

PIC MİKRODENETLEYİCİSİ İLE ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORUN SÜRÜLMESİ

Mahir DURSUN
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü
06500-Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Anahtarlamalı relüktans motorlar (ARM)'in üretim maliyeti düşük, bakımları ucuz ve verimleri yüksektir. Bu motorlar yük altında kalkınmaya ve değişken hızlı sürücüler için uygun karakteristiğe sahip olmalarına rağmen çalışmalarında denetleyici, sürme devresi ve konum bilgisine ihtiyaç duyarlar. Bu çalışmada, gerilim denetimli bir konvertör tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilerek ARM hız denetimi sağlanmıştır. Denetimde bir PIC16F877 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler:Anahtarlamalı relüktans motor, PIC16F877

SWITCHED RELUCTANCE MOTOR DRIVE WITH PIC MICROCONTROLLER

ABSTRACT

Switched reluctance motor (SRM) have low cost, maintains free, and high efficiency. These are appropriate to starting with load and variable speed drives. However, SRM cannot be operated without a controller, driver and position sensor. In this paper, a basic converter which is a voltage control is designed and implemented. A PIC16F877 is used as a controller.

Key Words: Switched reluctance motor, PIC16F877

1. GİRİŞ

Hız denetiminde, doğru akım (DA) motorlarının bakımlarının zor ve arıza oranlarının yüksek olması, asenkron motorların ise DA motorlarına göre üretim maliyetinin düşüklüğü ve az bakım gerektirmesi gibi üstünlükleri nedeniyle DA motorlarının yerini almışlardır(1). Ancak, asenkron motorların hız denetiminde karşılaşılan zorluklar ve verim düşüklüğü gibi nedenlerle endüstride asenkron motor yerine ARM kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır.

ARM'ler, asenkron motor veya DA motorlarıyla kıyaslandığında oldukça basit bir yapıya sahiptirler. ARM'ler yüksek verimli ve yüksek moment/hacim oranına sahip olduklarından değişken hız gerektiren uygulamalarda diğer elektrik motorlarına üstünlük sağlamışlardır. Güç elektroniği ve denetleyici yapısındaki gelişmelere paralel olarak tüketiciye dönük uygulamalarda bu motorlar gittikçe daha fazla artan bir ilgiye sahiplerdir. ARM'ler elektrikli tahrik sistemlerinde hız denetimi, enerji tasarrufu ve yumuşak yol verme gibi amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadır.

Günümüzde endüstride kullanılan ARM'lerin güçleri 100 W ile 750kW arasında, hızları ise 250-50000 d/d arasında değişmektedir.

ARM'lerin kullanım alanlarının yaygınlaşmasıyla son yıllarda bu motor üzerindeki araştırmalar hızla artmıştır. ARM'lerin mikroişlemci

yada sayısal işaret işlemci ile hız denetimi, moment dalgalanmasının azaltılması ve konum algılayıcısız denetim yöntemleri ile ilgili pek çok çalışma literatüre girmiştir(2-4).

Bu çalışmada bir sürücü tasarlanarak 8/6 kutuplu, 4 fazlı ve 4 kW gücündeki bir ARM'nin hız denetimi sağlanmıştır. ARM hız denetiminde, sürme devresi, incremental tip bir konum algılayıcısı ve PIC16F877 tipi bir mikro denetleyici kullanılmıştır.

2. ARM SÜRÜCÜSÜ TASARIMI

ARM'lerde moment, faz akımının yönüne bağlı olmadığından tek kutuplu denetim devresi yeterlidir. ARM'lerde akımın tek yönlü olması histerezis kayıplarını da azaltır.

ARM'nin hız denetimi, akım yada gerilim denetimi olmak üzere iki farklı yöntemle yapılabilir. Akım denetimi yönteminde motor faz akımlarının komütasyonunda gerekli olan yüksek seviyeli enerji ve faz akımlarının denetimindeki zorluk, ARM için sürücü tasarımında karşılaşılan en önemli problemlerdir. Bu, motor faz endüktansını , büyük ve rotor pozisyonu ile geniş bir aralıkta değişmesinden kaynaklanmaktadır.

İdeal şartlarda, ARM'den düzgün bir moment elde etmek için konvertörden motor sargılarına kare dalga akım sağlanması gerekmektedir. Bu durum bir sargıdan diğerine mümkün olduğunca

hızlı bir komitasyonu gerektirmekte ve akımın iletim periyodu boyunca regüle edilmesini zorunlu kılmaktadır. ARM yüksek hızlarda çalışırken, motor sargılarında depolanan enerji seviyesinin yüksek olması ve değişken endüktanstan dolayı sargıdaki akımın regülasyonu güçleşir. Yüksek hızlarda, akım regülatörünün motor sargı endüktansındaki hızlı değişmeye cevap verebilmesi için yeterince hızlı olması gerekir. Aynı zamanda, sistem parametreleri değişken olduğu için sabit parametrelili denetleyiciler bazen uygun olmayabilir. Bu nedenle motor faz akımlarının yakın denetimi için uyumlu bir denetleyici gerekmektedir(5).

