

Değişken Hızlı Sürücülü ve Bulanık Mantık Denetimli Bir Anahtarlama Relüktans Motorun Asansör Tahrikinde Benzetimi ve Uygulanması

Mahir DURSUN, Semih ÖZDEN

ÖZET

Anahtarlama relüktans motorlar değişken hızlı sürücüler için kullanılabilen yüksek kalkınma momentine sahip, yüksek verimli ve basit yapıya motorlardır. Bu çalışmada, 8/6 kutuplu, 4 fazlı, 3,44 kW'lık bir ARM 320 kg yük taşıma kapasitesine sahip bir asansör tahrik sisteminde kullanılmıştır. Motor ve asansör sisteminin denetimi için iki adet PIC 18F452 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Motorun hız denetiminde klasik PI ve bulanık mantık denetim (BMD) metodu kullanılmıştır. Asansör sistemi, 7 katlı çalışabilecek şekilde oluşturulmuştur. Geleneksel asansör sistemlerinden farklı olarak, kat mesafesine bağlı değişken hız kullanılarak yolculuk süresi kısaltılmıştır. Kabin hızındaki değişim (ivmelenme), yolcuları rahatsız etmeyecek şekilde ayarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Anahtarlama relüktans motor, bulanık mantık, asansör

Simulation And Application of Fuzzy Logic Controlled Adjustable Speed Switched Reluctance Motor to Elevator System

ABSTRACT

Switched reluctance motors (SRM) can be use at adjustable speed driver and these motors have high start up torque, high efficiency and simple construction. In this study, an SRM which have 8/6 poles, four phase and 3,44 kW power was used to drive an elevator load. Carrying capacity of elevator is 320 kg. Two PIC 18F452 microcontrollers was used to manage an elevator system and motor control. Motor speed was controlled by PI (proportional+integral) and Fuzzy Logic Control (FLC) method. Elevator system was prepared for using 7 floors. Contrary to traditional elevator control systems, the arrival time is shortened by using variable speed depending on distance of destination floor. Changing of cabinet speed (acceleration) adjusted to comfort of passenger.

Key Words : Switched reluctance motor, fuzzy logic controller, elevator

1. GİRİŞ

Asansörler ilk hareketlerinde yatay yüklerden farklı olarak yük torkundan başka yerçekimi ivmesi nedeniyle oluşan torku da yenmek zorundadırlar. Bu nedenle asansörlerde daha yüksek kalkınma torkuna sahip motorlar gereklidir.

Asansörün ilk geliştiği dönemlerde asansör tahrikinde kalkış torkunun yüksek olması sebebiyle doğru akım(DA) motorları tercih edilmekteyken kollektör ve fırçalarından kaynaklanan bakımının zorluğu ve fiyatının yüksek olması nedeniyle 1970'li yıllardan sonra rotoru sargılı asenkron motorunun kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır (1,2). Asenkron motorlar DA motorla-

rına göre daha ucuz ve bakımı az olmasına rağmen üretim maliyetlerinin yüksek, verimlerinin ise daha düşük olması nedeniyle asansörlerde karmaşık vektör kontrollü asenkron motorlar kullanılmaktadır (3). Yinede, bu teknik ile kontrol sistemi karmaşık ve kullanılan asenkron motorda histerisiz kayıpları ihmal edilemeyecek boyuttadır.

ARM'ler ise yüksek kalkınma torkuna sahip değişken hızlı sürücülerde kullanılabilen ucuz ve basit yapıya motorlardır. Ayrıca bu motorlar uygun denetim devreleri ile sürüldüklerinde doğru akım motoru ve asenkron motorlardan daha yüksek verimlidirler (4-6). ARM asansör uygulamalarında; kalkınma torku açısından DA seri motorlarının, az bakım gerektirmesi açısından da asenkron motorların avantajına sahiptir.

R. Krishnan 2004'de lineer ARM'nin asansör uygulamasını yapmıştır. Lineer anahtarlama relüktans motorlu sistem sağlıklı bir şekilde asansörde uygulamış ve maliyetinin diğer asansörlere göre 15 kat daha ucuz olduğunu belirtmiştir (7,8). Dursun (3) tarafından

Makale 03.08.2007 tarihinde gelmiş, 08.02.2008 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

*M. DURSUN, GÜ Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü,
06500 Teknikokullar/ANKARA, mdursun@gazi.edu.tr,*

*S. ÖZDEN, GÜ Non-İyonizan Radyasyondan Korunma Merkezi
(GNRK), 06500 Beşevler/ANKARA, sozden@gazi.edu.tr*

Digital Object Identifier 10.2339/2008.11.2.129-137

2005’de bulanık mantık hız denetimli 3,44 kW gücündeki, 4 fazlı, 8/6 kutuplu, 155 V’luk bir ARM asansör tahrik sisteminde sayısal işaret işlemci denetimli olarak kullanılmıştır. Burada, katlar arasındaki geçişlerde ve kalkış anında hız sabit tutulmuştur.

ARM’lerin asansör tahrikinde kolaylıkla uygulanabilmesine rağmen doğrusal olmayan manyetik özelliği sebebiyle modellenmesi ve benzetimi analitik yollarla oldukça güçtür (9). Bu nedenle motorun denetimi ve modellenmesinde bulanık mantık algoritması (BMD) bir çözüm olarak düşünülmüştür. ARM’nin bulanık mantık denetim metodu ve uygulamaları üzerine literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur (10–16).

BMD algoritması her alanda olduğu gibi motor denetiminde de kullanılmaya başlamıştır. 1993 yılında Bolognani ve diğerleri (10), 1995’de Bradford ve diğerleri (11), 1997’de Rodrigues ve diğerleri (12), ARM hızını denetlerken, 1995’de Huh ve diğerleri (13) anahtarlama açısını bulanık mantık ile denetlemiştir. 1995’de Azevedo ve diğerleri (14), motorun hızının yanında motor torkunu, değişken yükler karşısında tepki süresini, akım ve torku PI ile karşılaştırarak bulanık mantık denetiminin önemini kanıtlamıştır. 2002’de Huh ve diğerleri (15), yüksek akımlı ARM’nin bulanık mantık denetimi ile forklift sistemine de uygunluğunu tespit etmiştir. 1996 yılında Ling ve diğerleri (16), bulanık mantık tekniğini asansör konforunu arttırmak için kullanarak, kabinde aldığı titreşim ve gürültü bilgisi ile bulanık mantık algoritmalarını oluşturmuş ve kabindeki titreşimi azaltmıştır. Ancak burada ARM kullanılmamıştır. 1980’de Lawrenson ve arkadaşları (17) ARM’nin değişken hızlı sürücülerde kullanılabileceğini ve seri doğru akım motorunun karakteristiklerine benzer olduğunu, 1984’de Ray ve arkadaşları (18) ise bu motorun endüstriyel uygulamalardaki performans ve sürücü özelliklerini belirlemişlerdir. 1986’da Bose, B.K. ve arkadaşları (19) ise ARM’nin mikrobilgisayarlı denetimini gerçekleştirmişlerdir. Elmas ve arkadaşları (20) ise; ARM’yi sayısal işaret işlemci ile denetlemişlerdir. Elmas ve arkadaşları (21,22), bir diğer uygulamada ARM’nin hızını PI denetim sabitlerini genetik algoritma ile düzenleyerek çalıştırmışlar ve klasik PI kontrol ile farkını ortaya koymuşlardır. Husain ve arkadaşları (23), ARM’yi dört bölgede çalıştırmışlardır. Daha sonraları ARM’nin çeşitli denetim teknikleri üzerinde durulsa da değişken hızlı olarak asansör sürmede kullanılmamıştır.

