

BİR ASANSÖR TAHRİK SİSTEMİ İÇİN BULANIK MANTIK DENETİMLİ ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR SÜRÜCÜSÜ TASARIMI

Mahir DURSUN, Ali SAYGIN

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, 06500-Teknikokullar/Ankara

Geliş Tarihi : 21.07.2005

ÖZET

Bu çalışmada, 8/6 kutuplu, 4 fazlı, 3.44 kW gücündeki bir anahtarlama relüktans motor asansör yükünde kullanılmıştır. Oluşturulan model asansör sistemi için bir sürücü tasarlanmış ve sürme sisteminde TMS320LF2407 sayısal sinyal işlemcisi kullanılmıştır. Tasarımı tamamlanan sürücü, bulanık mantık yöntemi kullanılarak hız denetim algoritması oluşturulan anahtarlama relüktans motor asansör yükü altında çalıştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Asansör, Anahtarlama relüktans motor, Buck konverter, Sayısal işaret işlemcisi

FUZZY LOGIC CONTROLLED SWITCHED RELUCTANCE MOTOR DRIVER DESIGNING FOR A LIFT SYSTEM

ABSTRACT

In this study, a 8/6 poles, four phases, 3.44 kW switched reluctance motor driver was used for a elevator load. For this aim, it has been designed a switched reluctance motor driver for a lift system. At the driver system was used a buck converter. The speed was controlled by motor phase voltage control. The voltage value has been controlled with fuzzy logic controller by using TMS320LF2407 controller. Fuzzy controlled switched reluctance motor was used for a elevator load by using designed driver system.

Key Words : Elevator, Switched reluctance motor, Buck converter, Digital signal processing

1. GİRİŞ

Asansörler, yük veya insanları klavuz raylar arasında hareketli kabin veya platformları ile düşey doğrultuda yapının belli duraklarına taşımaya yarayan elektrikli araçlardır (İmraç ve Gerdemeli, 2000). Her türlü konut, işyeri, fabrika, hastane, okul, gemi, maden kuyuları, anten ve aydınlatma direği... v.b. gibi pek çok alanda asansörler kullanılmaktadır.

Büyük endüstri merkezlerinde gerçekleşen hızlı kentleşme nedeniyle inşa edilen yüksek binalar

kaçınılmaz bir şekilde asansör sistemlerine ihtiyaç duymuşlardır. Bu binalarda insan ve yük taşımada asansörün tek alternatif oluşu ve artan trafikle birlikte asansör sistemlerinde emniyet, kalite, rahatlık ve değişken hızlı ve modern tahrik sistemlerine olan ihtiyaç da gittikçe artmıştır (İmraç ve Gerdemeli, 2000).

Asansörler (M.Ö.) 236 yılında Archimedes tarafından yapılarak el ile çalıştırılan kaldırma makinesiyle başlamış, 1743 yılında Versailles Sarayında Fransız Kralı XV. Louis için yapılan ve insan gücü ile çalışan makineyle devam etmiş,

1830'lu yıllarda direkt hidrolik tahrikli olarak, 1835'li yıllarda da buhar makinesi kullanılarak gelişmişlerdir. Modern anlamda ilk asansör 1857 yılında New York'daki bir iş merkezine Elisha Graves Otis tarafından tesis edilmiştir. 1859'da New York'daki "Fifth Avenue Hotel" ilk asansör takılan otel unvanını almıştır. Leon Edoux tarafından yapılarak 1867'de Paris sergisinde sergilenen hidrolik makine "ascenseur" olarak adlandırılmıştır. Daha sonraki yıllarda çeşitli iş merkezlerine ve binalara farklı yapı ve özellikte asansörler monte edilmişler ve Otis tarafından 1889 yılında sonsuz vida mekanizmalı ve halat tanburlu, elektrik motoru ile direk bağlantılı asansör makinesi imal edilmiş ve 1892 yılında da bu makinede Ward-Leonard tahrik sistemi uygulanmış, 1894 yılında ilk basma düğmeye geçilmiştir. 1904 yılında da Otis firması redüktörsüz ve tahrik kasnaklı asansörü imal etmiştir. 1915 yılında ise asansörlerde hassas seviye düzeni kullanılmaya başlanılmıştır. Son yıllarda ise kablo bağlantısı bulunmayan, kumandanın elektromanyetik olarak sağlandığı, grup kumandalı asansörler yaygınlaşmaktadır.

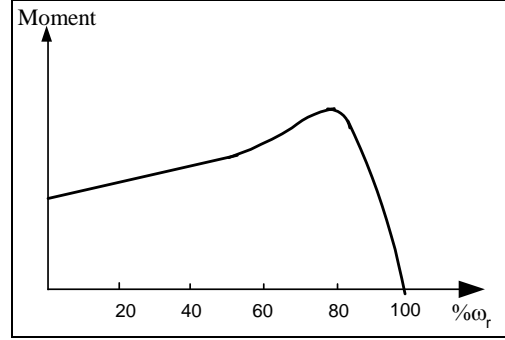
Asansörlerde bu gelişmeler sağlanmış olmasına rağmen, özellikle tahrik sisteminden kaynaklanan problemler yeteri kadar çözülememiştir. Hız denetiminde, doğru akım (DA) motorların bakımlarının zor ve arıza oranlarının yüksek olması, asenkron motorların ise DA motorlarına göre üretim maliyetinin düşüklüğü ve az bakım gerektirmesi gibi üstünlükleri nedeniyle 1970'li yıllardan itibaren DA motorlarının yerini almışlardır (İmrak ve Gerdemeli, 2000).

Asenkron motorlar düşük kalkınma momentine sahip motorlardır. Şekil 1'de Asenkron motorun hız moment karakteristiği, Şekil 2'de ise ARM'nin hız moment karakteristiği görülmektedir. Asansörlerin ilk kalkınmasında en büyük momente ihtiyaç duyulurken tahrik sisteminde yaygın olarak kullanılan asenkron motor tarafından indüklenen moment Şekil 1'de görüldüğü gibi maksimum değildir. Bu nedenle asansörde ilk hareketinin sağlanması için gereğinden daha büyük güçlü motor kullanımı yaygındır. Bu durum kabin yüküne göre değişik ivmelenmeye neden olarak yolcu konforunu da etkilemektedir.