Akım denetimi yöntemiyle ile hız denetiminin sakıncalarından dolayı bu çalışmada gerilim denetimi yöntemiyle ARM hız denetimi tercih edilmiş ve sürücü tasarlanmıştır. ARM'yi beslemek için pek çok konvertör yapısı çalışılmış ve literatüre girmiştir(6-10). Bu konvertörler komütasyon boyunca kullanılan besleme devreleri ve enerjiyi geri toplama teknikleri bakımından farklılıklar bulunsa da temelde akım yada gerilim denetimi için tasarlanırlar.

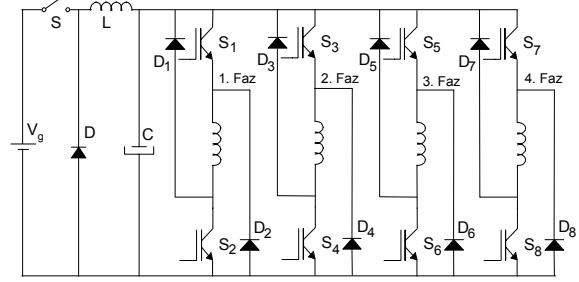
3. ARM İÇİN GERİLİM DENETİMLİ KONVERTÖR TASARIMI

Gerilim azaltan konvertörlerde (step down yada buck konvertör) çıkış gerilimi $V_{\text{ç}}$, giriş gerilimi V 'den daha küçüktür. Bu konvertörler genellikle regüleli DA güç kaynaklarında ve DA motor sürücülerinde kullanılır.

Gerilim denetimli konvertörler pratikte sürekli akım iletim ve süreksiz akım iletim kipi olmak üzere iki ayrı iletim kipinde de çalışabilirler. Bu yüzden konvertör tasarlanırken her iki kipte de çalışabileceği göz önünde bulundurulur. Konvertörün çalışacağı akım kipini, konvertördeki bobinin değeri belirler. Eğer bobinin değeri yeterli büyüklükteyse, devrenin çalışma akımı sıfır olmaz, pozitif bölgede dalgalanma yapar. Bu çalışma kipine sürekli akımda çalışma kipi denir. Eğer bobinin değeri yeterince büyük değilse her yarım saykılın bir kısmında bobin akımı sıfır olur. Bu çalışma kipine de süreksiz akım kipi denir. Konvertör tasarımında her iki tip için ayrı ayrı analiz yapılır.

Şekil 1'de 4 fazlı bir ARM için tasarlanan gerilim denetimli konvertör devresi görülmektedir. Devredeki bobin ve kondansatör alçak geçiren filtredir ve yükün durumuna bağlı olarak gerekli filtre

işlemini yaparlar. Böylece çıkış gerilimindeki dalgalanma mümkün olduğunca azaltılmış olur.



Şekil 1. Gerilim denetimli konvertör ve 4 fazlı ARM'ye bağlantı şeması

ARM'ler için gerilim veya akım denetimli sürücü devrelerinin kendine has üstünlükleri ve sakıncaları vardır. Akım denetimli sürücüler özellikle düşük hızlarda dalgasız tork üretmek için uygundur. Yüksek hızlarda gerilim denetimli besleme daha uygun olmaktadır(7). Ayrıca yüksek hızlarda sabit akım sağlamak zorlaşmaktadır.

ARM'lerin en büyük sakıncalarından biri uygun bir denetim sağlanamadığı takdirde momente meydana gelen aşırı dalgalanmalardır.

ARM'lerde moment Eş. (1) ile gösterilebilir.

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \quad (1)$$

ARM'de momentin faz sargılarından geçen akımın karesi ile değişmesi nedeniyle faz akımlarının sürekliliği oldukça önemlidir. Bu nedenle ARM'ler için tasarlanan gerilim denetimli konvertörler çoğunlukla sürekli akım işlemi için tasarlanır. Filtredeki bobinin minimum değeri Eş. (2) ile hesaplanır.

$$L_{\min} = \frac{(1-D) \cdot R}{2 \cdot f_a} \quad (2)$$

Eş. 2'deki f_a anahtarlama frekansı, R yük direnci, D ise darbeleme oranıdır. Eğer S anahtarının anahtarlama frekansı yeterince yüksek seçilirse, minimum değerdeki bobin ARM'nin sürekli akım ile çalışmasını sağlar. Filtredeki kondansatör ise faz gerilimindeki dalgalanmayı azaltır. Kondansatör ve bobin değerinin küçük olması anahtarlama frekansının yüksek olmasını gerektirir. Fakat anahtarlama frekansının yükselmesi ile anahtarlar da oluşacak kayıplar artacağı için genellikle 5 kHz ile 50 kHz arasında seçilir (8). Bu çalışmada ise anahtarlama frekansı 10 kHz'dir.

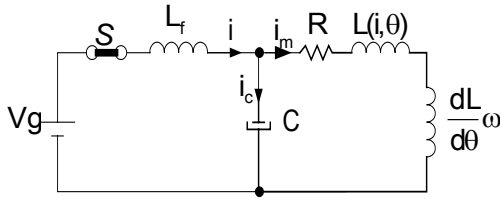
Anahtarlamalı devrelerin analizinde, anahtarların açık ve kapalı olduğu her iki durum için ayrı ayrı durum uzay denklemlerinin irdelenmesi gerekir.