Bu çalışmada 7 duraklı bir asansör, PIC 18F452 mikrodenetleyici kullanılarak PI ve BMD algoritması ile denetlenen ARM ile tahrik edilmiştir. Denetimde ARM hızı sabit tutulmayarak kat geçişlerinde yeni referans hızlar üretilmiştir. Motorun üretilen bu referans hızları PI ve BMD ile takip etmesi sağlanmıştır. Böylece BMD ile motor, farklı katlar arası mesafelerde üretilen bu değişken hızla döndürülmektedir. Yapılan denetim ile motor, hareketine düşük ve eğimi sabit bir ivme başlatılmış ve zamanla hızı artırılarak kabinin yüksek hızlara ulaşması sağlanmıştır. Böylece klasik sistemlere göre yolculuk süresi kısaltılarak yolcu konforunun artırılması

amaçlanmıştır. Asansör kabininde meydana gelen ivme ve motor hızı ölçülerek deneysel sonuçlar verilmiştir. Öncelikle ARM’nin bulanık mantık denetim ile benzetimi C++ Builder paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Benzetim programı sayesinde bulanık mantık üyelik işlevleri ve doğruluk tablosu en uygun hale getirilmiştir.

2. BULANIK MANTIK DENETİMLİ ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR

Anahtarlama Relüktans Motorlar (ARM) verimi yüksek olan elektrik motorlarıdır. Fakat yapıları nedeniyle doğrusal özellik göstermediğinden matematik modellerinin tam olarak elde edilememesi önemli bir problemdir. Motorun verimli çalışması, düzgün tork elde edilmesi ve motorun performansı uygulanan matematik modeli ile ilişkilidir. ARM’lerin performansını arttırmak ve maliyeti düşürmek amacıyla yapılan çalışmalar motor, sürme devreleri konvertör tasarımı, matematiksel modelleme ve denetleme yöntemleri gibi konular üzerinde yoğunlaşmıştır (3). ARM’nin lineer olmayan yapısı nedeniyle BMD algoritması daha çok tercih edilir.

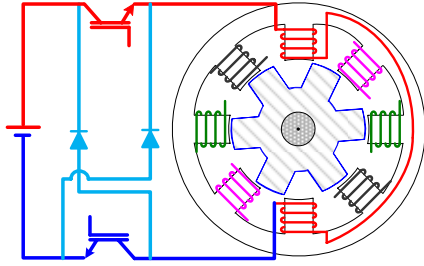
2.1. ARM Yapısı

ARM, rotoru ve statoru çıkıntılı kutupludur. Sadece statorunda sargı bulunur. Sargılar kutup başlarına toplu olarak sarıldığı için motor üretimindeki işçilik oldukça azdır. Ayrıca sürekli çalışma durumunda verimleri yüksektir. Fakat ARM’yi sürmek için diğer motorlara göre özel bir sürücü devresine ihtiyaç duyulur. Ayrıca motor pozisyonunun sürekli olarak algılanması gerekir. Bu da pozisyon algılayıcısı ihtiyacını gerektirir. Pozisyon algılayıcısı denetim teknikleri de literatürde mevcut olsa da konum algılayıcı yöntemlere göre verim daha düşüktür. Bu motorlar her ne kadar ek çevre birimlerine ihtiyaç duysalar da yüksek kalkınma momentine sahip olması ve güç/hacim oranının yüksek olması sebebiyle endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

2.2. Çalışma Prensipleri

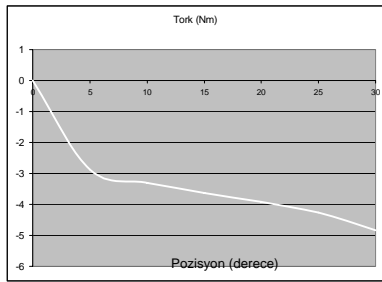
Şekil 1’de 8/6 kutuplu 4 fazlı ARM’nin kesit görüntüsü ile birlikte sargı ve anahtarlama şeması verilmiştir. Şekil 1’deki D fazı (D ve D’ sargıları) enerjilendirildiğinde faz sargıları elektromıknatis oluşturur ve rotor harekete başlar. Rotor, D fazı ile hizalı pozisyona geldiğinde A faz sargılarının bulunduğu çıkıntı kutba yaklaşır ve ayrık durumdan hizalı duruma gelmiş olur. D fazının enerjisi kesilerek A fazı S1 ve S2 anahtarları ile enerjilendirildiğinde rotor A fazına doğru hareket etmeye başlar ve hareket devam eder.

Motorda uygun fazlar sırasıyla enerjilendirildiğinde üretilen torkun faz sargısındaki akımın değil rotor pozisyonuna bağlı olduğundan motor tek bir yönde uygulanan bir akımla çalışabilir. Böylece anahtarlama elemanı sayısı da yarıya düşer. Fakat rotor pozisyonu motorun çalışması açısından önemli olduğundan rotor pozisyonunu algılayabilecek başka eleman ve devrelere ihtiyaç vardır. Bu da motor maliyetini artırır.



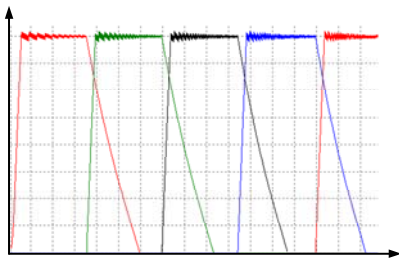
Şekil 1. ARM yapısı ve faz sargıları

Şekil 2'de Ansoft SV programı kullanılarak rotorun 5° 'lik aralıklarla döndürülmesiyle oluşan torkun değişimi görülmektedir. 0° rotorun hizalı pozisyonu, 30° ise ayırık pozisyonudur. Rotor hizalı pozisyonda iken hiç tork üretimi yokken, stator kutbundan uzaklaştıkça endüklenen tork artmaktadır (24).



Şekil 2. Rotor üzerinde meydana gelen torkun pozisyona göre değişimi

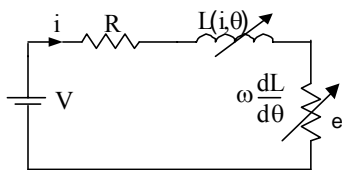
Şekil 3'de motorun faz akımlarının benzetim sonuçlarından elde edilen eğrileri görülmektedir. Görüldüğü gibi faz akımlarında bir miktar üst üste binme vardır. dört fazlı bir ARM'de üst üste binme açısının maksimum değeri, bir faz akımının kendisinden iki sonraki akım başlamadan son bulması gereken açı değeri kadardır (3). Akımların üst üste binmesi motor torkunu etkiler.