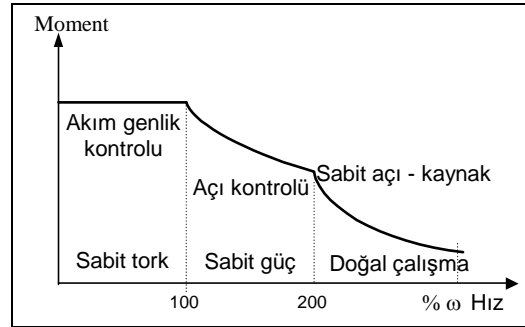
Asansör sistemlerinde frekans inverterli asenkron motorların hız denetimli olarak kullanılması, problemi bir miktar azaltmış olsa da ekonomik ve en iyi çözümü getirmekten uzaktır. Anahtarlamalı relüktans motor ise Şekil 2'de görülen karakteristik özelliği gereği düşük hızlarda yüksek moment üretme özelliğine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle asansör sistemleri için uygundur.

Şekil 3'de vektör denetimli asenkron motorun hız-moment karakteristiği görülmektedir (Elmas ve

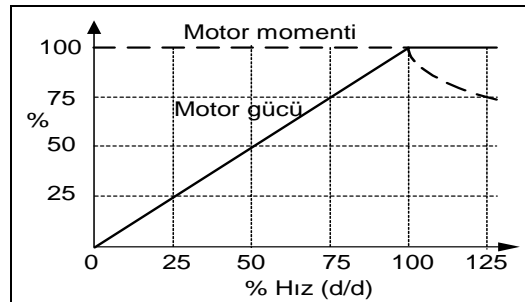
Dursun, 2003). Şekilde görüldüğü gibi vektör denetimi gibi karmaşık denetim teknikleri ile asenkron motorun hız-moment karakteristiği Şekil 2'deki ARM'nin hız moment karakteristiğine benzetilebilmiş olsa da gerçek moment ARM'den daha düşük ve kayıplar daha fazladır.



Şekil 1. Asenkron motorun hız moment karakteristiği



Şekil 2. Anahtarlamalı relüktans motorun hız moment karakteristiği



Şekil 3. Vektör denetimli asenkron motorun hız-moment karakteristiği

ARM'ler, asenkron motor veya klasik DA motorlarıyla kıyaslandığında oldukça basit bir yapıya sahiptirler (Miller, 1989). ARM'ler yüksek verimli ve yüksek moment/hacim oranına olduklarından endüstriyel uygulamalarda değişken hızlı sürücülerde diğer elektrik motorlarına üstünlük sağlamışlardır. Güç elektroniği ve denetleyici yapısındaki gelişmelere paralel tüketiciye dönük uygulamalarda gittikçe artan bir

ilgiye sahiptirler. ARM'ler elektrikli tahrik sistemlerinde hız denetimi yapmak, enerji tasarrufu yapmak, ilk kalkınma anındaki darbeleri azaltmak ve yumuşak geçiş yapmak gibi amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadır.

ARM'ler endüstride uzay araçları, madencilik ve ofis araçlarında kullanılmaktadır. ARM'lerin son yıllardaki kullanım alanlarına örnek (Dursun, 2003).

- Emetron firmasının Helsinborg'daki Ringsjöverket su kanalının temizlenmesinde ARM kullanmıştır.
- Corbin Motors (Hollister, Calif.)'un elektrikli otomobil için ARM geliştirmiş ve bu ARM Densei Motors (Japan) tarafından üretilmiştir. ARM'nin performansı aynı araç için fırsatız doğru akım motor (FDAM) ile kıyaslanmıştır. ARM, FDAM'na göre % 20 daha düşük akımla daha fazla moment üretmiş ve 614 kg olan araç 12 V ile 104 km/h hıza ulaşmıştır.
- Mavrik Motors Division, Tridelta Industries (Mentor, OH.) derin kuyu pompalarında, karıştırıcı ve santrifüjlerde ARM kullanmıştır.

Endüstride kullanılan ARM'lerin güçleri 100 W ile 3000 kW arasında, hızları ise 250-130000 d/d arasında değişmektedir (Dursun, 2003). ARM'lerin hız denetiminde üstünlüğü anlaşıldığından son yıllarda bu motor üzerindeki araştırmalar hızla artmış ve pahalı mikroişlemci ya da sayısal işaret işlemci ile hız denetimi, moment dalgalanmasının azaltılması ve konum algılayıcısız denetim yöntemleri ile ilgili pek çok çalışma literatüre girmiştir (Dursun, 2003).

Bu çalışmada elektrikli asansör sistemindeki tahrik motoru olarak klasik sabit hızlı, düşük verimli, kalkınma momenti düşük ve hız denetimi karmaşık olan asenkron motor yerine DA ile çalışan yüksek kalkınma momentine sahip, yüksek verimli, denetimi kolay ve değişken devir elde edilebilen 8/6 kutuplu, 4 fazlı ve 3.44 kW gücündeki bir ARM kullanılmıştır. Motorun sürülmesi için gerilim azaltan 4 fazlı bir motor sürücüsü tasarlanmıştır. ARM'nin hızı konum algılayıcısı kullanılarak bulanık mantık tekniği ile denetlenmiştir. Denetimde Texas Ins. firmasının TMS320LF2407 denetleyicisi kullanılmıştır. ARM faz akımlarının benzetim ve uygulama sonuçları ile hızın benzetim sonuçları verilmiştir.

2. ASANSÖR TAHİRİKİ İÇİN BİR ARM SÜRÜCÜSÜ TASARIMI

ARM'lerde moment, faz akımının yönüne bağlı olmadığından çalışması için tek kutuplu denetim devresi yeterlidir (Elmas ve Bay, 1995). Akımın tek yönlü olması histerezis kayıplarını da azaltır.