3.1 Anahtarın kapalı olması durumu

Anahtar kapalı iken gerilim denetimli konvertör ve ARM'nin eşdeğer devresi Şekil 2'de verilmiştir. Verilen devrenin çevre denklemine göre elde edilen eşitlikleri yazılırsa Eş. (3) ve Eş (4) elde edilir.

$$V_g = \omega L_f \frac{di}{d\theta} + V_c \quad (3)$$

$$i = i_a + i_b + i_c + i_d + \omega C \frac{dv_c}{d\theta} \quad (4)$$



Şekil 2. Anahtar kapalı iken gerilim denetimli konvertörün eşdeğer devresi

Eş. (3)'deki kondansatör gerilimi ve Eş. (4)'deki bobin akımı durum değişkeni seçilerek yeniden düzenlenirse, Eş. (5) ve Eş.(6);

$$\frac{dv_c}{dt} = \frac{i - i_m}{C} \quad (5)$$

$$\frac{di}{d\theta} = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{V - V_c}{L_f} \quad (6)$$

elde edilir.

$$K_a = R + \omega(dL_a / d\theta) \quad (7)$$

$$K_b = R + \omega(dL_b / d\theta) \quad (8)$$

$$K_c = R + \omega(dL_c / d\theta) \quad (9)$$

$$K_d = R + \omega(dL_d / d\theta) \quad (10)$$

olmak üzere, Eş.(5) ve Eş.(6) durum uzay genel formu olan Eş. (11)'e benzetilirse

$$\dot{x} = A_1 x + B_1 u \quad (11)$$

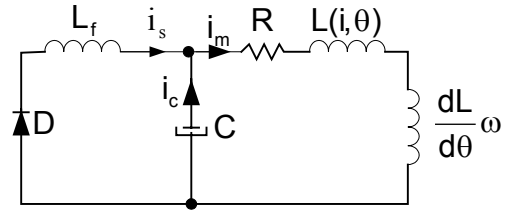
Eş. 11'deki u vektörü giriş gerilimi V'dir. Durum uzay şartlarında hız (ω)'ın sabit olduğu

varsayılır. Bütün anahtarlar kapalı iken devrenin durum uzay denklemi Eş. (12) ile ifade edilir.

$$\dot{X} \begin{bmatrix} i_s \\ i_a \\ i_d \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\omega L_f} \\ 0 & -\frac{K_a}{\omega L_a} & 0 & -\frac{K_a}{\omega L_a} \\ 0 & 0 & -\frac{K_d}{\omega L_d} & -\frac{1}{\omega L_d} \\ \frac{1}{\omega C} & -\frac{1}{\omega C} & -\frac{1}{\omega C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ i_a \\ i_d \\ V_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{1}{\omega L_f} \\ \frac{1}{\omega L_a} \\ \frac{1}{\omega L_d} \\ 0 \end{bmatrix} [V] \quad (12)$$

3.2 Anahtarın Açık Olması Durumu

Şekil 3'de anahtarın açık olma durumu görülmektedir. Şekil 3'deki devrenin akım ve gerilim denklemleri, Kirchoff'un akımlar kanunundan Eş (13) ve Eş.(14) olarak elde edilmiştir.



Şekil 3. Anahtarın açık olduğu durumda gerilim denetimli konvertörün şeması

$$0 = \omega L_f \frac{di}{d\theta} + V_c \quad (13)$$

$$i_m = i_a + i_b + i_c + i_d - \omega C \frac{dv_c}{d\theta} \quad (14)$$

olarak elde edilir. Benzer şekilde kaynak akımı i, kondansatör gerilimi Vc ve faz akımları durum değişkeni seçilerek Eş. (21)'deki genel durum uzay denklemi yazılabilir. Ka Eş (7), Kb Eş (8), Kc (9) ve Kd Eş(10)'da verilmiştir.

$$X(0) = \begin{bmatrix} i_s \\ 0 \\ i_d \\ V_c \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\dot{X} \begin{bmatrix} i_s \\ i_a \\ i_d \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\omega L_f} \\ 0 & -\frac{K_a}{\omega L_a} & 0 & \frac{1}{\omega L_a} \\ 0 & 0 & -\frac{K_d}{\omega L_d} & \frac{1}{\omega L_d} \\ \frac{1}{\omega C} & -\frac{1}{\omega C} & -\frac{1}{\omega C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ i_a \\ i_d \\ V_c \end{bmatrix} \quad (16)$$

4. GERİLİM DENETİMLİ KONVERTÖR İLE ARM'İN HIZ DENETİMİ

Gerilim denetimli konvertörde çıkış gerilimi (V_{ϕ}), testere dişi sinyalin tepe değeri (V_{st}) ile denetim sinyali ($V_{denetim}$)'den bulunmak istenirse;

$$V_{\phi} = \frac{V_{denetim}}{V_{st}} \cdot V \quad (17)$$

Eş (17) elde edilir. Görev oranı ise Eş. (18)

$$D = \frac{t_{on}}{T} = \frac{V_{denetim}}{V_{st}} \quad (18)$$

dir. Anahtarın t_{on}/T oranı değiştirilerek V_{ϕ} kontrol edilebilir.