Şekil 3. ARM faz akımlarının değişimi

2.3. ARM Dinamik Eşitlikleri

Şekil 4'de ARM'nin bir faza ait eşdeğer devresi görülmektedir.



Şekil 4. ARM'nin bir faz eşdeğer devresi

Bir faz eşdeğer devresinin gerilim denklemi yazılacak olursa; Eş. (1) elde edilir.

$$V = Ri + L \frac{di}{dt} + e \quad (1)$$

Eşitlikteki zıt emk değeri e ise Eş. (2) ile bulunur. Eş (2);

$$e = \frac{d\psi}{dt} = \frac{d\psi}{d\theta} \omega = i \frac{dL}{d\theta} \omega \quad (2)$$

dir. Bulunan e Eş. 1'de yerine konulursa Eş (3) elde edilir.

$$V = Ri + L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{d\theta} \omega \quad (3)$$

Eş. (4)'deki $dL/d\theta$ ifadesi konuma göre endüktansın değişimidir. Eş (4) ile ifade edilir. Eş. B (4);

$$\frac{dL_{(\theta,i)}}{d\theta} = \frac{L - L_0}{\theta - \theta_0} \quad (4)$$

Motorunda endüklenen torkun denklemi ise Eş (5);

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \quad (5)$$

dir. ARM'nin ürettiği torkun dinamik denklemi ise Eş (6);

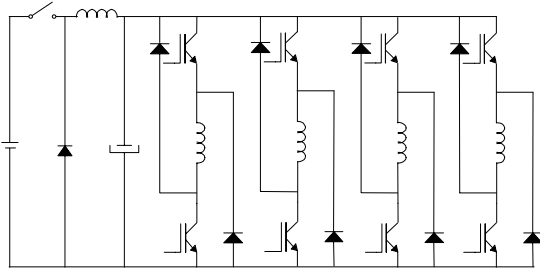
$$T = T_L + B\omega + J\omega' \quad (6)$$

dir ve buradan hız (ω) hesaplanabilir. Eşitlik D 6'da T_L yük torku, B sürtünme katsayısı ve J atalet momenti ve ω' hızın zamana göre türevidir.

2.4. ARM Sürme Devresi

Motorun uygun fazı enerjilendirildiğinde motor hareketi ile birlikte motorun endüktansında değişim meydana gelir. Rotor hizalı pozisyona geçerken değişen endüktans kadar tork üretilir. Yani ayırık pozisyondan hizalı pozisyona geçerken oluşan endüktans farkı motorun torkunu etkiler ($dL/d\theta$). Diğer parametre ise akımın karesidir. Bu nedenle endüklenen tork akımının yönünden bağımsız ve karesi ile doğru orantılıdır. Motorun devir yönü değiştirilmek istenildiğinde anahtarlama sırasının değiştirilmesi yeterlidir. Motorun performansını ve pozitif tork üretimini çeviricinin özelliği de etkilemektedir.

ARM'lerin sargılarını enerjilendirmede kullanılan çeşitli çevirici tipleri mevcuttur. Bunlardan ARM için en uygun olanı ve kullanılacak olan klasik köprü tipi çeviricidir. Şekil 5'de ARM sürülmesinde kullanılan buck+klasik konverter devresi görülmektedir.

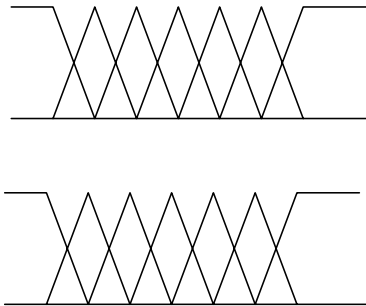


Şekil 5. ARM için konverter devresi

ARM sürücüsü tasarımında karşılaşılan en büyük sorunlardan biri sargının enerjisi kesildiğinde sargıda kalan artık enerjidir. Eğer, sargıdaki enerji bitmeden motor hizalı pozisyondan ayırık pozisyona hareket etmeye başlarsa, o sargı rotoru kendine çekmek ister. Bu durum, motorda frenleme etkisi yaratır. Bu olumsuz durumun önüne geçmek için sargıda enerjinin mümkün olduğunca kısa sürede bitirilmesi gerekmektedir. Bunun için en uygun olan ve Şekil 5’de görülen aktif toparlama metodu devresi kullanılmıştır. Bu yöntemde sargı üzerindeki enerji kondansatörü şarj etmek için kullanılır.

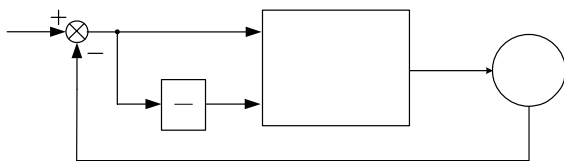
2.5. Bulanık mantık denetleyici ile ARM hız denetimi

ARM hızının denetlenmesi için bulanık mantık denetleyici kullanılmıştır. Bulanık mantık denetleyicide sistem giriş değişkenleri hız hatası (e) ve hız hatasındaki değişim (ce) olarak tanımlanacaktır. Elde edilen hata ve hatanın değişimleri per unit değerine çevrilir. Bu değerlerin, üyelik değerlerinin hesaplanmasında kullanılacak üçgen üyelik fonksiyon eğrileri Şekil 6’da gösterilmiştir.

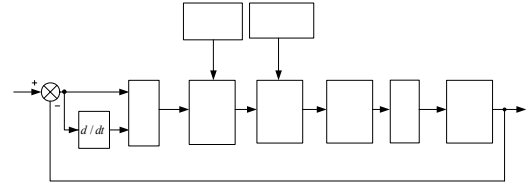


Şekil 6. Bulanık mantık üyelik değerleri

Bulanık mantık sisteminin çıkışında elde edilen du değeri per unit’den kurtarılarak sisteme uygulanır. Bulanık mantık denetleyici bir sistemin tasarımı Şekil 7’de görülmektedir.



Şekil 7. Bulanık mantık denetleyici sistem



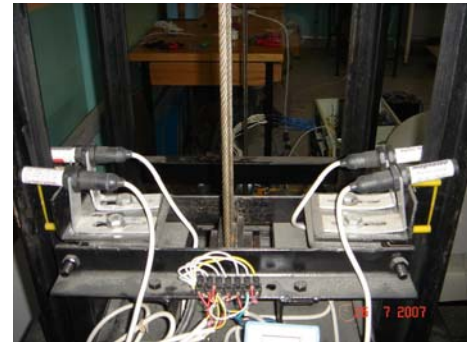
Şekil 8. Bulanık mantık blok diyagramı

3. BULANIK MANTIK DENETİMLİ ASANSÖR SİSTEMİ TASARIMI

Bir asansör sistemi, kabin, tahrik ünitesi ve klavuz raylardan oluşur. Kabin, yolcuların asansör hakkında kanaatlerinin olduğu en önemli bölümdür. Bu yüzden, kabinin hızı, görünümü ve kullanılan malzemenin kalitesi yolcuların psikolojik yapılarını etkilediği gibi güvenlikleri için de oldukça önemlidir.

