

MOSFET EVİRİCİYLE BESLENEN ÜÇ FAZLI ASENKRON MOTURUN AKIM-HIZ KONTROLÜNÜN BULANIK MANTIKLA YAPILMASI

İrfan GÜNEY

irfanguney@marun.edu.tr

Yüksel OĞUZ

yoguz@marun.edu.tr

Sezai TAŞKIN

sezai.taskin@marun.edu.tr

Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü Göztepe/İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada, son yıllarda büyük bir gelişme gösteren bulanık mantığın üç fazlı asenkron motora uygulanması ele alınmıştır. Bulanık kontrolün PI(orsanal-integral işlemsel kuvvetlendirici) kontrole göre üstünlüklerini belirleyebilmek için asenkron motorun matematiksel modeline ve uygulama sonuçlarına dayanarak motorun devir hızı ile stator akımı arasındaki değişimin nasıl olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen verilerden yararlanarak, motorun kararlı ve emniyetli bir şekilde çalışabilmesi için gerekli olan bulanık kontrole ilişkin karar tablosu oluşturularak seçilen referans değerlere göre kontrol işleminin simülasyonu yapılmıştır. Bulanık mantıkla kontrolü yapılan üç fazlı asenkron motorun dinamik davranışının PI kontroller göre mukayesesi yapılmıştır. Bulanık mantıkla yapılan kontrol işleminin performansının yüksek olduğu ve değişen yük durumlarına göre motorun dinamik davranışının kısa sürede düzeldiği gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Bulanık mantık, asenkron motor, matematiksel model, mosfet güç transistörü

1. GİRİŞ

Günümüzde endüstriyel motor uygulamalarının %90'ında indüksiyon tipi motorların kullanıldığı görülmüştür[1]. İndüksiyon tipi motorların bu kadar geniş bir kullanım alanı bulması; verimlerinin yüksek olmasına, mekaniki zorlamalara karşı dayanıklılığına, bakım ve onarımlarının kolay olmasına ve fiyatlarının diğer motor türlerine göre düşük olması gibi nedenlere bağlıdır. İndüksiyon tipi motorların bu ifade edilen avantajlarının yanı sıra birkaç dezavantajı vardır. Üç fazlı asenkron motorda indüksiyon tipi motor gurubuna girdiğinden bu tip motorların çalışmaları esnasında meydana gelen sıcaklık nedeniyle parametrelerindeki dalgalanmalar ve kararlı çalışmaya geçinceye kadar gösterdikleri lineer olmayan davranışları istenmeyen durumlardır. Sözü edilen motorun matematiksel modelini kullanarak rahatsız edici davranışları kontrol etme güçlüğü vardır.

Bu çalışmada, üç fazlı sincap kafesli asenkron motorun bilinen matematiksel modelini dayanarak, stator akımı-rotor frekansı kontrolü için, son günlerde klasik kontrolörlere göre performansı oldukça yüksek olan bulanık mantık kontrolörü kullanılmıştır. Üç fazlı asenkron motorun akım-kayma frekansı kontrol

işleminde, Matlab-Simulink programı kullanılmıştır. Bulanık kontrolör yaklaşımı; kısa zamanda kararlı çalışmayı gerçekleştirmek, sıcaklığa ve doyuma karşı motorun güvenilirliğini artırmak ve yüksek verimliliği sağlamak amacıyla seçilmiştir. Yaygın olarak üç fazlı asenkron motorun kontrolünde kullanılan metotlar: stator gerilimi-rotor frekansı kontrolü, stator akımı-kayma frekansı kontrolü ve yönlendirilmiş alan kontrolleridir. Bu kontrol metotlarından yönlendirilmiş alan kontrol metodu, ani yük momenti değişikliklerinde, en iyi dinamik davranışı ve yüksek güvenilirliği sağlar[2]. Ancak, yönlendirilmiş alan kontrolünün parametrelerini özellikle her bir motor için saptamak zahmetli bir iştir. Klasik kontrol metotlarının bu gibi zorluklarından kaçınmak için yeni alternatif kontrol metotları geliştirilmiştir. Geliştirilen kontrol metotlarından biriside, bulanık kontrol metodudur. Bulanık kontrolör, denetim işlemi gerçek zamanda gerçekleştirilecekse diğer klasik kontrolörler gibi sistemin matematiksel modeline ihtiyaç duymadan gerçekleştirir. Bulanık kontrolör bu özelliğinin yanında insan mantığına benzeyen bir kontrolör işlemini yaptığından dolayı klasik kontrolörlere göre daha çok tercih edilmektedir[3].