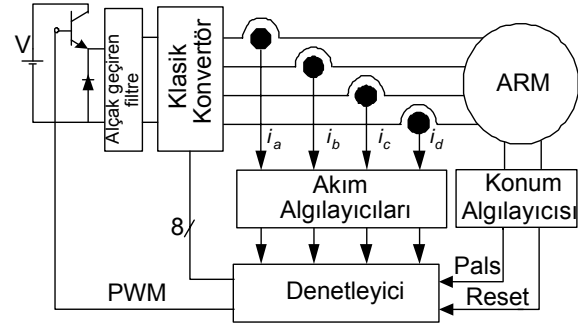
8/6 kutuplu bir ARM'nin endüktans değişim eğrilerine göre rotorun 360° lik hareketinde 1 fazın endüktansı 6 defa tekrarlanır. Uygulamada ARM'nin iletim açısı 20° ve ortak iletim açısı 5° dir. ARM'nin faz ateşlemeleri klasik konvertör ile sağlanmış ve pozisyona göre faz ateşleme sinyallerinin durumu Çizelge 1'de verilmiştir. ARM'nin hız denetimi için PIC mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Motorun ilk kalkınmasında yada çalışmasında, herhangi bir nedenle faz akımları referans değeri geçerse ilgili fazın anahtarlarının sinyali referans değerinin altına düşünceye kadar "0" yapılarak akım koruması sağlanmıştır.

Çizelge 1. Faz akımlarına ve konuma göre anahtarların açık-kapalı durumu

Konum	Faz akımları	Anahtar pozisyonu
0-5 ⁰	i_a ve $i_d < i_{ref}$	11000011
	$i_a < i_{ref}$ ve $i_d > i_{ref}$	11000000
	$i_a > i_{ref}$ ve $i_d < i_{ref}$	00000011
5-15 ⁰	$i_a < i_{ref}$ ve $i_d > 0$	11000000
5-20 ⁰	i_a ve $i_b < i_{ref}$	11110000
	$i_a < i_{ref}$ ve $i_b > i_{ref}$	11000000
	$i_a > i_{ref}$ ve $i_b < i_{ref}$	00110000
20-30 ⁰	$i_a > 0$ ve $i_b < i_{ref}$	00110000
30-35 ⁰	i_b ve $i_c < i_{ref}$	00111100
	$i_b < i_{ref}$ ve $i_c > i_{ref}$	00110000
	$i_b > i_{ref}$ ve $i_c < i_{ref}$	00001100
35-45 ⁰	$i_b > 0$ ve $i_c < i_{ref}$	00001100
45-50 ⁰	i_c ve $i_d < i_{ref}$	00001111
	$i_c < i_{ref}$ ve $i_d > i_{ref}$	00001100
	$i_c > i_{ref}$ ve $i_d < i_{ref}$	00000011
50-60 ⁰	$i_c > 0$ ve $i_d < i_{ref}$	00000011

5. ARM'İN HIZ DENETİMİ

Şekil 4'de ARM'nin hız denetiminin kapalı şeması verilmiştir. ARM'nin hız denetimi; DA'nın seviyesini değiştirmek için anahtar, alçak geçiren LC filtre, ARM faz akımlarının denetlenmesi amacıyla kullanılan klasik konvertör, ARM, konum algılayıcısı, akım algılayıcıları ve denetleyiciden oluşmaktadır.



Şekil4. ARM hız denetimi devre şeması

5.1 Anahtarlama Bölümü

Doğrultma devresi çıkışındaki gerilimin değeri, 10 kHz'lik anahtarlama frekansında PWM tekniği ile kıyım yapılarak uygun değere getirilmektedir.

Anahtarlama elemanı olarak CM75DY12H tipi bir adet IGBT kaynak ile yük arasında seri olarak bağlanmıştır. IGBT'yi korumak (snubber) için 10 kHz'lik anahtarlama IGBT'nin iletim ve kesim süresi dikkate alınarak $0.22\mu F$, 600 V kondansatör, 25 Ω seramik direnç ve plastik kılıf IXYS120-60 hızlı toparlama diyodu kullanılmıştır.

5.2 Alçak Geçiren Filtre

Anahtarlama elemanın çıkışındaki gerilimin şekli, kesikli kare dalga şeklindedir. Bu kaynaktan beslenen ARM'de üretilen momentteki dalgalanmayı minimum hale getirmek için anahtarlama elemanı çıkışına alçak geçiren bir LC filtre konulmuştur. Filtre bobinin endüktansı 60 mH, kondansatörün değeri ise 500V, 5000 μF 'tır. Filtre bobini nedeniyle anahtarın kesime gitmesi sırasındaki zıt emk'nın anahtarlama elemanına zarar vermesini önlemek için anahtar ile bobin arasında ayrıca bir diyot daha eklenmiştir. Bu diyot koruma devresindeki diyot ile aynı değerdedir.

5.3 Serbest Döngü Diyotu

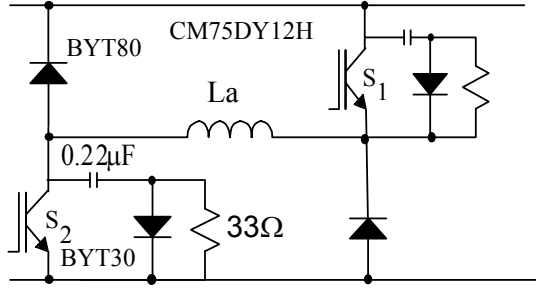
Anahtar çıkışına ters bağlı olan bu diyot, anahtarlama elemanı koruma diyot ile aynı özelliklere sahiptir. Anahtarlama elemanının kesimde

olduğu süre içerisinde, motor faz akımlarının alçak geçiren filtredeki bobin ve kondansatörde depo edilen enerji ile beslenerek motor momentinin sürekliliği ve osilasyonun tek yönlü olmasını sağlar.

