgisini de alan USM istenen yönde ve hızda dönmeye başlayacaktır. Ayrıca sistemde kullanılan grafik çizim modülleri vasıtasıyla DGM sinyali, DA çıkış sinyali ve faz gerilimlerinin anlık değişimleri görsel ve sayısal olarak izlenebilmektedir.

Visual Basic 6.0 programı ile hazırlanan USM Otomasyon Sistemi Windows işletim sistemi altında, yardımcı hiçbir programa gerek duyulmaksızın çalışabilecek bir şekilde tasarlanmıştır. Sistemin güvenliğini sağlamak amacıyla eklenecek bir şifreleme algoritması yardımı ile web tabanlı olarak da çalıştırılması mümkündür.

3.4. USM Sürme Devresi

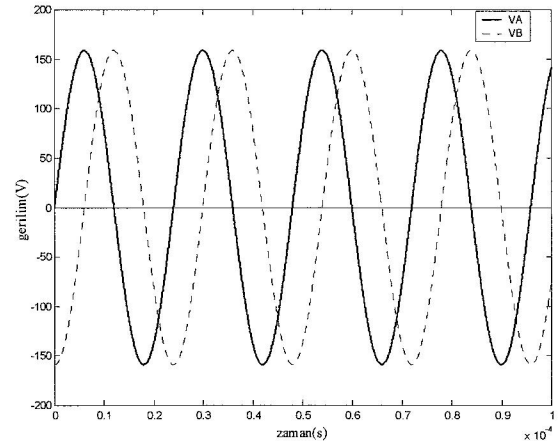
Pratik uygulamalarda, mekanik rezonans frekansındaki değişimleri izlemek ve piezoelektrik elemanın titreşim hızını düzenlemek için kontrol stratejisi geliştirilir. Tasarımı yapılan sistemde USM'un LC parazitik rezonans empedansını kullanan yüksek frekanslı rezonans evirici tasarlanmıştır ve motorun kontrol sistemine entegre edilmiştir. USM'un mekanik titreşim sisteminin rezonans frekansı 39-40 kHz arasındaki ultrasonik frekans bölgesindedir. Evirici USM'ü sürmek için bu frekans değerinin üzerinde çalışmalı ve yüksek frekanslı 0° - 90° faz farklı AC gerilimleri sağlamalıdır. Bu çalışmada faz farkı 90° olarak sabit kullanılmıştır. Şekil 5'de USM'un yarım-köprü seri-rezonans yüksek frekanslı iki-faz gerilime sahip MOSFET evirici devresi gösterilmiştir (13).



Şekil 5. USM için iki-faz evirici devresi

Bu evirici darbe genişlik modülasyonu (DGM), darbe frekans modülasyonu (DFM) ve hibrit (DGM/DFM) kontrol yöntemlerinin fonksiyonlarını içermektedir. Yüksek frekanslı güç kaynağı doğrultucu ile iki-faz yarım-köprü tip seri yüklü rezonans inverterinden oluşturulmuştur. Burada USM f_m rezonans

frekansına sahip kapasitif bir yük olarak gösterilmiştir. L_1 ve L_2 endüktansları kapasitif yüke eviricinin her fazında seri olarak bağlanmıştır. Bu endüktansların amacı USM'un sönüm kapasitesi C_d yi kompanze etmektir. Motorun sürülmesi sırasında çok yüksek frekanslarda anahtarlama yapıldığından kısa devreyi önlemek amacıyla anahtarlama elemanlarına bağlanacak diyotlar hızlı diyotlar olmalıdır. USM'un çalışma karakteristikleri dikkate alınarak; USM'un sürme frekansı f mekanik rezonans frekansı f_m den daha büyük bir değerde ayarlanır. Bu devreye USM'un hızını sabit tutmak için sürme frekansını izleyen kontrol devresi eklenmiştir. Motorun dönüşü sırasında elde edilen hız hatasına bağlı olarak elde edilen hata sinyali, PI denetleyici ve gerilim kontrol osilatörü (GKO) ile ayarlanarak sürme frekansını istenen değere getirmekte ve motor hızını referans hız seviyesinde tutmaktadır. Şekil 6'da yüksek frekanslı yarım-köprü seri-rezonans inverterde A ve B fazlarına ait gerilim dalga şekilleri verilmiştir. Burada inverterin A fazına ait çıkış gerilimi B fazının çıkış geriliminden $\pi/2$ açısı kadar ileridedir. Eğer B fazı $\pi/2$ açısı kadar ileri yapılırsa motorun dönüş yönü değiştirilir (1).