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

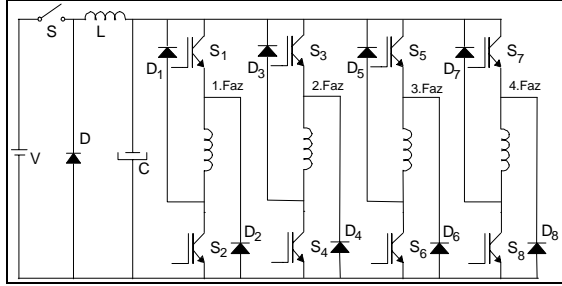
İdeal şartlarda, ARM'den düzgün bir moment elde etmek için konvertörden motor sargılarına kare dalga akım sağlanması gerekmektedir (Le-Huy et al., 1994). Bu, bir sargıdan diğerine mümkün olduğunca hızlı bir komütasyonu gerektirmekte ve akımın iletim periyodu boyunca regüle edilmesini zorunlu kılmaktadır. ARM yüksek hızlarda çalışırken, motor sargılarında depolanan enerji seviyesinin yüksek olması ve değişken endüktanstan dolayı sargılarındaki akımın regülasyonu güçleşmektedir. 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 denetleyiciyi gerektirmektedir (Elmas ve Bay, 1995). Bu durum akım denetimi ile hız denetimini güçleştirdiğinden bu çalışmada gerilim denetimi yöntemiyle ARM hız denetimi tercih edilmiştir.

ARM'yi beslemek için pek çok konvertör literatüre girmiştir (Le-Huy et al., 1991; Sefa, 1996). Bu konvertörler komütasyon boyunca kullanılan besleme devreleri ve enerjiyi geri toplama teknikleri bakımından farklılık gösterebilir de temelde akım yada gerilim denetimi için tasarlanırlar.

2. 1. ARM İçin Konvertör Tasarımı

Gerilim azaltan konvertörlerde çıkış gerilimi V_c , giriş gerilimi V 'den daha küçüktür ve genellikle regüleli doğru akım (DA) güç kaynaklarında ve DA motor sürücülerinde kullanılır. Gerilim azaltan konvertörler pratikte sürekli akım iletim ve süreksiz akım iletim modları olmak üzere iki ayrı iletim modunda da çalışabilirler. Bu yüzden konvertör tasarlanırken her iki modda da çalışabileceği göz önünde bulundurulur. Konvertörün çalışacağı akım modunu konvertördeki bobin sargısının indüktans değeri belirler. Eğer bobinin değeri yeterli büyüklükte ise devrenin çalışma akımı sıfır olmaz, pozitif bölgede dalgalanma yapar. Eğer bobinin indüktans değeri yeterince büyük değil ise her yarım saykılın bir kısmında bobin akımı sıfır olur. Bu çalışma moduna da süreksiz akım modu denir.

Şekil 4’de 4 faz ARM için tasarlanan gerilim azaltan konvektör devresi görülmektedir. Devredeki bobin ve kondansatör alçak geçiren filtredir. Böylece çıkıştaki dalgalanma mümkün olduğunca azaltılmış olur.



Şekil 4. Gerilim azaltan konvektör ve 4 fazlı ARM'ye bağlantı şeması

ARM'ler için gerilim veya akım denetimli besleme devrelerinin kendine has üstünlükleri ve sakıncaları vardır. Akım denetimli besleme özellikle düşük hızlarda dalgasız tork üretmek için uygundur. Yüksek hızlarda ise zıt emk'nın yüksek olması ve sabit akım sağlamanın zor olması nedeniyle gerilim denetimli besleme daha uygun olmaktadır (Dursun, 2003). 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 üretilen moment Denklem 1 ile bulunur.

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

ARM'de momentin faz sargılarından geçen akımın karesi ile değişmesi nedeniyle faz akımlarının sürekliliği oldukça önemlidir. Bu nedenle ARM'ler için tasarlanan gerilim azaltan konvektörler çoğunlukla sürekli akım işlemi için tasarlanır. Minimum bobin değeri Denklem 2 ile hesaplanır.

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

Denklem 2'deki f_a anahtarlama frekansı, R yük direnci, D ise darbeleme oranıdır. Eğer anahtarlama frekansı yeterince yüksek seçilirse, minimum değerdeki bobin indüktansı sürekli akım modunda çalışmayı sağlar. Minimum kondansatör değerinde, kritik değerde bir çıkış gerilim dalgalanması oluşur. Bu nedenle için kondansatör ve bobinin her ikisi de anahtarlama frekansının yüksek olmasını gerektirir. Fakat anahtarlama frekansının yükselmesi ile anahtarlarda oluşacak kayıplar artacağı için genellikle 5 kHz ile 50 kHz arasında seçilir.

Anahtarlamalı devrelerde analiz için anahtarların açık ve kapalı olduğu her iki durum için ayrı ayrı durum uzay denklemlerinin yazılması gerekir.

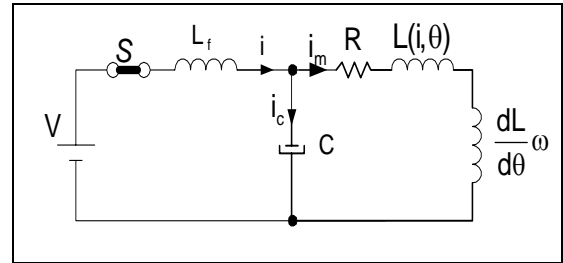
2. 2. Anahtarın Kapalı Olması Durumu

Anahtar kapalı iken gerilim azaltan konvektör ve ARM'nin eşdeğer devresi Şekil 5’de verilmiştir. Verilen devrenin çevre denklemlerine göre elde edilen eşitlikleri yazılırsa Denklem (3) ve Denklem(4);

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

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

olarak elde edilir.