5.4. Klasik Konvertör Devresi

Klasik konvertör devresi faz başına iki adet CM75DY-12H IGBT, BYT80 hızlı toparlama diyotları ve koruma devreleri (snubber)'den oluşmaktadır. IGBT sürülürken gate devresine mutlaka seri bir direnç bağlanmalıdır. Bağlanacak gate direnci (R_G)'nin değeri IGBT'nin iletme geçmesi ve dinamik davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

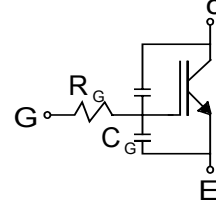
Şekil 5'de klasik konvertör devresinin motorun bir fazına ait bağlantısı ve koruma elamanları görülmektedir. Şekil 6'da ise IGBT'nin eşdeğer devresi verilmiştir.



Şekil 5. Koruma elamanlarıyla birlikte klasik konvertör ve ARM bir faz bağlantısı

Eşdeğer devrede bulunan C_G kondansatörünün şarj olmasıyla iletme ve deşarj olmasıyla kesime gider. R_G 'nin değeri ile IGBT'nin iletme ve kesime geçme süresi doğru orantılıdır. Düşük değerli R_G IGBT'nin daha yüksek anahtarlama frekansında çalışabilmesi ve daha az anahtarlama kayıplarının oluşumu imkanı sağlar. Ancak IGBT'nin kesime gitmesi anında ya da kısa devre durumunda dv/dt oranının büyük olmasına, IGBT'nin kollektör-gate arasındaki kondansatörü nedeniyle gate devresinden bir akım geçmesine neden olur. Eğer gate devresinden geçen akım yeterli büyüklükte ise, gate direnci R_G üzerinde düşen gerilim IGBT'nin kontrolsüz bir şekilde iletme geçmesine neden olabilir. Küçük değerdeki R_G direnci bunu önlese de, gate-emiter devresinden kondansatörü ve gate devresindeki kablonun parazitik endüktansı nedeniyle, iletim anında oluşan yüksek di/dt oranı ve kesime gitme anında oluşan yüksek dv/dt dolayısıyla toparlama anında yüksek surge gerilimleri meydana gelir. Çok yüksek R_G direnci, osilasyon

problemini çözerek IGBT'nin doğrusal bölgede çalışmasını sağlamasına rağmen anahtarlama kayıplarını artırır, anahtarlama frekansını ise azaltır.



Şekil 6. IGBT'nin eşdeğer devresi

R_G 'nin seçiminde en önemli kriter IGBT'yi korumak ve güvenli sınırlar içerisinde çalışmasını sağlamaktır. Bu nedenle çalışma sırasında IGBT'den geçecek ani akım değeri IGBT akım değerini geçmemelidir. Sürme devresinde kullanılacak minimum R_G değeri kullanılan sürme devresindeki anahtarlama elemanının çıkış akımı ile belirlenebilir. Bu değer;

$$R_{G(\min)} = V_{CC} - V_{EE} / I_{IGBT} \quad (19)$$

dir. $V_{CC} = 15V$ ve $V_{EE} = -10V$ olduğundan; $R_{G(\min)} = (15 + 10) / 5 = 5$ ohm olmalıdır.

5.5. Konum Algılayıcısı

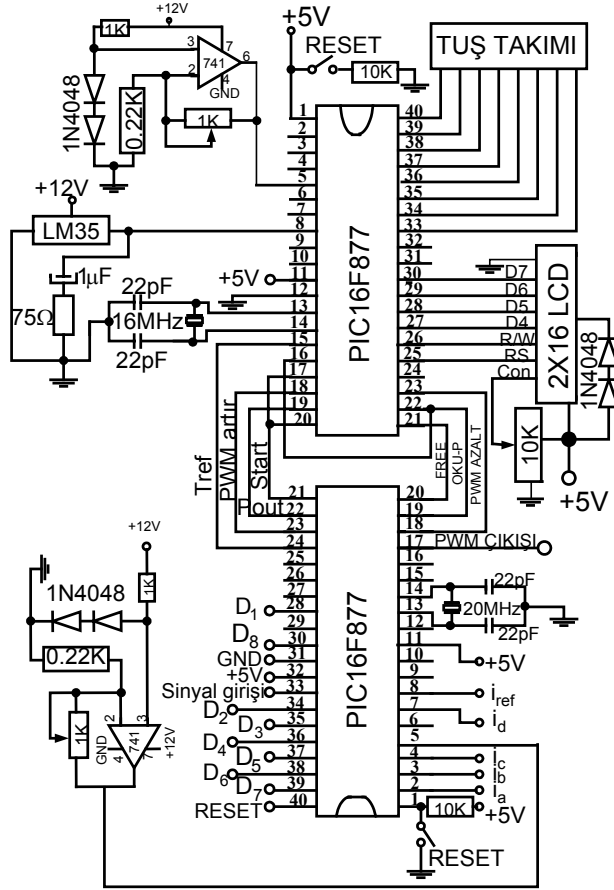
ARM'nin çalışmasında motor miline bağlı bulunan 1080 pals/devir özelliğinde incremental tip konum algılayıcısı kullanılmıştır. Bu konum algılayıcısı 1080. pals sonunda bir de reset sinyali vermektedir. Farklı bir kanaldan gelen reset sinyali denetleyicinin harici kesme girişine uygulanmıştır. Böylece her kesme gelmesinde muhtemel konum hataları sıfırlanmış olmaktadır. Her 3 pals geldiği zaman motor toplam 1 mekaniki açıda döner.