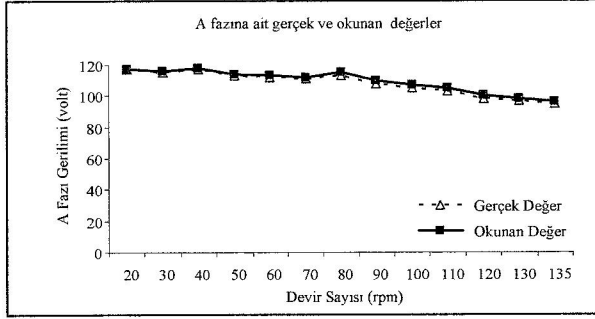


Şekil 6. Eviricinin iki-faz gerilimleri

3.5. Deneysel Sonuçlar

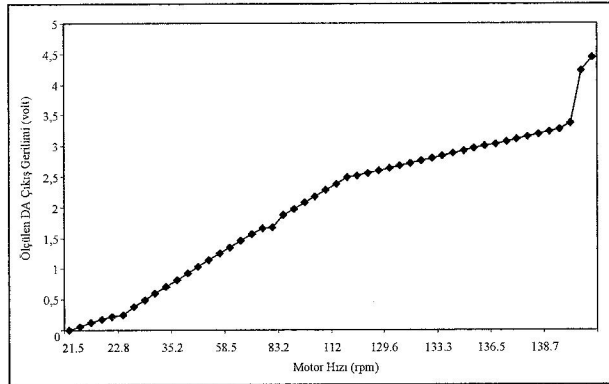
Yapılan deneyler sonucu elde edilen sonuçların osiloskop ve diğer ölçü aletleri ile doğrulanması amacıyla yapılan kontrol işlemlerinin bütünüdür. USM'un hızı genellikle sürme frekansı değiştirilerek kontrol edilmektedir. Bu çalışmada da motorun hızı sürme frekansı değiştirilerek kontrol edilmiştir.

USM'un hızı ile A Fazına ait gerilimin değişim eğrisi Şekil 7'de verilmiştir. Motorun lineer çalışma bölgesinde motor hızının artışına ters olarak azalan A Fazı gerilimi görülmektedir. Kararsız çalışma bölgesinde hız değişimlerinde hemen hemen aynı kalan gerilim değeri bu bölgeden çıkınca azalmaya başlamıştır.



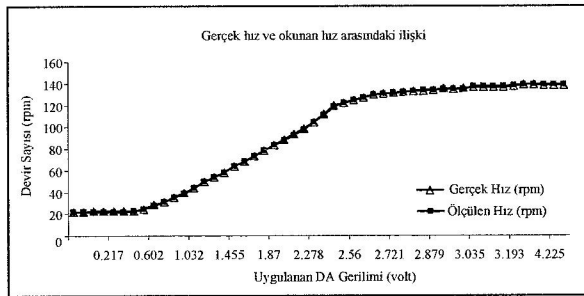
Şekil 7. USM hızı ile A Fazı gerilimi arasındaki ilişki

USM'ü değişik hızlarda çalıştırmak için gerekli olan DA çıkış sinyalini gösteren eğri Şekil 8'de verilmiştir. USM katalog bilgilerinde verilen kararsız çalışma bölgesinden çıktığı zaman oldukça lineer bir şekilde DA çıkış sinyalini izlemiştir. 139 d/d değerine kadar kararlılık sınırları içerisinde çalışan USM, bu değer aşıldığında tekrar kararsız bölgeye geçmiştir.



Şekil 8. USM hızı ile DA çıkış gerilimi arasındaki ilişki

USM'un milinden takometre ile alınan gerçek devir sayısı ile encoder dan elde edilen devir sayısı bilgisinin ilişkisini gösteren eğri Şekil 9'da verilmiştir. Görüldüğü gibi hızın gerçek değeri ile okunan değeri birbirine eşittir.