3.1. Kabin Konumunun Algılanması

Kabin konumu, kabin üzerine yerleştirilen klavuz tip manyetik şalterlerle algılanır. Konulması gereken manyetik şalterin sayısını toplam durak sayısı belirler. y durak sayısını ifade etmek üzere bilinirse, $2y+1$ kadar ihtimali olan konum bilgisi oluşturulmalıdır. Bu sayı kadar ihtimali oluşturacak şalter sayısı, n durak üzere 2^n-1 formülü ile belirlenir.

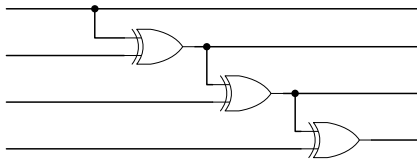


Şekil 9. Kabine monte edilmiş manyetik şalterler

Bu çalışmada 7 durak vardır. O halde, 15 ihtimal ($2 \times 7 + 1$) vardır. Eğer 4 manyetik şalter kullanılırsa, 15 ($2^4 + 1$) ihtimal olacaktır. Böylece, sistem için gerekli olan ihtimal sayısı karşılanır. Raylar üzerine miknatıslar yerleştirilerek manyetik şalter kontaklarının konum değiştirilmesi sağlanmıştır. Değişen konumlar yardımıyla aşağıda tablo halinde verilen gray kodları üretilmiştir.

3.2. Gray Kodunun BCD’ye Çevrimi

Gray kodunun avantajlı yanı her bir değişimde sadece bir bitinin değişmesidir. Ancak bu sayıların desimal (onluk sistem) karşılığına bakıldığında sayı artışları sıralı gitmemektedir. Bu da mikrodenetleyici sistem içinde ayrı bir algoritma kurulumu gerektirmektedir. Bu çalışmada asansör konumunu belirleyen gray kodları, mikrodenetleyiciye binary (ikilik sistem-BCD) olarak girilmiştir. Gray kodundan BCD’ye çevrim için kullanılan devre Şekil 10’da görülmektedir. 3 tane “ÖZEL VEYA” kapısı kullanılmıştır.



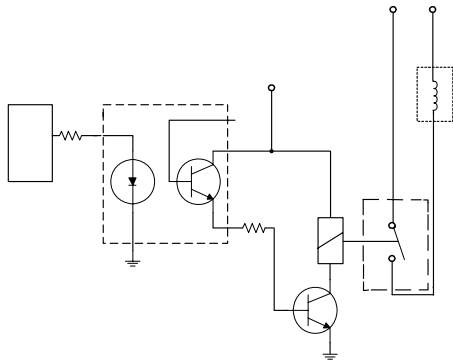
Şekil 10. Gray kodundan BCD'ye çevrim

“Özel Veya” kapılarının girişi gray kodlarında Gray0 en düşük değerlikli bittir. Aynı şekilde çıkıştaki “B0” BCD'nin çıkışının en düşük değerlikli bitidir. Bu dönüşümde giriş değişkenlerine göre çıkışın hangi değeri aldığını doğruluk tablosu yardımı ile tespit edilebilir. Dönüştürülen kodlar, PIC'in PORTD0, D1, D2 ve D3 pinlerine girer ve buradan asansörün hangi konumda olduğu tespit edilir.

Asansör 7 ayrı yerden çağrılabilir. Bu butonlardan gelen bilgi PIC'in B portu tarafından alınmaktadır.

3.3. Frenleme Devresi

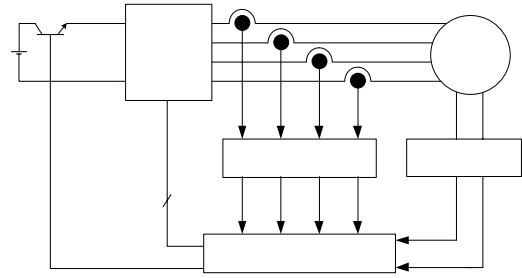
Şekil 11'de frenleme devresinin şeması verilmiştir. Motorun ilk hareketinden önce balata sisteminin devreden çıkarılması gerekmektedir. Bu için PIC'den bir sinyal gönderilmektedir. Sinyal, 4N25 optocoupler'a gönderilir. Böylece, balatayı çalıştıracak sistem ile denetleyici arasında elektrikli yalıtım sağlanır. Optocoupler BD135 transistörü tetiklemektedir. Transistör tetiklendiğinde 5V'luk röleli normalde açık kontağı kapanarak fren bobini enerjilenir ve balata açılmış olur.



Şekil 11. Frenleme devresi

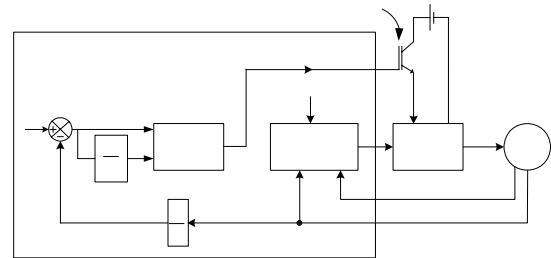
3.4. ARM Denetimi

ARM'nin denetim sisteminin blok halinde gösterilmiş hali Şekil 12'de gösterilmiştir. Burada pozisyon algılayıcısından alınan bilgi ile akım değerleri PIC mikrodenetleyicisinde yorumlanarak çeviricinin anahtarlamaya sinyalleri ile motor hızını ayarlayacak DGM sinyalleri PIC'de üretilir. Burada sadece ARM'nin çalışması için gerekli olan donanım yer almaktadır. Asansör kısmı ayrıca incelenecektir.



Şekil 12. ARM denetim blok şekli

Oluşturulacak olan sistemin blok diyagramı Şekil 13'de gösterilmiştir. Motorun çalışması için uygun fazların enerjilendirilmesi gerekmektedir. Hangi konumda hangi anahtarın açılacağına karar veren sistem yine PIC'in içerisinde. Konum bilgisi sayesinde motorun sıradaki hangi fazının enerjilendirilmesi gerektiği çıkarılmaktadır. Referans akım değeri akımın maksimum değerini sınırlandırmakta kullanılır. Eğer fazın akımı referans akımı geçecek olursa sinyal kesilerek fazın enerjisi kapatılır. Anahtar tekrar açılır, böylece akım belli bir bant aralığında tutulur.