Şekil 5. Anahtar kapalı iken buck konvektörün eşdeğer devresi

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

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

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

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

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

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

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

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

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

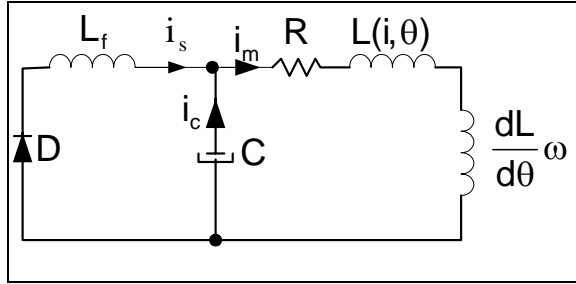
tüm anahtarlar kapalı iken devrenin durum denklemi;

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

Denklem (12) ile ifade edilir. Durum uzay şartlarında hız ω 'ın sabit olduğu varsayılır.

2. 3. Anahtarın Açık Olması Durumu

Şekil 6'da anahtarın açık olma durumu görülmektedir. Şekil 5'deki devrenin akım ve gerilim denklemleri, Kirchoff'un akımlar kanunundan Denklem (13) ve Denklem (14) olarak elde edilmiştir.,



Şekil 6. Anahtarın açık olduğu durumda gerilim azaltan 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 V_c ve faz akımları durum değişkeni seçilerek Denklem (11)'deki genel durum uzay denklemi yazılabilir. K_a Denklem (7), K_b Denklem (8), K_c Denklem (9) ve K_d Denklem (10)'de verilmiştir.

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

ve

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

Gerilim azaltan konvertörde çıkış gerilimi (V_c), testere dişi sinyalin tepe değeri (V_{st}) ile denetim sinyali ($V_{kontrol}$)'den

$$V_c = \frac{V_{kontrol}}{V_{st}} \cdot V \quad (17)$$

Denklem (17) ile bulunur. Görev oranı ise Denklem (18)'dir.

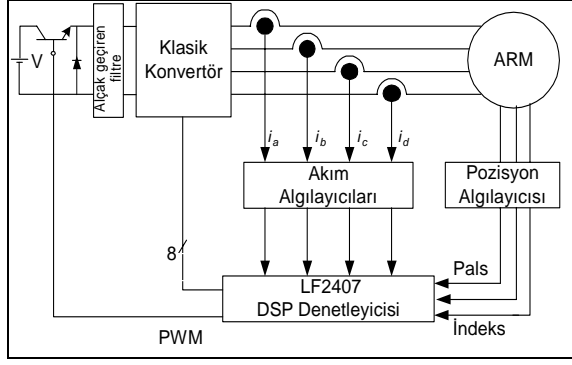
$$D = \frac{t_{on}}{T} = \frac{V_{kontrol}}{V_{st}} \quad (18)$$

Anahtarın t_{on}/T oranı değiştirilerek V_c 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° 'dir ve ortak iletim açısı $5-3^\circ$ arasında değişmektedir. ARM'nin hız denetimi hız geri beslemesi ve bulanık mantık tekniği kullanılmıştır. Motorun çalışmasında herhangi bir nedenle faz akımları referans değeri geçerse ilgili fazın anahtarlarının sinyali referans değerinin altına düşünceye kadar "0" yapılır.

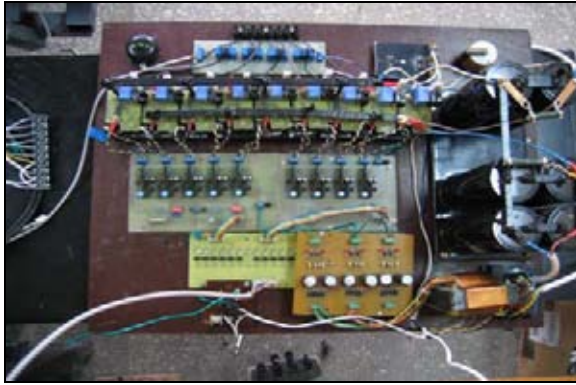
3. ARM HIZ DENETİMİ VE ASANSÖR

Şekil 7'de ARM'nin hız denetimi bölümünün kapalı şeması verilmiştir. ARM'nin hız denetimi; doğru gerilimin seviyesini değiştirmek için anahtar, alçak geçiren LC filtre, ARM faz akımlarının denetlenmesi amacıyla kullanılan klasik konvertör, ARM, pozisyon sensörü, akım algılayıcıları ve denetleyiciden oluşmaktadır. Şekil 8'de ise ARM sürücü devresinin resmi görülmektedir. Şekil 9'da ARM'nin sürücü ve asansöre bağlantısı verilmiştir.

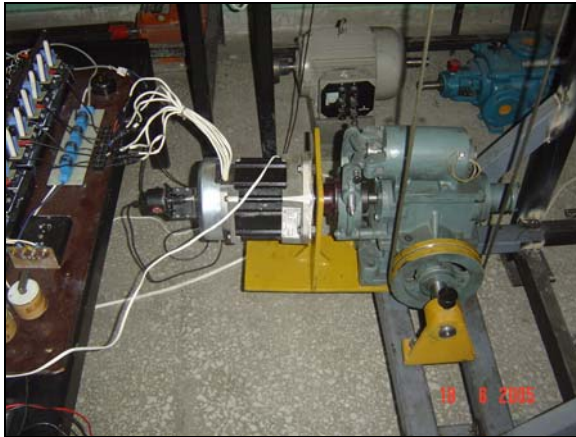
C programlama dilinde yazılan program ve TMS320LF2407 code composer derleyicisi ile ARM denetim programı denetleyiciye yüklenmiştir.