2. ÜÇ FAZLI ASENKRON MOTORUN MATEMATİKSEL MODELİ

Üç fazlı sincap kafesli asenkron motor, altı tane mosfet güç transistörünün kullanılmasıyla oluşturulan akım kontrollü PWM(dalga genişlik modülasyonu) eviriciyle beslenmektedir. Mosfet eviriciyle beslenen üç fazlı sincap kafesli asenkron makinanın dinamik davranışı, dq0 eksen takımında tanımlanan stator ve rotor gerilimi, akısı ve tork denklemleri ile tanımlanabilir[2].

Stator ve rotor gerilimini dq0 eksen takımında tanımlayan denklemler:

$$v_{qs} = \frac{p}{\omega_h} \psi_{qs} + \frac{\omega}{\omega_h} \psi_{ds} + r_s i_{qs} \quad (1)$$

$$v_{ds} = \frac{p}{\omega_h} \psi_{ds} - \frac{\omega}{\omega_h} \psi_{qs} + r_s i_{ds} \quad (2)$$

$$v_{0s} = \frac{p}{\omega_h} \psi_{0s} + r_s i_{0s} \quad (3)$$

$$v'_{qr} = \frac{p}{\omega_b} \psi'_{qr} + \left(\frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_b} \right) \psi'_{dr} + r'_r i'_{qr} \quad (4)$$

$$v'_{dr} = \frac{p}{\omega_b} \psi'_{dr} - \left(\frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_b} \right) \psi'_{qr} + r'_r i'_{dr} \quad (5)$$

$$v'_{0r} = \frac{p}{\omega} \psi'_{0r} + r'_r i'_{0r} \quad (6)$$

olarak elde edilir[2]. Burada,

V_{ds}, V_{qs}, V_{0s} : Stator geriliminin dq0 eksenlerindeki bileşenleri,

V_{dr}, V_{qr}, V_{0r} : Rotor geriliminin dq0 eksenlerindeki bileşenleri,

$\psi_{ds}, \psi_{qs}, \psi_{0s}$: dq0 eksenindeki stator akı bileşenleri,

$\psi_{dr}, \psi_{qr}, \psi_{0r}$: dq0 eksenindeki rotor akı bileşenleri,

r_s : Stator sargı direnci,

r'_r : Stator devresine indirgenmiş rotor direnci,

ω_s : Senkron hız (rad/sn)

ω_r : Rotor hızı(rad/sn)

ω_b : Baz açısal hız (rad/sn)

i_{ds}, i_{qs}, i_{0s} : Stator akımının dq0 bileşenleri,

i_{dr}, i_{qr}, i_{0r} : Rotor akımının dq0 bileşenleri,

p : Motorun kutup sayısı.

Stator ve rotor akısı denklemleri:

$$\psi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i_{qr} \quad (7)$$

$$\psi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i_{dr} \quad (8)$$

$$\psi_{qr} = L_r i_{qr} + L_m i_{qs} \quad (9)$$

$$\psi_{dr} = L_r i_{dr} + L_m i_{ds}$$

şeklinde elde edilir. Burada,

$$L_s = L_{ls} + L_m$$

$$L_r = L_{lr} + L_m$$

L_s : Stator sargısının toplam endüktansı,

L_r : Rotor sargısının toplam endüktansı,

L_m : Yöndeş endüktans

Asenkron motor tarafından üretilen elektro mekanik tork ise;

$$T_{em} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2\omega_b} (\psi_{ds} i_{qs} - \psi_{qs} i_{ds}) \quad (10)$$

biçiminde ifade edilir[1].