Şekil 9. USM'un gerçek hızı ile okunan hızı arasındaki ilişki

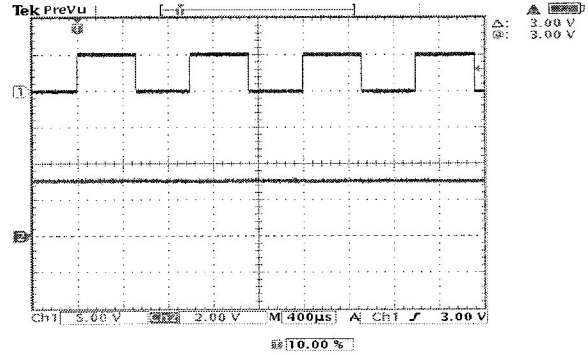
Motorun hızı ile motor üzerinde bulunan geri besleme sensörü olarak adlandırılan kısmın ürettiği gerilim arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için çeşitli değerler alınmıştır. Motor hızı arttıkça geri besleme geriliminin değeri de artmaktadır ve geri besleme gerilimi ile motor hızı arasındaki ilişki lineer olmaktadır.

Deney sonuçlarına göre, geri besleme gerilimi ile hız arasındaki ilişki kullanılarak ayrı bir hız sensörü

kullanılmadan motor hızını kontrol etmek mümkündür. Burada dikkat edilmesi gereken diğer bir konuda geri besleme sinyalinin frekansdır. Motor düşük devirde dönerken geri besleme sinyalinin frekansı yüksek, yüksek hızlarda dönerken sinyalin frekansı daha düşük olmaktadır.

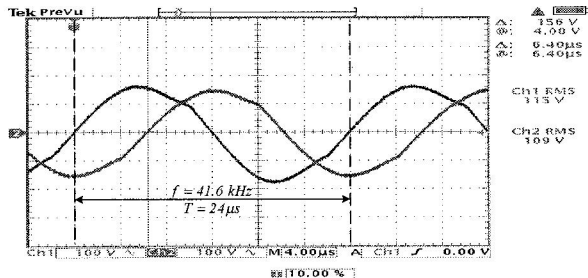
Yapılan deneylerde motor hızı 139 rpm ile 24, 5 rpm arasında değiştirilirken, geri besleme sinyalinin frekansı da 41, 24 kHz ile 43, 26 kHz arasında değişmiştir.

Örnek olarak, referans hız değeri olarak 90 rpm değeri verildiğinde mikrodenetleyici çıkışındaki DGM sinyalinin değişimi ve bu DGM sinyaline karşılık gelen motor hız değişimi osiloskop ile ölçülerek Şekil 10'da gösterilmiştir. Bu durumda ölçülen motor hızı 90 rpm ve filtre çıkış gerilimi yani motora uygulanan DA geriliminin değeri 2 V olmaktadır.



Şekil 10. PIC 16F877 çıkışındaki DGM sinyali ve motor hızının değişimi

Motor 90 rpm hızla dönerken iki-faz gerilimlerin değişimi osiloskop ile ölçülerek Şekil 11'de gösterilmiştir. Motor 90 rpm hızla dönerken iki-faz gerilimlerin değeri A fazı için 115 V ve B fazının gerilimi 109 V olmaktadır. Motorun bu hızda dönmesi için gerekli olan sürme frekansı 41.6 kHz'dir.

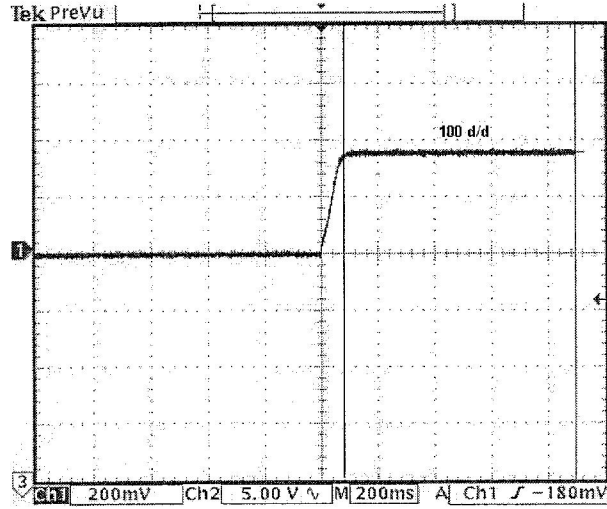


Şekil 11. İki-faz gerilimlerin değişimi (motor hızı 90 rpm)

Bu çalışmada motorun geçici hız tepkilerini elde etmek için farklı referans hız komutları için motorun gerçek hız tepkileri ölçülmektedir. PIC mikrodenetleyici tarafından üretilen DGM sinyali, filtre devresi yardımıyla DA gerilime dönüştürülerek hız referansı üretilmektedir. Motorun gerçek hızı ise yine PIC 16F877 tarafından motor miline bağlı olan devir algılayıcının kare dalga sinyalinin dalga sayısı saydırılarak ölçülmüş, ölçülen bu değer bilgisayar üzerinden gösterilmiştir.

rilmiş ve takometre ile bu ölçümün doğruluğu test edilmiştir.