5.6 Denetleyici

Tasarlanan denetleyicinin tüm devre şeması Şekil 7'de verilmiştir. Devre iki adet PIC16F877, bir adet 2X16 LCD gösterge ve 16 tuşlu klavyenin uygun şekilde birleştirilmesiyle oluşturulmuştur.

Denetleyici seçiminde temel kriter, denetleyici kapasitesi ile fiyatıdır. Tasarımı gerçekleştirilen ARM denetleme devresi iki adet mikro denetleyici, 16 karakterli klavye ve 2X16 LCD gösterge oluşmaktadır.

Kullanılan klavyedeki 16 tuştan 12 tanesi aktif olarak kullanılmıştır. Bunların 10'u rakam, diğerleri “#” ve “*” tuşlarıdır. Referans hızın girilmesine “#” tuşu ile başlanır, “*” tuşu ile bitirilir.



Şekil 7. Denetleyici Tüm Devre Şeması

5.7 Akım Algılama

Faz akımlarını ölçmek amacıyla LEM firmasının LTA50:SP1 tipi akım algılayıcıları kullanılmıştır. ADC girişini aşırı gerilimden korumak amacıyla algılayıcının nüvesine 4 tur sarım yapılmıştır. Bu şekilde 12.5A akım değerinde 5V çıkış gerilimi verecek şekilde ayarlanmıştır.

5.8 Denetleyici Yazılımı

ASSEMBLY dilinde yazılan program ve MPLAB programı ile makine dilinde derlenmiş, PONYPROG programı ile denetleyicilere yüklenmiştir.

ARM'nin çalışabilmesi için aynı anda iki faz akımının algılanması yeterlidir. Anma hızda çalışırken ARM pozisyonun tam olarak algılanabilmesi için program döngü süresinin bilinmesi gerekmektedir.

ARM, 1500 d/d hızda çalışırken konum bilgisinin frekansı 27000 Hz olmaktadır. Bu sinyalin

periyodu ise $37.37 \mu\text{Sn}$ 'dir. Eğer denetleyicinin çevrim hızı bu süreden daha büyükse denetleyici sinyalleri yakalayamaz ve yanlış konum bilgisi alındığından motor kararlı çalışmaz.

Denetleyicinin konum algılayıcısından gelen sinyalleri kaçırarak motorun kararsız çalışmaması için denetimde 8 bit A/D dönüşümleri yapan 20 Mhz'lik bir mikrodenetleyici ile diğer konutların yerine getirilebilmesi için 16 Mhz ile çalıştırılan başka bir denetleyici daha kullanılmıştır.

ARM'nin ve güç devresi elemanlarının korunabilmesi için, denetleyici akım sınırlaması yapılmaktadır. Akımın sınır değeri motor çalışmaya başlamadan önce değiştirilebildiğinden aynı sürücü değişik güçteki ARM'lerde de kullanılabilir.

6. ARM'İN ÇALIŞTIRILMASI

Tasarlanan denetleyiciye enerji verildiği anda, LCD ekranın ikinci satırında REF HIZ'ı belirten 4 rakamlı sayının binler basamağı üzerinde kursor görünür. Sayı, daha önceki referans hızın rakamlarıdır. Eğer ARM aynı referans hızda çalıştırılmak istenirse tuş takımının "*" tuşu ile onay verilerek motor çalıştırılmaya başlar. ARM çalışırken "#" tuşuna basılarak klavyeden yeni referans hız girilip "*" tuşu ile onay edilirse ARM kararlı duruma geldikten sonra yeni hızda çalışır.

7. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Tasarlanan konvertör ve denetleyici devresiyle çalıştırılan ARM'nin boşa çalışma deneyinden alınan akım ve gerilim değerleri ve bu değerlerden hesaplanan güç tüketimi Çizelge 2'de verilmiştir.

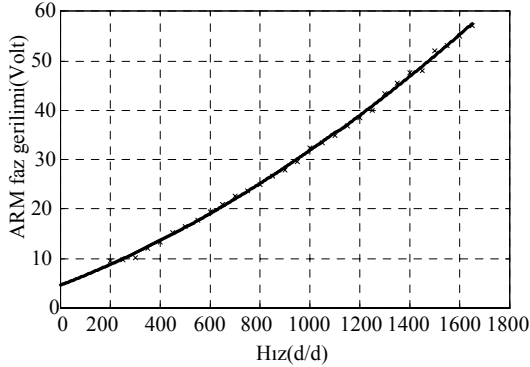
Çizelge 2'deki değerlere göre çizilen hızın gerilime göre değişimi Şekil 8'de görülmektedir. ARM 9.6V'luk bir gerilimle kalkınmaya başlamış ve 52 V civarında nominal hıza ulaşmıştır. Ancak ARM hızının faz gerilimi ile doğrusal olarak değişmediği dikkati çekmektedir.