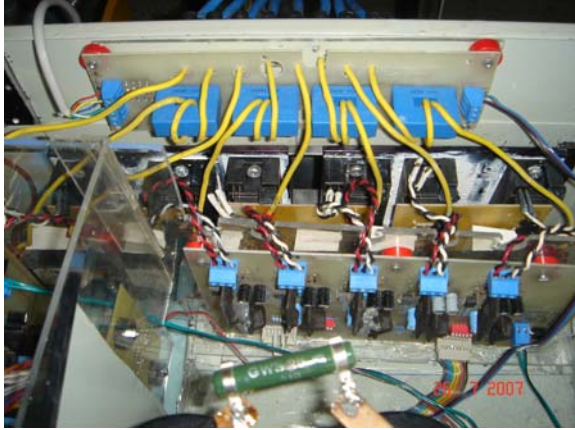


Şekil 13. ARM için denetim şeması

Şekil incelendiğinde; PIC bloğunun içerisine konum bilgisi (θ) ile motorun akım değerleri girmektedir. Çıkışında ise çeviriciye gönderilecek anahtarlamaya sinyalleri bulunmaktadır. Ayrıca anahtarlamaya bir de PIC içinde referans bir akım değeri oluşturulur. ARM'nin hız bilgisi ile “referans hız eğrileri”nden gelen hız değeri karşılaştırılır. Ortaya hız hatası (e) çıkar. Hız hatasının türevinden hız hatasının değişimi (ce) elde edilir. Bunlar, bulanık mantık denetleyicisinin giriş değişkenleridir. Çıkışta elde edilen değere göre DGM sinyalleri üretilir. Böylece motor hız denetimi gerçekleştirilir.

3.5. ARM Akım Bilgisi Okuma

Şekil 14'de Sürücü devre ve akım algılayıcılarının görüntüsü verilmiştir. ARM'nin faz akımları LEM marka 50 A'lık LA 55-P modeli akım algılayıcıları ile analog gerilim olarak algılanmıştır. Her faz için bir adet akım algılayıcısı kullanılmıştır. Akım algılayıcıları PIC'in analog kanallarına bağlanmıştır. ADC 10 bit çözünürlüğe sahip olan PIC'de analog-dijital dönüşüm yapılarak akım bilgisi istenilen değerde tutulması sağlanmıştır.



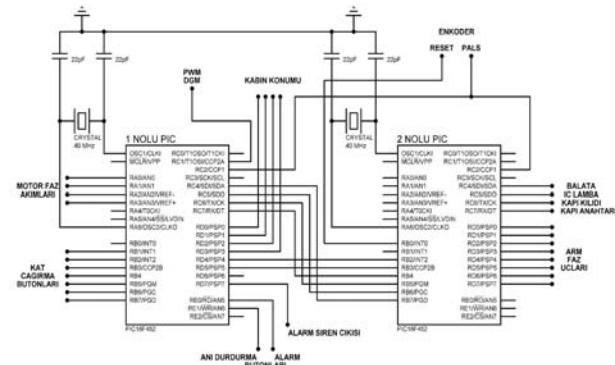
Şekil 14. Akım sensörü ve sürücü devre

3.6. ARM Konum Bilgisi Okuma

Konum algılayıcısından gelen bilgiler, motorun konumunu tayin edecek bilgiyi oluşturacaktır. Incremental tip konum algılayıcısı her bir turda 1024 pals gönderir. Ayrıca her 360°'lik dönüş sonunda konum algılayıcısı, bir reset sinyali gönderecektir. Bu sinyal ayrı bir kanaldan alınarak PIC'in harici kesme bacağına bağlanmıştır. Böylece konumda yapılacak olan hatalar her tur sonunda sıfırlanmaktadır.

3.7. Mikrodenetleyici

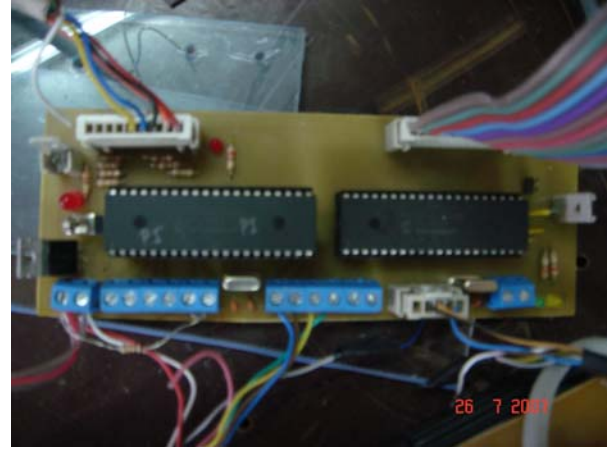
Bu çalışmada, denetleme devresinde 32 Kb hafızaya sahip 2 adet PIC 18F452 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Şekil 15'de Denetleyici tüm devre şeması, Şekil 16'da bu devrenin görüntüsü, Şekil 17'de ise denetim algoritması verilmiştir. Devrede motorun hız denetimi için gerekli DGM sinyali 1. PIC tarafından üretilmektedir. Motor hızı, pozisyon algılayıcısından gelen palsler aracılığı ile hesaplanır ve bulanık mantık tarafından hız denetimi için gereken değerler üretilir. Bu değerler DGM üretimi için kullanılır. DGM sinyali PIC'in RC1/CCP2 bacağından üretilir ve sinyal IGBT'ye gönderilmektedir.



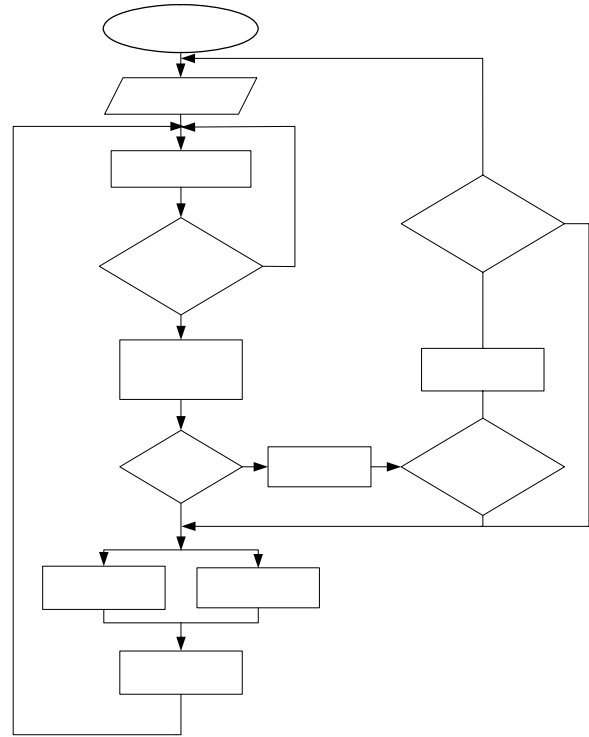
Şekil 15. Denetleyici devre şeması

Kullanılan denetleyicilerden 2 nolu olan, konum algılayıcısından gelen ve hızlı işlem gerektiren sinyalleri sayar. Darbe okuma 17 nolu pin olan RC2/CCP1 ile sağlanmıştır. Konum algılayıcısından gelen bu sinyal her iki işlemciye de uygulanmaktadır. Gelen darbenin

sayısına göre konum tespiti yaparak anahtarlama elemanı olan IGBT'lere gidecek anahtarlama sinyallerinin üretimini yapar. 2. PIC sadece pals bilgisi ile motor pozisyonunu tespit ederken, diğer denetleyici ise konumun tespitinin yanında ayrıca bulanık mantık denetim hesaplamalarını yapar ve motorun hız hesabında kullanılır. Motor konumunu, motor akımlarını okumakta kullanılır. Sistem hızını arttırmak için her zaman tüm fazların akımlarını okumak yerine sadece o anda enerjili olan fazın akım değeri okunur.