Üç fazlı asenkron motorun rotor kısmını(mekanik kısmını) tanımlayan denklemler:

$$\frac{d}{dt} \omega_r = \frac{1}{2H} (T_{em} - F\omega_r - T_{mil}) \quad (11)$$

biçiminde elde edilir. Burada,

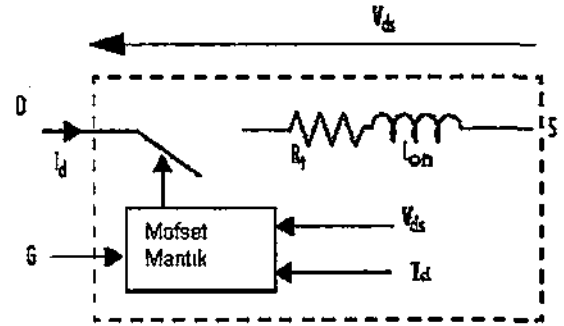
H : Rotor ve yük atalet sabiti,

F : Sürtünme kuvveti,

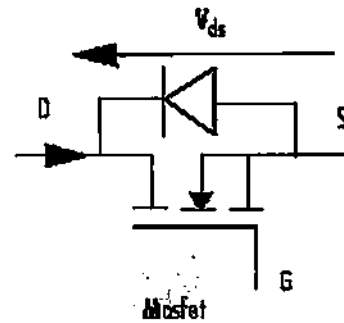
T_{mil} : Motor mil torkudur.

3. MOSFET EVİRİCİ

Mofset(Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect Transistor), Gate sinyali(tetikleme sinyali) ile kontrol edilebilen yarı iletken elemanlardır. Kapı gerilimi. $V_{ds} < 0$ olduğunda mofset yarı iletken eleman kesimdedir. Mofset blok kesimde iken, ara bağlantı diyotu ile paralel bağlanır. Kapı gerilimi veya kapı sinyali ($G > 0$ pozitif olduğunda mofset güç transistörül iletimdedir. Kapı sinyali ($G < 0$) negatif veya $G = 0$ olduğunda, mofset güç transistörül kesimdedir. Şekil 1'de mofset yarı iletken güç transistörünün blok diyagramı görülmektedir.



(a) Mofset güç transistörünün yapısı



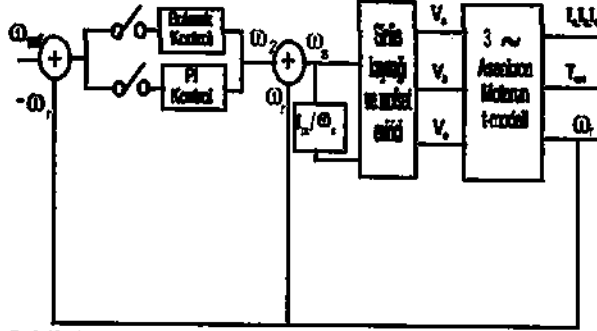
(b) Mofset güç transistörünün sembolü

Şekil 1. Mofset güç transistörünün yapısı ve sembolü

Şekil 1'de, G; Tetikleme sinyalinin uygulandığı bağlantı ucu, S; kaynak ucu, D; akım geçiş yönünü ve V_{ds} ise mofseti iletime geçirecek kaynak gerilimi olarak tanımlanır. Mofset, mantıksal bir anahtarlama ($G > 0$ veya $G = 0$) ile kontrol edilen değişken bir direnç (R_t) ve endüktansın seri kombinasyonundan oluşur[4].