Şekil 7. ARM hız denetimi devre şeması

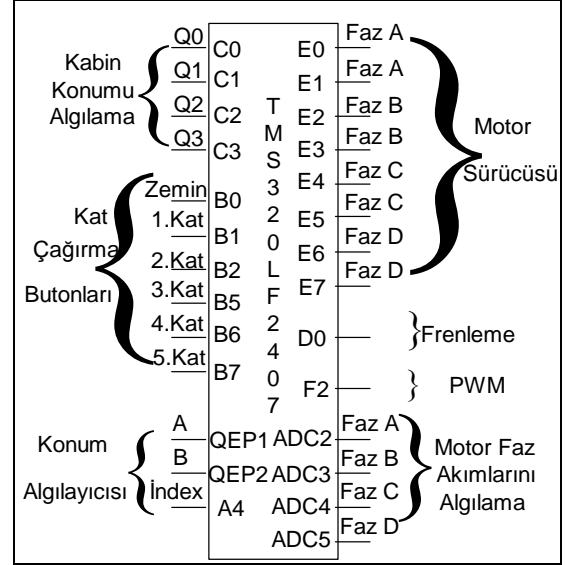


Şekil 8. ARM Sürücü devresinin resmi



Şekil 9. ARM'nin sürücü ve asansöre bağlantısı

Şekil 10'da DSP işlemci ve donanım organizasyonunun şeması görülmektedir. Hafıza portlarından B portu kabin çağrımlarına, C portu Gray kodlu olarak kabin konumunun algılanmasına, D portu fren bobininin denetimine, E portu motor faz akımlarının denetimine, F portu PWM tekniği ile motor faz geriliminin denetiminde A portu QEP ve index sinyalleri vasıtasıyla hız ve konum algılanmasına, ADC'ler 4 faz akımının algılanmasında kullanılmıştır.



Şekil 10. DSP İşlemci ve donanım organizasyonu

Buck konverterde kullanılan 9 adet IGBT'nin anahtarlanması için 9 adet PWM çıkış kanalına ihtiyaç vardır. Bu kanalların hepsi bağımsız kontrol edilmesi gerekir. DSP üzerindeki PWM kanal sayısı yarıiletken anahtarları sürmek için yeterli sayıdadır. Konverterde bulunan yarıiletkenleri sürmek için DSP nin Port B, C ve E kanalları kullanılmıştır. Her kanala ait sayısal çıkış terminali IGBT'leri sürmek için kullanılmaktadır. Pozisyon algılayıcısından gelen sinyallerin sayılması için QEP1 ve QEP2 terminallerinden giriş yapılmıştır. Kullanılan bu terminaller Port A ile ortak kullanılmakta olup yazılımda sinyallerin sayılması için ayarlama yapılmıştır.

Doğrultma devresi çıkışındaki gerilimin değeri, 10 kHz'lik anahtarlama frekansında PWM tekniği ile kıyım yapılarak uygun değere getirilmektedir. Anahtarlama elemanı olarak CM75DY-12H tipi bir adet IGBT kaynak ile yük arasında seri olarak bağlanmıştır. IGBT'yi korumak için 0.22µF, 600 V kondansatör, 25 seramik direnç ve plastik kılıf IXYS120-60 hızlı toparlama diyodu kullanılmıştır.

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 bobinini nedeniyle anahtarın kesime gitmesi sırasındaki zıt emk'nın anahtarlama elemanına zarar vermesini önlemek için anahtar ile bobin arasında ayrıca bir diyot daha eklenmiştir. Faz akımlarının algılanmasında LEM firmasının LTA50:SP1 tipi akım algılayıcıları kullanılmıştır.

Algılayıcılar 20A akım değerinde 2.5V çıkış gerilimi verecek şekilde ayarlanmıştır. Faz akımlarının algılanmasında ve denetiminde 4 kanaldan 10 bit A/D dönüşüm kullanılmıştır.

Motor miline 1024 puls/devir özelliğinde toplar (incremental) tip pozisyon algılayıcısı bağlanmıştır. Bu pozisyon algılayıcısı bir devirde 1024 puls ve bir de reset sinyali vermektedir. 1024. puls sonunda farklı bir kanaldan gelen reset sinyali kontrolörün harici kesme girişine uygulanmıştır. Böylece her kesme gelişinde muhtemel pozisyon hataları sıfırlanmış olmaktadır.

3. 1. Bulanık Mantık Hız Denetleyici

ARM'nin hız denetimini gerçekleştirmek için, klasik PI denetleyici yerine bulanık mantık denetleyicisi uygulanmaktadır. Bulanık hız denetleyicisi blok diyagramı Şekil 10'da verilmiştir. Bulanık kural tabanındaki giriş değişkenlerinin hız hatası (e) ve hız hatasındaki değişim (ce)'dir. Çıkış değişkeni ise referans gerilimdeki değişim (du-ΔVref)'dir (Lee, 1990; Kaynak ve Armağan, 1992; Kosko, 1992). Tasarımda değişkenler per-unit olarak temsil edilmektedir (Ross, 1995). Birim değer olarak açıklanan değişkenler Denklem (19), Denklem (20), Denklem (21)'de verilmiştir (Bay, 1996).

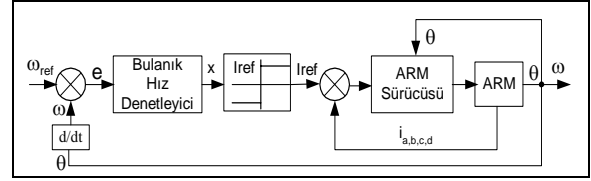
$$E(\text{pu})=e/\text{GE} \quad (19)$$

$$ce(\text{pu})=ce/\text{GCE}; \quad (20)$$

$$du(\text{pu})=du/\text{GDU} \quad (21)$$

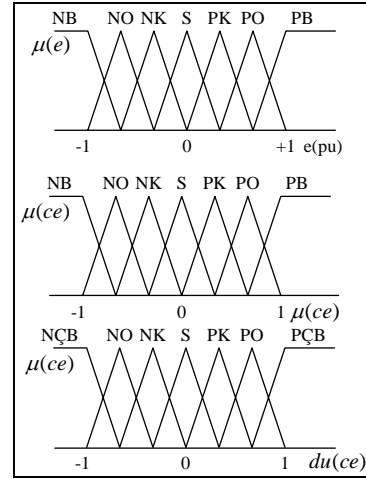
GE, GCE v GDU bulanık denetleyicinin kazanç katsayılarıdır. Bulanık denetleyicinin üyelik

fonksiyonları, kurallar ve ölçkleme faktörleri tatmin edici bir sonuç alınıncaya kadar deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir.



Şekil 11. Sürücü sistemin bulanık mantık denetim blok diyagramı

C programlama dilinde yazılan program ve TMS320LF2407 code composer derleyicisi ile ARM denetim programı denetleyiciye yüklenmiş sistemin çalışması sağlanmıştır.