Şekil 16. Denetleyici Devresinin Görüntüsü



Şekil 17. Sistemin genel akış diyagramı

Şekil 18'de montajı tamamlanmış olan ARM'li asansör makinesi ve ARM sürücüsü görülmektedir.

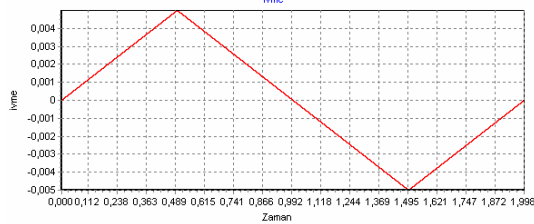


Şekil 18. ARM'nin asansöre tespit edilişi ve ARM sürücüsü

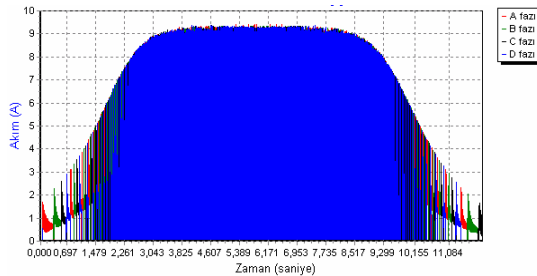
4. BENZETİM VE DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada kullanılan ve benzetimi C++ Builder programı ile yapılan Rocky Mountain marka Emerson lisansı ile üretilen ARM'nin parametreleri; Motor gücü=3.44 kW, $V_K=155$ V, $L_{max}=38$ mH, $L_{min}=3.14$ mH (1 A için), $I_{max}=22$ A, $R_f=0.445\Omega$, $J=0.0653$ Kg m^2 , $B=0.0041$ Nm.sn/rad, $N_s/N_r=8/6$ 'dır. PI kontrol parametreleri ise; $K_i=2$ ve $K_p=80$ 'dir.

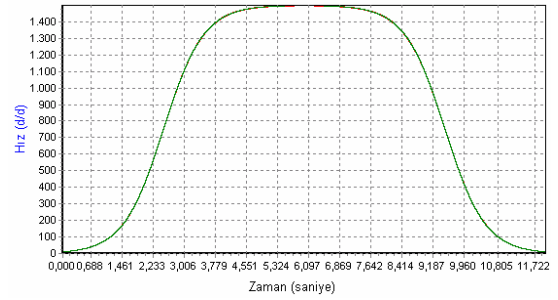
Şekil 19'da motora uygulanan çan eğrisi şeklindeki referans hızın ivme eğrisi verilmiştir. ARM, maksimum 1500 d/d'lık çan eğrisine benzer bir hız eğrisi ile yüksüz durumda 0 – 12 saniye (asansör kabininin 6 katlık mesafesi) süre aralığında çalıştırılmıştır. Şekil 20. Asansörün 7 Nm yüklü durumdaki 6 katlık hareketindeki akım, Şekil 21.'de hız ve Şekil 22'de tork eğrileri görülmektedir. Motor hızlandıkça akımın ve buna bağlı olarak torkun da arttığı görülmektedir. Motor tarafından üretilen tork, kalkışta 0,1 Nm, maksimum 1,5 Nm düzeyindedir. İlk kalkınma anında A – D fazlarının yüksek hızlarda çalışma anlarına göre çok daha uzun süre iletimde olduğu görülmektedir. Hızlandıkça fazların iletim süreleri kısalmaktadır. Özetle, motor hızlandıkça bir fazın akımın frekansı azalmakta genliği ise artmaktadır.



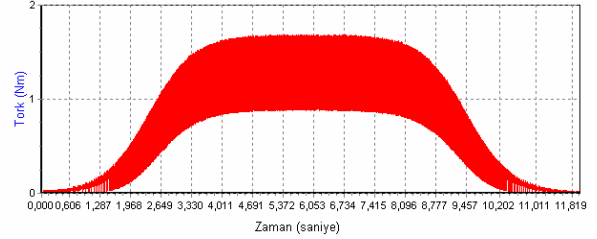
Şekil 19. Bir kat harekette ivme eğrisi



Şekil 20. Yüksüz durumda 6 katlık hareketin akım eğrisi



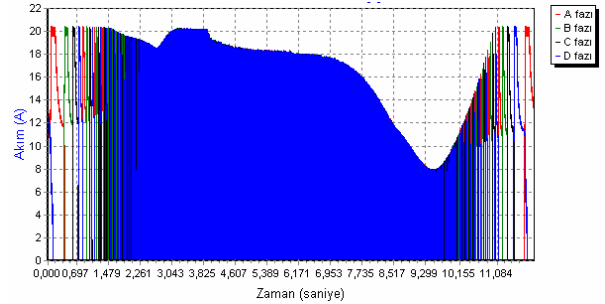
Şekil 21. Yüksüz durumda 6 katlık hareketin hız eğrisi



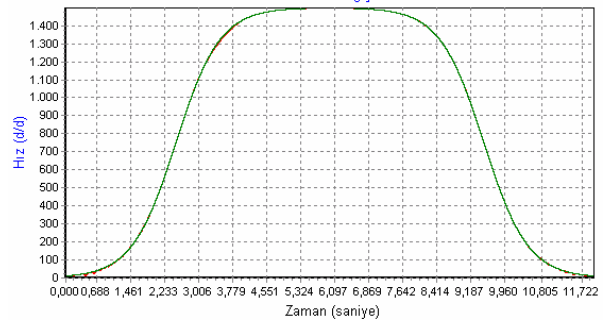
Şekil 22. Yüksüz durumda 6 katlık hareketin tork eğrisi

ARM, maksimum 1500 d/d'lık çan eğrisine benzer bir hız eğrisi ile 7 Nm yüklü durumda 0 – 12 saniye (asansör kabininin 6 katlık mesafesi) süre aralığında çalıştırılmıştır. Şekil 23. Asansörün 7 Nm yüklü durumdaki 6 katlık hareketindeki akım, Şekil 24.'de hız ve Şekil 25'de tork eğrileri görülmektedir.