4.BULANIK MANTIK VE PI KONTROLÖR METODU

Bulanık mantık ve PI kontrolörle akım-hız kontrolü yapılan üç fazlı asenkron motorun blok diyagramı Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. PI ve Bulanık Mantık kontrolörlü üç fazlı asenkron motorun blok diyagramı

Şekil 2'de ω_1 , rotor açısız hızı, ω_2 ; senkron açısız hızı, ω_2 ; rotor açısız hızı ile senkron açısız hız arasındaki kayma hızını ifade eder. V_a, V_b, V_c ; asenkron motorun stator sargılarına uygulanan faz gerilimlerini, I_a, I_b, I_c ise motorun faz akımlarını simgelemektedir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi mosfet eviricisiyle beslenen asenkron motorun hız kontrolü, PI kontrolör ve Bulanık Mantık kontrolör ile yapılmaktadır. Bu kontrolör ile yapılan kontrol işlemi aşağıda alt başlıklar halinde açıklanmaktadır.

4.1 Bulanık Mantık Kontrol Metodu

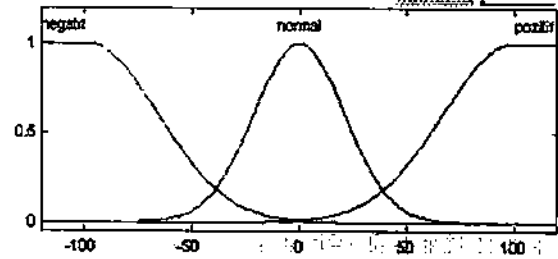
Yapılan bulanık mantık kontrolünde amaç, motorun stator akımına göre kayma hızını kontrol altına almaktır. Bu işlem için ilk önce stator akımı ile kayma hızı arasında non-lineer bir ilişki tanımlanır. Tanımlanan ilişkiyi ve daha önceki sistem hakkındaki tecrübelerimize dayanarak gerekli kontrol kuralları oluşturulur.

Bulanık kontrolörün girişlerini, senkron hız ile rotor hızı arasındaki kayma hızı (ω_2) ve bu kayma hızındaki sapma yani değişim ($\Delta\omega_2$) çıkışını ise stator akımının (ΔI_s) set değerleri oluşturmaktadır. Yukarıda da görüldüğü senkron açısız hız (ω_1), rotor açısız hızı ile kayma açısız hızın toplamını teşkil eder. Yapılan kontrol modeli, iki giriş ve bir çıkış kontrol döngüsünden meydana gelmektedir. Yapılan bulanık kontroldeki amaç, mıknatıslama akımını sabitini bütün işletme şartlarında mümkün olduğu kadar korumaktır. Mıknatıslama akımı kayma frekansı, rotor zaman sabiti, rotor kaçak akı faktörünün non-lineer bir fonksiyonudur.

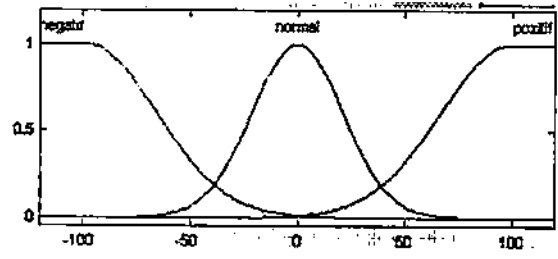
Arzu edilen kontrol çıkış sinyalini elde etmek için bulanık kontrolörde ilk önce aşağıdaki işlemler yapılır.

- Bulanık kontrolörün giriş (ω_2 ve $\Delta\omega_2$) ve çıkış sinyallerinin (ΔI_s) minimum ve maksimum değerleri belirlenir.
- $\omega_2, \Delta\omega_2$ ve ΔI_s bulanık kümeleri ifade eden dilsel değişkenlerle tanımlanır.
- Nitelendirilen $\omega_2, \Delta\omega_2$ ve ΔI_s ye uygun LN (geniş negatif), LP (geniş pozitif), ZE (sıfır) gibi bulanık kümelerle ölçeklendirilir.
- Daha sonra bulanık kümelerin [$\mu(LN), \mu(LP), \mu(ZE)$] üyelik fonksiyonları saptanır.
- Tablo 1'de verilen bulanık kontrol kurallarının uygulanmasıyla bulanık çıkış kümesi saptanır.
- Bulanık çıkış kümesinden arzu edilen gerçek değeri (bulanık olmayan) bulmak için COG (Center of Gravity Control) ağırlıkların ortalaması metodu kullanımıyla bulanık değerleri gerçek değerlere dönüştürülür [5].