Şekil 12. e(pu), ce(pu) ve du(pu) değişkenlerinin üyelik fonksiyonları

Tablo 1. Bulanık Mantık Denetimin Sayısal Değerlik Tablosu (Bay, 1996)

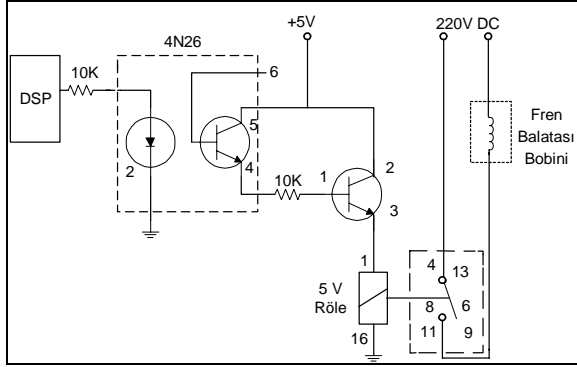
X	Y	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	7	6	7	6	7	7	7	7	4	4	4	0	0	0
-5	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4	4	0	0	0
-4	7	6	7	6	7	7	7	7	4	4	4	0	0	0
-3	6	6	6	6	6	6	6	6	3	2	2	-1	-1	-1
-2		4	4	5	4	4	4	4	0	0	0	-1	-1	-1
-1		4	4	5	4	4	4	1	0	0	0	-2	-2	-1
-0		4	4	5	1	1	0	0	-1	-1	-1	-4	-4	-4
0+		4	4	5	1	1	0	-1	-1	-1	-1	-4	-4	-4
1	2	2	2	2	0	0	-1	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
2	1	1	1	-2	0	-3	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
3	0	0	0	0	-3	-3	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
4	0	0	0	-2	-4	-4	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-7
5	0	0	0	-2	-4	-4	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
6	0	0	0	-2	-4	-4	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-7

3. 2. Asansör

Şekil 13'de Frenleme devresinin şeması verilmiştir. Motorun hareketinden 250 ms önce DSP tarafından frenleme devresine sinyal gönderilerek balataların

açılması sağlanmaktadır. Bu işlem için DSP'nin D0 portundan 3.3V sinyal gönderilmekte bu sinyal bir 4N26 optik yalıtıcısı vasıtasıyla BD135 transistörünü tetiklemektedir. Transistör tetiklendiğinde 5V'luk rölenin normalde açık

kontaklı kapanarak fren bobini enerjileşir ve balatalar açılmış olur.



Şekil 13. Frenleme devresi

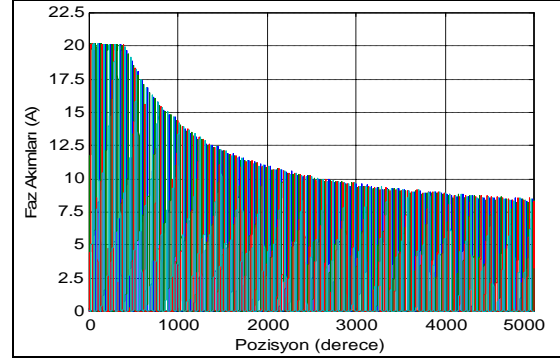
4. BENZETİM VE DENEY SONUÇLARI

Uygulamada kullanılan ve benzetimi yapılan ARM'nin değerleri:

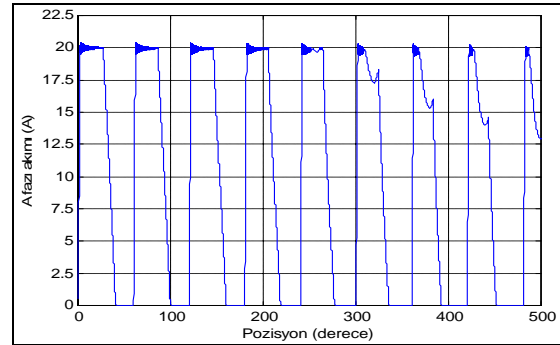
Motor gücü = 4.6 HP, $V_K=155$ V,
 $L_{max} = 38$ mH, $L_{min}=3.14$ mH (1 A için),
 $I_n=22$ A, $R_f=0.445\Omega$,
 $J=0.0653$ Kg m^2 ,
 $B= 0.0041$ Nm sn rad^{-1}
 $N_s/N_r=8/6$, $n_{max}=6000$ d/d'dır.

Asansörlerden beklenen, mümkün olduğunca ekonomi, ani hareketlerden kaçınarak yolcuları kısa sürece ve güvenli bir şekilde hedefe taşımaktır. Kabin hareketinin yolcuları rahatsız etmeyecek şekilde hızlı kalkınması asansör trafiğinin rahatlamasına, yolcuların ise daha hızlı ulaşımına imkan sağlar. Asansör kabininin hızlı kalkınması ve ekonomik olması için asansör motorunun ilk kalkınma momentinin yüksek olmasını gerektirir. Asansörlerde geleneksel olarak kullanılan asenkron motorun ise kalkınma momenti düşük olduğundan daha büyük güçlü motor kullanılır. Kalkınma momenti yüksek olmayan motor kullanılması durumunda motor kalkındıktan sonra yük momenti azalacağından motor daha düşük verimde çalışır.

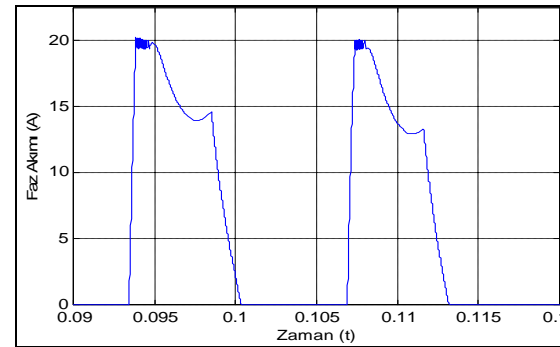
Şekil 14'de ARM'nin 2.5 Nm'lik asansör yükü ve 2.5 Nm'lik değişken sürtünme momenti şartlarında çekmiş olduğu 4 faz motor akımının dalga şekli, Şekil 15'de bu akımın A fazının şekli, Şekil 16'da ise A faz akımının büyütülmüş şekli görülmektedir. Şekil 17'de ise aynı yük şartlarında elde edilen osiloskop görüntüsü verilmiştir. Şekil 16 ve Şekil 17'deki bir fazın sinyali incelendiğinde benzer oldukları görülür (Dursun ve Saygın, 2005).