Çizelge 2. ARM'nin boşa çalışma deneyi sonuçları

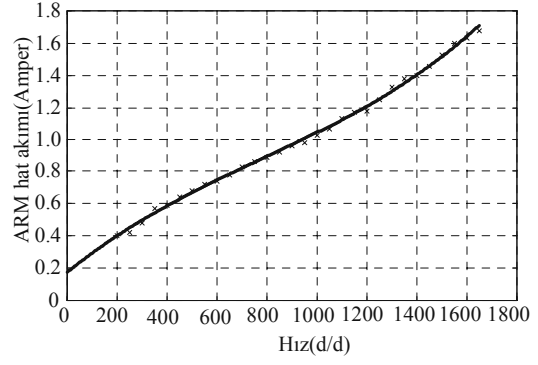
Hız	Vk	Uf	Iş	P
-----	----	----	----	---

d/d	(V)	(V)	(A)	(W)
200	80.5	9.5	0.4	3.8
250	80.5	9.6	0.42	4.032
300	80.3	10.2	0.48	4.896
400	80.0	13.2	0.59	7.788
450	79.7	15.2	0.64	9.728
500	79.6	16.4	0.68	11.152
650	79.2	20.8	0.78	16.224
700	79.1	22.5	0.83	18.675
750	79.0	23.6	0.86	20.296
800	78.9	24.9	0.89	22.161
900	78.5	27.8	0.96	26.688
1000	78.2	32.3	1.02	32.95
1100	78.0	34.8	1.13	39.32
1150	78.0	36.9	1.17	43.17
1200	77.5	38.5	1.18	45.43
1250	77.0	40.0	1.25	50.00
1300	76.8	43.3	1.33	57.60
1350	76.7	45.5	1.38	62.79
1400	76.6	47.6	1.40	66.64
1450	76.6	48.0	1.46	70.08
1500	76.5	52.0	1.53	79.56
1550	76.4	53.0	1.60	84.8
1600	76.4	55.0	1.63	89.65
1650	75.9	57.0	1.68	95.76

Çizelge 2'deki değerlere göre çizilen akımın hızla göre değişim eğrisi Şekil 9'da görülmektedir. Bu şekilde ARM akımı hızla ile doğrusal olarak artmadığı görülmektedir. Ayrıca ARM'nin boşta nominal hız akımı diğer motorlarla kıyaslanırsa çok düşüktür.

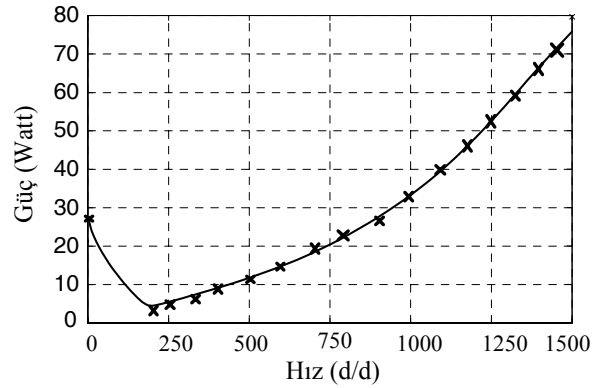


Şekil 8. ARM faz geriliminin hızla göre değişimi



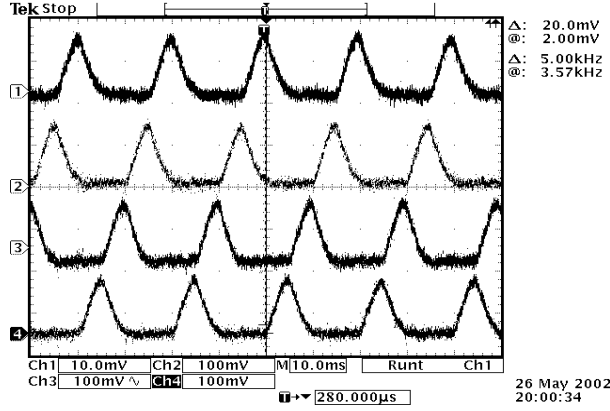
Şekil 9. ARM hat akımının hızla göre değişimi

Şekil 10'da ise Çizelge 2'deki toplam güç tüketiminin hızla göre değişim eğrisi görülmektedir. ARM'nin ilk kalkınmasındaki güç tüketimi 200 d/d hızdan daha büyük olduğu belirgindir. Bunun nedeni ilk kalkınmada eylemsizlik momentinin yenilmesi içindir. İlk eylemsizlik momentinin yenilmesiyle güç tüketimi hızla azalmakta ve nominal hızın %15'i civarında en küçük değerine ulaşmaktadır. Genel olarak bir asenkron motorun boşta çalışmada anma gücünün yaklaşık yarısı kadar güç ve akım çekmekte olduğu bilinmektedir. Buna göre 4 kW'lık bir asenkron motorun boşta, yaklaşık 2 kW güç çektiği kabul edilirse ARM'nin aynı şartlarda çalışmasında asenkron motora göre yaklaşık 20 kat daha az güç harcadığı görülür. Bunun nedeni, ARM kayıplarının ve sürtünmesinin az, verimin ise yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

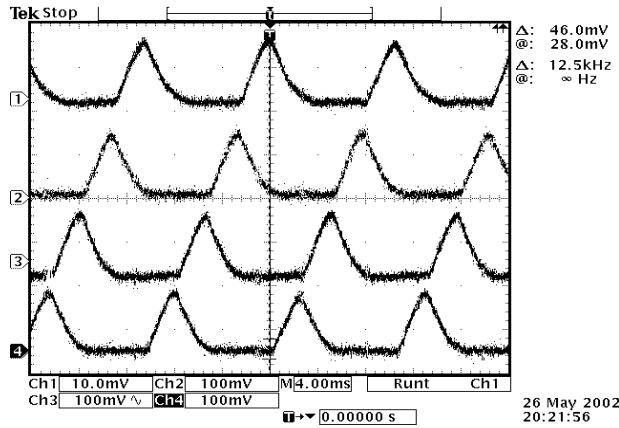


Şekil 10. ARM güç tüketiminin hızla göre değişimi

Şekil 11'de 250 d/d, Şekil 12.'de 750 ve Şekil 13' de 1500 d/d hızda ARM faz akımlarının 4 kanallı 100mHz'lik sayısal osiloskop ile alınan görüntüleri verilmiştir.