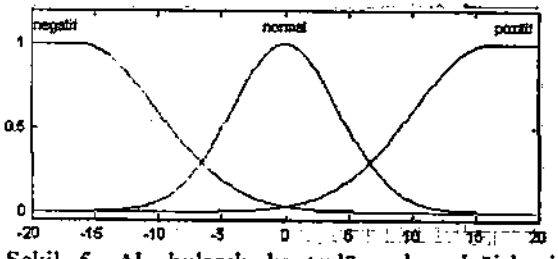
Yukarıda verilen açıklamalar doğrultusunda üç fazlı asenkron motorun hız-akım kontrolünü yapmak için kullanılan bulanık kontrolörün giriş ve çıkış değişkenleri Şekil 3,4 ve 5'de görüldüğü gibi uygun bulanık kümelerle ve üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanır.



Şekil 3. ω_2 bulanık kontrolör giriş değişkeninin bulanık kümelerle ve gaus üyelik fonksiyonu ile gösterilişi



Şekil 4. $\Delta\omega_2$ bulanık kontrolör giriş değişkeninin bulanık kümelerle ve gaus üyelik fonksiyonu ile gösterilişi



Şekil 5. ΔI_s bulanık kontrolör çıkış değişkeninin bulanık kümeler ve gaus üyelik fonksiyonu ile gösterilişi

Asenkron motorun bulanık mantıkla akım-hız kontrolüne ilişkin önceki deneyimlere ve sistem çıkışından elde edilen verilere dayanılarak çıkartılan bulanık mantık kontrol kuralları if-then(Eğer-O halde) kalıbında hazırlanır. Yani bulanık mantık kontrol mekanizması insanogluğun kontrol mekanizması gibi hareket eder. Bu nedenle gerçek zamanda kontrol işlemleri bulanık mantıkla yapılacaksa, sistemin matematiksel modelinin bilinmesine gerek yoktur. Sadece sistemin davranışını bilmek yeterli olabilir[5].

Bulanık mantık kontrolörünün giriş ve çıkış değişkenleri için pozitif, normal ve negatif olmak üzere üç tane dilsel değişkenle kullanılmıştır. Bu dilsel değişkenlerin değer aralıkları Şekil 3.4 ve 5 'de gösterilmiştir. Hazırlanan bulanık mantık kontrol kuralları aşağıda Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bulanık kontrol kuralları

ω_2	$\Delta\omega_2$		
	Negatif	Normal	Pozitif
Negatif	Pozitif	Pozitif	Normal
Normal	Pozitif	Normal	Negatif
Pozitif	Normal	Negatif	Negatif

Tablo 1'den de görüldüğü gibi sistemin giriş ve çıkış değişkenleri arasında bir bulanık ilişki kurulmuştur. Örneğin kurallardan birini metin halinde yazarsak durum daha iyi anlaşılır.

Eğer ω_2 negatif ve $\Delta\omega_2$ negatif ise o halde $\Delta\omega_1$ pozitif olur.

Örnekten de görüldüğü gibi giriş ve çıkış değişkenleri if-then(Eğer-O halde) bağlacı ile birbirleri ile ilişkilendirilmiştir.

4.2 PI(Oransal-Integral) Kontrolör

PI kontrol elemanı ile üç fazlı asenkron motorun akım-hız kontrolünün yapılmasında K_p (oransal) ve K_i (integral) parametre değerleri deneme yoluyla saptanmıştır. Parametreler saptanırken oransal kazancın değerinin artırılması ve azaltılmasının sisteme nasıl etki yapacağı bilinmelidir. K_p oransal katsayısı gereğinden fazla artırılırsa çıkış kontrol sinyalinin yükselme zamanı küçülür fakat sistemin kararlılığı bozulabilir. I(integral) kontrol elemanı sisteme etki ettiğinde sistemin derecesi bir kademe yükselir. Fakat integral kontrol elemanı uygulandığında sürekli hal hatası sıfır olur[6].