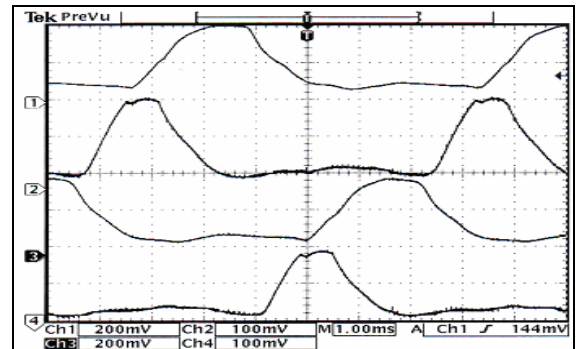
Şekil 14. ARM 4 faz akımı



Şekil 15. ARM A fazı şekli

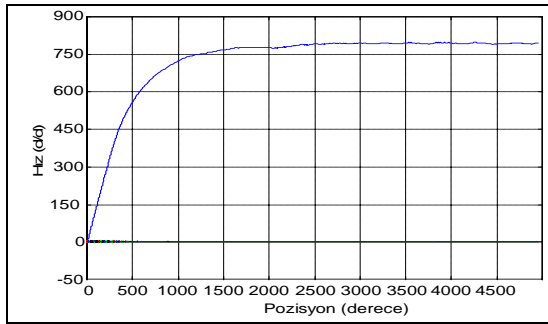


Şekil 16. Kararlı durumda A fazının büyütülmüş şekli

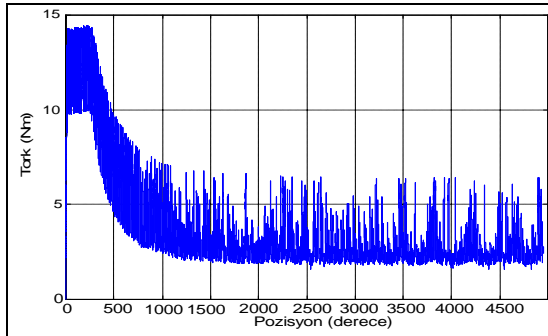


Şekil 17. Yük değişimlerinde motor faz akımlarının büyütülmüş şekli

Şekil 18’de ARM’nin 2.5 nt’luk asansör yükü ve 2.5 Nm’lik değişken sürtünme momenti şartlarında hız-pozisyon, Şekil 19’de ise ürettiği moment değişimi görülmektedir. Kabinin ilk hareketinde motorun hızlanabilmesi için hem yük hem de yerçekimi ivmesinden kaynaklanan momenti yenerek pozitif yönde ivmelenmesi gerekmektedir. Bu nedenle referans hızına ulaşmaya kadar motor momenti, yük momentinin yaklaşık 2.5 katı kadar daha fazla üretilerek hızlı bir kalkınma sağlanır. Ani yük değişimlerinde motor momenti artırılarak motor hızı dolayısı ile kabin hareketi sabit tutulmaya çalışılmıştır. Bu şekildeki bir ani moment değişimlerinde bile kabin hızında yolcuların hissetmeyeceği bir hız değişimi söz konusudur.

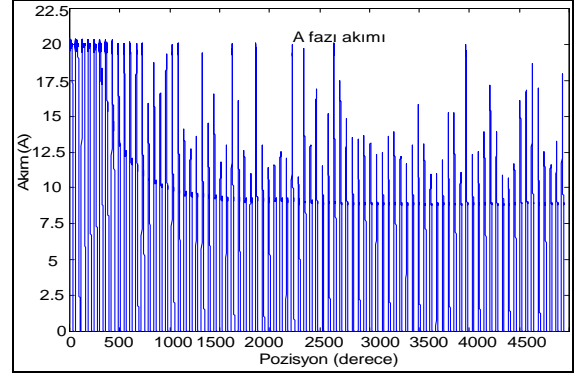


Şekil 18. ARM’nin hız değişimi

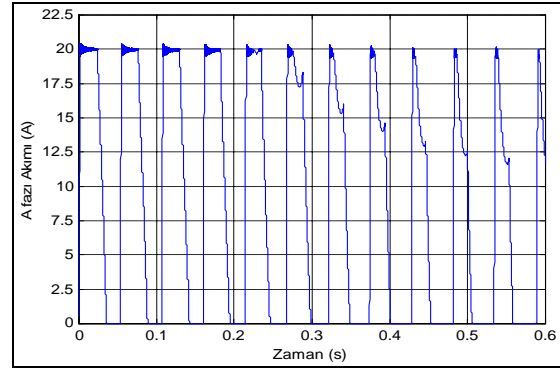


Şekil 19. ARM’nin moment değişimi

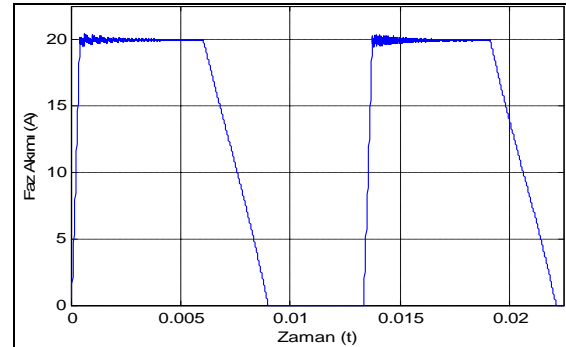
Şekil 20’de bulanık mantık denetleyici ile ARM’nin 765 d/d referans hızda 2.5 Nm’lik asansör kabin yükü ve rayların sürtünmesi gibi değişik nedenlerden kaynaklanan yük momentinin 2.5 Nm’lik ani değişimi karşısında motor 4 faz akımı, Şekil 21’de A faz akımı, Şekil 22’de ise ARM A fazı akımının büyütülmüş şekli, Şekil 23’de ise motor A ve C fazlarının osiloskop görüntüsü verilmiştir. Şekil 21 ve Şekil 22’den faz akımlarının Şekil 16 ve Şekil 17’ye göre daha çok benzediği görülmektedir. Şekil 24’de ise aynı yük şartlarında ürettiği moment değişimi görülmektedir. Üretilen moment Şekil 19’daki momente göre oldukça düzgündür ve kalkınma momentinin 2 katından fazladır.