Bu çalışmada USM'un geçici rejim hız tepkisi de incelenmiştir. Şekil 12'de USM'un 100 d/d hız referansındaki yüksüz çalışma durumundaki hız eğrisi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi motor, verilen hız referansını çok düzgün bir şekilde izlemekte ve herhangi bir hız dalgalanması oluşmamaktadır. Motor referans hız değerine 60 ms' lik sürede ulaşmıştır.



Şekil 12. USM'un 100 d/d hız tepkisi

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sunulan bu çalışmada yürüyen dalga tip USM'un hız ve parametrelerinin denetimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bilgisayarda ekran denetimi ile motorun çalışması sayısal ve grafiksel olarak izlenmiştir. Sistemde bilgisayar kontrolü mevcut olduğu için mikrodenetleyicinin işlevleri yalın ve rutin işlemlerle sınırlandırılmıştır. Böylelikle hızlı ve güvenilir bir hız denetimi sistemi gerçekleştirilmiştir. Motor parametrelerinin fazla ölçü aleti kullanılarak izlenmesi yerine bilgisayarla izlenmesi avantajı sağlanmıştır. Böylece hem duyarlılık hem de maliyet bakımından avantaj elde edilmiştir. PIC, DSPic ve benzeri güvenilir işlemciler ile yüksek çözünürlükte ki küçük LCD paneller yardımı ile hız denetimi bilgisayar desteği olmadan da sağlanabilir. Özellikle uzay uygulamalarında tercih edilen USM'ların işlevsel olarak optimizasyonunun sağlanması bu teknikle mümkün kılınabilir. Alınan ölçümlerin daha yüksek çözünürlükte bir örnekleme zamanına tabi tutulması ile uygulamadaki değerler ile gerçek değerler arası doğruluk sağlanmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Senjyu, T., Uezato, K. and Miyazato, H., 1995, Adjustable speed control of ultrasonic motors by adaptive control, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol 10, No.5, p.532-538.
2. Hirata, H., Ueha, S., 1995, Design of a traveling wave type ultrasonic motor, IEEE Transactions on Ultrasonic, Ferroelectrics and Frequency Control, Vol.42, No.2, p.225-231.
3. F. J. Lin and L. C. Kuo, 1997, "Driving circuit for ultrasonic motor servo drive with variable-structure adaptive model-following control" IEEE Proc. Electr. Power Appl., vol. 144, no. 2, p. 199-206.
4. Bekiroğlu, E. 2002, Yürüyen dalga ultrasonik motorun hız ve konum denetiminin bulanık mantık denetleyici kullanılarak gerçekleştirilmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
5. Chen, J.S., Lin, I.D., 2002, Toward implementation of an ultrasonic motor servo drive using FPGA, Mechatronics, 12, 511-524.
6. Senjyu, T., Yokoda, S., Uezato, K., 2001, A study on high efficiency drive of ultrasonic motors, Electric Power Components and Systems, 29, 179-189.
7. Bekiroğlu, E., Bal, G., 2000, Ultrasonik motorlar II: Sürme ve kontrol devrelerinin incelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, vol.14 no.1, 99-115.
8. Izuno, Y., Izumi, T., et al., 1998, Speed tracking servo control system incorporating travelling-wave type ultrasonic motor and feasible evaluations, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.34, No.1, p.126-132.
9. Lin, F. J., Duan, Y.R and Lin H.H., 1999, An ultrasonic motor drive using LLC resonant technique, IEEE Trans. Power Electron., p. 947-952.
10. Lin, F.J., Wai, R.J., Hong, C.M., 2000, Recurrent neural network control for LCC-resonant ultrasonic motor drive, IEEE Transactions on Ultrasonic, Ferroelectrics and Frequency Control, 47 (3), 737-749.
11. Lin, F.J., Duan, R.Y., Yu, J.C., 1998, A current source parallel-resonant inverter for ultrasonic motor, IEEE Power Electronics Specialists Conf., PESC'98, 1, 450-455.
12. Senjyu, T., Uezato K. and Miyazato, H., 1995, Quick and position control of ultrasonic motors with two control inputs, IEEE Transactions on Power Electronics, p.415-420.
13. Bekiroğlu, E., Bal, G., 2000, Ultrasonik motorlar II: Sürme ve kontrol devrelerinin incelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Vol.14 no.1, 99-115.