Yukarıda ki PI kontrolör elemanı ile ilgili açıklamalar göz önüne alınarak, K_p , K_i parametreleri deneme yanılma yoluyla $K_p=2.5$, $K_i=0.145$ olarak saptanmıştır. PI kontrol elemanı ile değişime uğrayan kontrol işareti

$$u(t) = K_p \omega_2(t) + K_i \int_0^t \omega_2(t) dt \quad (12)$$

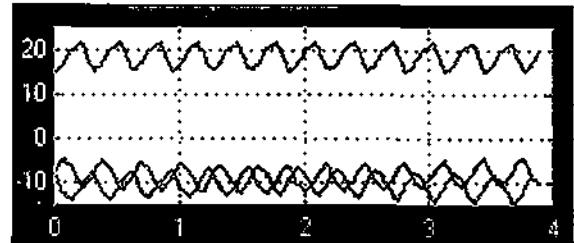
şeklinde ifade edilir.

5. SİMÜLASYON SONUÇLARI

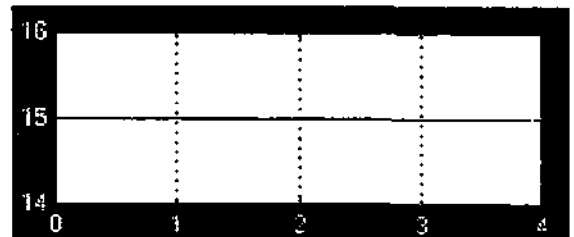
Yapılan çalışmada kullanılan sincap kafesli asenkron makinanın parametreleri aşağıda verilmektedir.

- $P_{ml} = 2.2 \text{ kW}$ (Mil gücü)
- $U_{bat} = 220 \text{ V}$
- $f = 50 \text{ Hz}$
- $r_s = 0.435 \Omega$
- $L_{ls} = 2 \text{ mH}$
- $r_r = 0.816 \Omega$
- $L_{lr} = 2 \text{ mH}$
- $L_m = 69.31 \text{ mH}$
- $J = 0.089 \text{ kg.m}^2$
- $F = 0.05 \text{ Nm}$
- $p = 2$
- $T_{sk} = 3.2 \text{ Nm}$

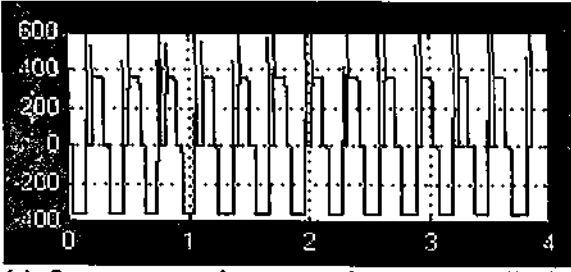
Matlab-Simulink programında yapılan üç fazlı asenkron motorun Bulanık Mantık Kontrolör ve PI kontrolör elemanı ile yapılan akım-hız kontrolünün simülasyon sonuçları grafiksel olarak elde edilmiştir. Elde edilen grafiksel sonuçlar Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmektedir. Verilen grafiklerde akımın birimi amper(A), hız birimi rpm/sn(dev/dk) ve gerilim birimi ise voltur. Şekil 6 ve Şekil 7' deki grafiklerde yatay eksen zamanı(sn) düşey eksen ise akım, gerilim ve hız büyüklüklerini göstermektedir.