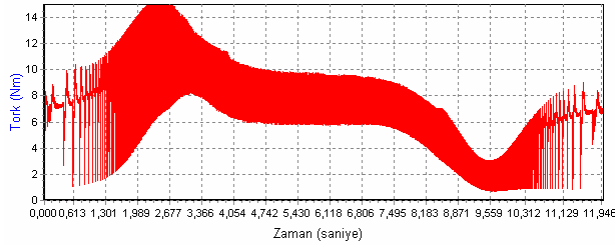
Motor hızlandıkça akımın ve buna bağlı olarak torkun da arttığı görülmektedir. Motor tarafından üretilen tork, kalkışta 8 Nm, maksimum 14 Nm düzeyindedir. İlk kalkınma anında A – D fazlarının yüksek hızlarda çalışma anlarına göre çok daha uzun süre iletimde olduğu görülmektedir. Hızlandıkça fazların iletim süreleri kısalmaktadır. Şekillerden motor hızlandıkça bir fazın akımın frekansı azalmakta genliği ise artmaktadır.



Şekil 23. Asansörün 7 Nm yüklü durumdaki 6 katlık hareketindeki akım eğrisi



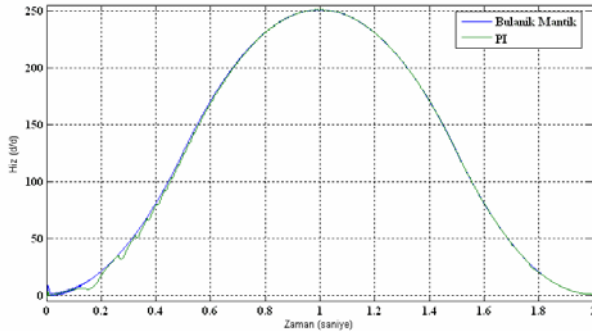
Şekil 24. Asansörün 7 Nm yüklü durumdaki 6 katlık hareketindeki hız eğrisi



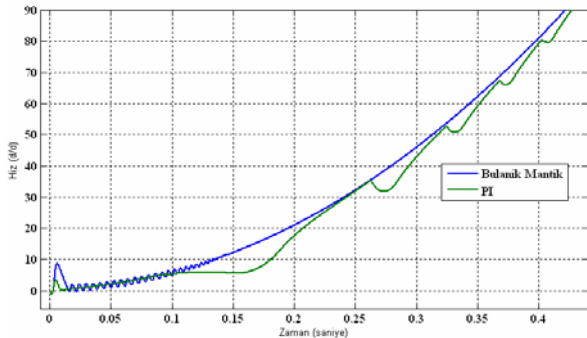
Şekil 25. Asansörün 7 Nm yüklü durumdaki 6 katlık hareketindeki hız eğrisi

Şekil 26’da motorun PI ve BMD elde edilen hız-zaman eğrisi, Şekil 27. Asansörün kalkış anında BMD ile PI denetimlerinin hız eğrisi ve Şekil 28. Asansörün maksimum hız anında BMD ile PI denetimlerinin hız eğrileri görülmektedir. PI ve BMD sistemlerinde motor aynı şartlar altında bir katlık mesafede motor 7 Nm’ lik bir yük altında çalışırken elde edilen benzetim sonuçları verilmiştir. 1 katlık mesafede maksimum hız 250 d/d olmuştur.

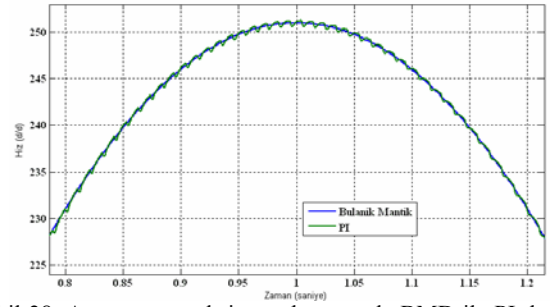
İlk kalkınma anında ve hızın maksimumuna ulaştığı noktalarda BMD, PI denetleyicisinden daha az hız salınıma sahip oldu görülmektedir. Bu durumda, kabinde daha az titreşimin oluşacağı açıktır. Hız eğrileri devir/dakika, tork eğrilerinde Newton.metre, zaman saniye ve akım eğrileri Amper cinsinden alınmıştır. Şekil 27 ve Şekil 28’de denetim sistemlerindeki farkın daha net görülebilmesi için görüntü odaklanmıştır.



Şekil 26. Asansörün bir katlık çalışmasında BMD ile PI denetimlerinin hız eğrisinde karşılaştırılması

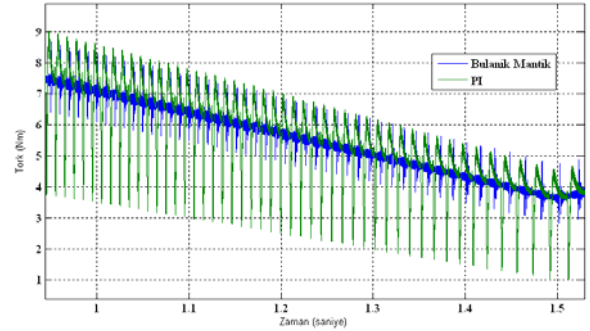


Şekil 27. Asansörün kalkış anında BMD ile PI denetimlerinin hız eğrinde karşılaştırılması

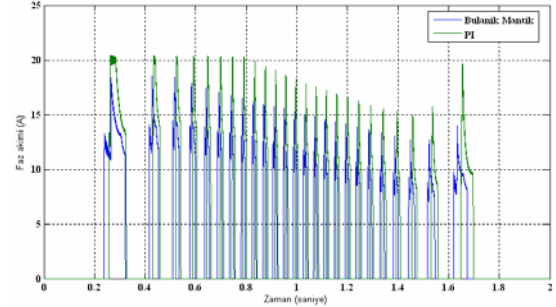


Şekil 28. Asansörün maksimum hız anında BMD ile PI denetimlerinin hız eğrinde karşılaştırılması

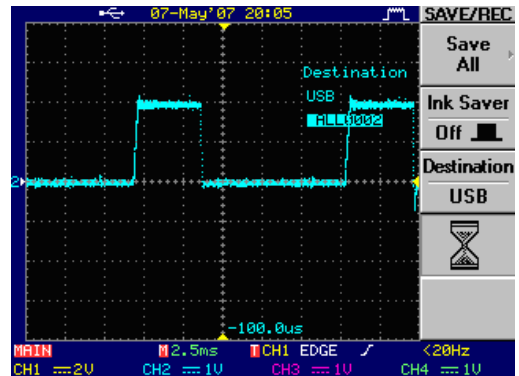
Şekil 29. BMD ile PI denetimlerinde oluşan tork ve Şekil 30. Asansörün bir katlık çalışmasında BMD ile PI denetimlerinde çekilen akım görülmektedir. Tork eğrisinde BMD, PI’ a göre çok daha az salınıma sahiptir. ARM’nin en büyük dezavantajlı yanı olarak gösterilen tork salınımları ileri denetim teknikleri ile azaltılabileceği net olarak görülmektedir. Aynı şartlar altında aynı gücü BMD, daha az akımla sağlayabilmektedir.