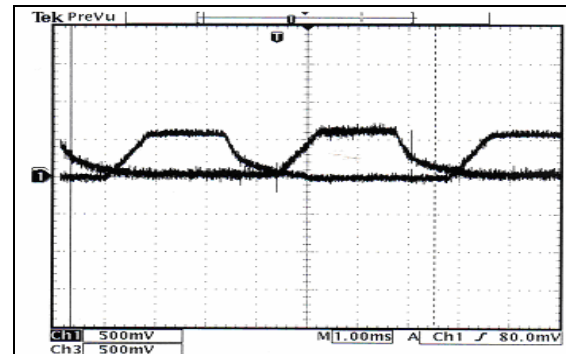
Şekil 20. ARM’nin 4 faz akımı



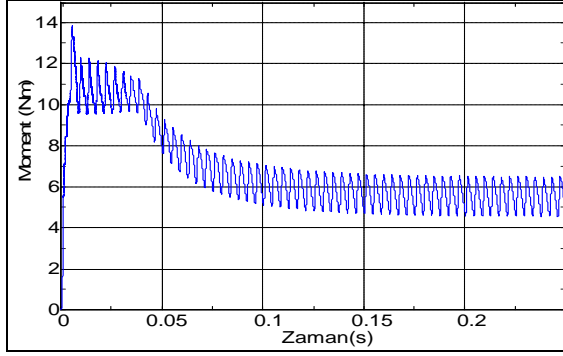
Şekil 21. ARM A faz akımı



Şekil 22. ARM’nin A fazı akımının büyütülmüş şekli



Şekil 23. ARM’nin kalkışı sırasında alınan A ve C fazlarının akım şekilleri



Şekil 24. ARM moment eğrisi

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada elektrikli asansör sistemindeki tahrik motoru olarak klasik sabit hızlı, düşük verimli, kalkınma momenti düşük ve hız denetimi karmaşık olan asenkron motor yerine DA ile çalışan yüksek kalkınma momentine sahip, yüksek verimli, denetimi kolay ve değişken devir elde edilebilen 8/6 kutuplu, 4 fazlı ve 3.44 kW gücündeki bir ARM kullanılmıştır. Motorun sürülmesi için gerilim azaltan 4 fazlı bir motor sürücüsü tasarlanmıştır. ARM'nin hızı konum algılayıcısı kullanılarak bulanık mantık tekniği ile denetlenmiştir. Denetimde Texas Ins. Firmasının TMS320LF2407 denetleyicisi kullanılmıştır. Benzetim ve uygulama sonuçlarından yüksek kalkınma momentine sahip ARM'nin asansör sistemlerinde tahrik motoru olarak kullanılabileceği görülmüştür.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya 07/2004-03 kodu ile sağlamış olduğu katkılarından dolayı Gazi Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeler Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

Bay, Ö. F. 1996. "Anahtarlamalı Relüktans Motorun Bulanık Mantık Tabanlı Modellenmesi ve Kontrolü", 1996. Mayıs, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Dursun, M. 2003. "PIC Mikro Denetleyicisi ile Anahtarlamalı Relüktans Motorun Sürülmesi", Politeknik Dergisi, Cilt : 6, Sayı: 4, s. 651-659, Aralık.

Dursun, M., Saygın, A. 2005. "Bulanık Mantık Denetimli Anahtarlamalı Relüktans Motor ile Asansör Tahriki" Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu BMYS 2005, s. 579-585, Kocaeli, Türkiye, Kasım.

Elmas, Ç., Dursun, M. 2003. "Değişken Devirli Pompa Sistemlerinde Verim", 3. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Cilt 1, s. 376-375, Ankara, Türkiye, Ağustos.

Elmas, Ç. ve Bay, Ö. F. 1995. "Modelling and Operation of a Nonlinear Switched Reluctance Motor Drive Based on Fuzzy Logic", European Power Electronics and Applications Conference, 19-21. September 1995. Sevilla, Spain.

İmrak, C. E., Gerdemeli, İ. 2000. "Asansörler ve Yürüyen Merdivenler", Birsen Yayınevi, İstanbul.

Kaynak, O. ve Armağan, G. 1992. "Süreç Denetiminde Yeni Bir Yaklaşım : Bulanık Mantık", Otomasyon Dergisi, Temmuz-Ağustos.

Kosko, B. 1992. Neural Networks and Fuzzy Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J.

Lee, C. 1990. "Fuzzy Logic in Control Systems, Fuzzy Logic Controller, Parts I and II", IEEE Trans. Syst., Man & Cybern., Vol. 20, pp. 404-435.

Le-Huy, H., Slimani, K., Viarouge, P. 1991. "A Current-controlled Quasi-resonant Converter for Switched-reluctance Motor" IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume 38, Issue 5, Oct. 1991. Page (s) : 355-362.

Le-Huy, H., Slimani, K. and Viarouge, P. 1994. Analysis and Implementation of a Real-Time Predictive Current Controller for Permanent Magnet Synchronous Servo Drives, IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 41, No : 1, 110-117.

Miller, T. J. E. 1989. Brushless Permanent Magnet and Reluctance Motor Drives, Clarendon Press, Oxford.

Ross, T. J. 1995. Fuzzy Logic With Engineering Applications, McGraw-Hill, Inc., America.

Sefa, İ. 1996. "Sliding Mode Yaklaşımı ile Anahtarlamalı Relüktans Motorun Hız Kontrolü", Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 1996.