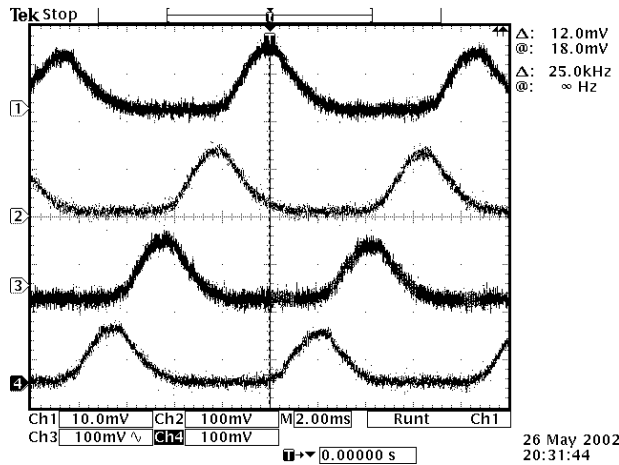


Şekil 11. 250 d/d hızda ARM faz akımları



Şekil 12. 750 d/d hızda ARM faz akımları

Şekil 11, 12 ve 13'de gerilim denetimli ARM faz akımlarının şeklinin hız ile değişmediği görülmektedir. Ayrıca a fazının akımı 0'a geldikten sonra c fazının akımının başladığı görülmektedir. Bu, ARM'de negatif tork üretiminin olmadığı anlamına gelmektedir. Ayrıca faz akımlarında her hangi bir kıyımın olmaması anahtarlamaya kayıplarını ve histerisiz kayıplarını oldukça azaltmıştır.



Şekil 13. 1500d/d hızda ARM faz akımları

SONUÇ

Bu çalışmada ARM için bir gerilim denetimli konvertör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Konvertörün denetimi PIC16F877 mikrodenetleyicisi ile gerçekleştirilmiştir. Ölçülen faz akımlarının dalga şekilleri ile hat akımı ve gerilimi yardımıyla bulunan güç tüketiminin sonuçları eğrisel olarak gösterilmiştir.

Bu sonuçlara göre ARM'lerin sürülmeleri için geleneksel olarak kullanılan akım denetimli konvertör yerine karmaşık olmayan gerilim denetimli konvertörlerin de kullanılacağı, ayrıca çok güçlü denetleyiciler yerine ucuz bir denetleyicinin de gerekli performansı sağlayabilecek bir denetimi gerçekleştirebileceği görülmüştür.

REFERANSLAR

1. P. Vas, W. Drury, 1996 Electrical Machines and Drives: Present and Future IEEE MELECOM, Bari, Italy, pp. 66-74. Aut./IIA/96,1996
2. Ç.Elmas and H. Z. De La Parra, A DSP Controlled Switched reluctance Drive System For Wide Range of Operating Speeds, IEEE PESC'92 Toledo, p. 844-850, Spain 1992
3. Ç.Elmas and H. Z. De La Parra, Application of A Full Order Extended Luenberger Observer for a Position Sensorless Operation of A Switched Reluctance Motor Drive, IEE Proc. Cont. Theo. Appl. Vol. 5, p. 401-408., 1996
4. M. Ehsani, I. Husain, S. Mahajan, and K. R. Ramani, "New Modulation Encoding Techniques for Indirect Rotor Position Sensing in Switched Reluctance Motors," IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 30, No. 1, pp. 85-91. , January/February 1994
5. B.K Bose Microcomputer Control of Switched Reluctance Motor Drive, IEEE Trans. On Ind. Ap. Vol. IA-22, pp 708-715, 1986
6. Pollock and B.W. Williams, Power converter circuits for switched reluctance motors with the minimum number of switches, IEE Proc. Vol.137, Part B, No.6, p. 374-384,1990
7. TJE Miller, Switched Reluctance Motors and Their Control, Magna Physics Publishing and Clarendon Press, Oxford, 1993
8. Pillay, P.; Samudio, R.M.; Ahmed, M.; Patel, R.T., A Chopper Controlled SRM Drive for Reduced Acoustic Noise and Improved Ride-

- Through Capability Using Super Capacitors, IEEE Trans. on Ind. Appl. Vol. 5, pp. 1029-1038,1995
9. Husain and M.Ehsani, Torque Ripple Minimization in Switched Reluctance Motor Drives by PWM Current Control, IEEE Trans. on Power Elec. Vol.11, No. 1, p. 83-88, 1996
- 10.P.J. Lawrenson, Switched reluctance motor drives: A perspective, ICEM92, Vol. 1, p. 12-22, 1992