Şekil 29. BMD ile PI denetimlerinin tork eğrisinde karşılaştırılması



Şekil 30. Asansörün bir katlık çalışmasında BMD ile PI denetimlerinin akım eğrisinde karşılaştırılması



Şekil 31. ARM’nin A fazının akımının osiloskopta görünümü

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

ARM'lar, yapısı itibarıyla en basit elektrik motorlarından. Bu motorlar, yüksek kalkınma momenti ve yüksek verimliliğe sahiptir. Kalkış torku açısından DA seri motorlarına, bakımının az olması açısından da asenkron motorlara benzemektedir. Bu avantajları sayesinde asansör sistemlerinde kullanılması daha uygun olabilir. Asansörün ARM ile tahrik edildiği sistemin çalışabilmesi için motor konumunun tespit edilmesi ve uygun fazların enerjilendirilmesi gerekmektedir. Bunun için her turda 1024 darbeli Incremental tip pozisyon algılayıcısı kullanılmıştır. Asansör kabininin konumu dört adet manyetik şalter ile algılanmıştır. Denetimde toplam iki adet PIC18F452 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır.

Motor denetim sistemi, asansör sisteminin performansını ve yolcuların konforunu etkilemektedir. Klasik denetim sistemi olarak sayılan PI denetim sistemi, sabit parametreleri ile değişken yüklerle sahip olan sistemlerde her zaman hızlı tepki verememekte sistemi kararlılığa geç ulaştırmaktadır. Bu çalışmada ileri denetim sistemlerden olan Bulanık Mantık tercih edilmiştir. Bulanık mantık insan beyninde olduğu gibi sistemin durumuna göre tepki vermektedir. Bu sayede sürekli değişen yüklerle sahip olan asansör sistemlerinde kullanımı uygun hale gelen BMD, kullanılmış ve PI' dan daha sağlıklı sonuçlar vermiştir.

6. KAYNAKLAR

- Dursun, M., Saygın, A., "Bir Asansör Tahrik Sistemi İçin Bulanık Mantık Denetimli Anahtarlamalı Relüktans Motor Sürücüsü Tasarımı", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 12(2), s. 151-160, (2006).
- İmrak, C.E., Gerdemeli, İ., "Asansörler ve Yürüyen Merdivenler", Birsen Yayınevi, İstanbul, 60-100 (2000).
- Dursun, M., Saygın, A., "Bulanık mantık denetimli anahtarlamalı relüktans motorla asansör tahriki", G.Ü. BAP projesi sonuç raporu, Ankara, 15-120 (2005).
- Çetin, A., "Bir anahtarlamalı relüktans motorun hibrid gözlemci ile pozisyon algılayıcısız çalıştırılması", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 48-55 (2002).
- Dursun, M., Saygın, A., "Bulanık mantık denetimli anahtarlamalı relüktans motorla asansör tahriki", Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu BUMAT2005, Kocaeli, 16-18 (2005).
- C. Elmas, M. A. Akçayol, "PC based educational tool for a switched reluctance drive with fuzzy logic", The International Journal of Electrical Engineering Education, Vol. 40, Issue 3, pp 208-219, 2003.
- Lim, H.S., Krishnan, R., Lobo, N.S., "Design and control of a linear propulsion system for an elevator using linear switched reluctance motor drives", Electric Machines and Drives, 2005 IEEE International Conference, San Antonio, TX, USA, 1584-1591 (2005).
- Krishnan, R., "ECE 2004", The New Cellular Engineers, Blacksburg VA, 30-31 (2004).
- Cheok, A.,D., Ertugrul, N., "Computer-based automated test measurement system for determining magnetization characteristics of switched reluctance motors", IEEE Transactions On Instrumentation and Measurement, 50 (3): 690-696 (2001).
- Bolognani S., Zigliotto M., "Fuzzy logic control of a switched reluctance motor drive", Industry Applications Society Annual Meeting, Toronto, Canada, 2049-2054 (1993).
- Bradford, J.N., Xin F., "A new approach to the nonlinear fuzzy control of the switched reluctance motor", Systems, Man and Cybernetics, Intelligent Systems for the 21st Century, Vancouver, British Columbia, 171-176 (1995).
- Rodrigues, M.G., Suemitsu, W.I., Branco, P., Dente, J.A., Rolim, L.G.B., "Fuzzy Logic Control Of A Switched Reluctance Motor", *ISIE '97*, Portugal, 527-531 (1997).
- Huh, U.Y., Lee, T.G., "Fuzzy Logic Based Switching Angle Controller For SR Motor Speed Control", *Industrial Electronics, ISIE '95*, Greece, 809-814 (1995).
- De Azevedo, H.R., Borges, T.T., Salvador, N., Teixeira, E.P., "Reluctance motor drive based on fuzzy logic", *Intelligent Information Systems ANZIS-95*, Australian and New Zealand, 226-231 (1995).
- Huh, S.J., Kim, K.D., Huh U.Y., Jang, J.H., Lee B.S., Chung, W.Y., "Fuzzy logic based control of high current SRM", SICE 2002 41st SICE Annual Conference, Japan, 1216-1219 (2002).
- Peiliang, L., Haining, X., "Fuzzy evaluation and control for the comfort sense of an elevator", *Industrial Technology ICIT '96*, Shanghai, China, 607-611 (1996).
- Lawrenson, P.J., Stephenson J.M., Blenkinsop, P.T., Corda J. and Fulton N.N., "Variable-speed switched reluctance motors", *Proc. IEE*, 127 (B): 253-265 (1980).
- Ray, W.F., Davis, R.M., Stephenson, J.M., Lawrenson, P.J., Blake, R.J., Fulton, N.N., "Industrial switched reluctance drives-concepts and performance", *PEVD Proc., Drives/Motors/Controls*, London, 357-360 (1984).
- Bose, B.K., Miller, T.J.E., Szczesny, P.M., Bicknell, W.H., "Microcomputer control of switched reluctance motor", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, IA-22 (4): 708-715 (1986).
- Elmas, Ç., De La Para, H. Z., "A DSP controlled switched reluctance drive system for wide range of operating speeds, *IEEE PESC'92*, Toledo, 844-850 (1992).
- Elmas, C., Yigit, T., "Genetic algorithms Based on-line tuning of a PI controller for a switched reluctance motor drive", *Electric Power Components and Systems*, Vol. 35(6), 2007.
- Elmas C. and Yigit T., "Genetic PI Controller For A Switched Reluctance Motor Drive", *International XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks – TAINN 2003*, Vol. E4, pp. 330-332, 2-4 July 2003, Çanakkale, Turkey.
- Husain, I., Hossain, S.A., "Modeling, Simulation, and Control of Switched Reluctance Motor Drives", *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, Vol.52 (6), 1625-1634 (2005).
- Özden S., , "Bir Elektrikli Asansör Sisteminin Bulanık Mantık Tekniği ile Denetimi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2007).