(a) Stator sargısı faz akımlarının(I_a, I_b, I_c) dinamik davranışı

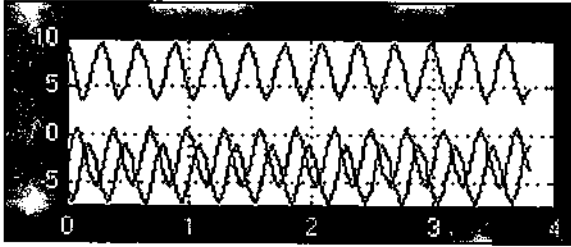


(b) Referans hız(ω_{ref}) ile rotor hızı(ω_r) arasındaki değişim

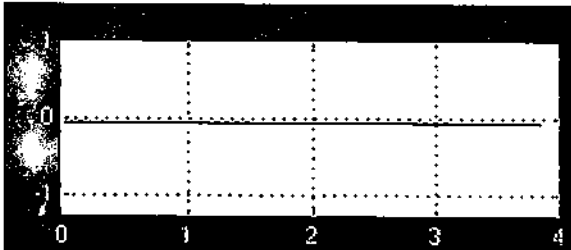


(c) Stator sargı uçlarına uygulanan V_{ab} geriliminin dinamik davranışı

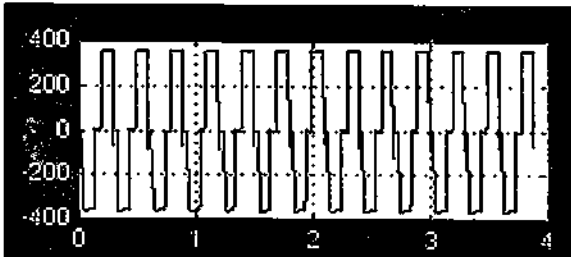
Şekil 6. PI kontrollü durumda motor hızı, akımı ve geriliminin dinamik davranışı



(a) Stator akımının dinamik davranışı



(b) Referans hız (ω_{ref}) ile rotor hızı (ω_r) arasındaki değişimin grafiksel gösterilişi



(c) Stator sargı uçlarına uygulanan V_{ab} geriliminin dinamik davranışı

Şekil 7. Bulanık mantık kontrolörlü durumda motor hızı, akımı ve geriliminin dinamik davranışı

6. SONUÇ

Yapılan çalışmada, üç fazlı asenkron motorun akım-hız büyüklüklerini kontrol etmek amacıyla PI ve Bulanık Mantık kontrolör kullanıldığında yukarıda Şekil 6 ve Şekil 7 ile verilen simülasyon sonuçları elde edilmiştir.

Şekil 6 ve Şekil 7'yi göz önünde bulundurarak PI kontrol elemanı ve Bulanık kontrol elemanı ile yapılan

akım-hız kontrolünün grafiksel yorumu yapıldığında, PI kontrollü durumda stator akımı değeri hemen hemen bulanık kontrollü durumdaki akımın iki katıdır.

Stator sargı uçlarına uygulanan gerilim Bulanık kontrollü durumda sinüsoidal düzgün bir kare dalga oluştururken, PI kontrollü durumda gerilim dalga şeklinde saçaklanmanın olduğu görülmektedir.

Referans hız ile rotor hızı arasındaki değişime bakıldığında, bulanık kontrollü durumda aradaki fark hemen hemen sifira indirilmiş durumda iken PI kontrollü durumda 15 rpm/sn fark bulunmaktadır.

Sonuç olarak bulanık kontrollü durumda, asenkron motor uçlarına uygulanan gerilim dalga şekli daha düzgün ve kararlı, stator akımı PI kontrollü duruma göre daha düşük ve hız değişimi ise bulanık kontrolde yok denecek kadar sifirdir. Buda bize bulanık kontrolör ile asenkron motorun dinamik davranışının ve performansının PI kontrollü duruma göre daha yüksek seviyede olduğunu göster.

7. KAYNAKLAR

- [1] KRAUSE, P.C., 1987, Analysis of Electrical Machinery, Mc Graw-Hill Book Company, Purdue University
- [2] MUN ONG, C., 1998, Dynamic Simulation of Electric Machinery, Prentice Hall PTR, Purdue University
- [3] ZİMMERMANN, H.J., 1985, Fuzzy Sets Theory and Its Applications, Kluwer-Nijhoff
- [4] GÜLGÜN, R., 1995, Güç Elektroniği, Y.T.Ü. Elektrik Elektronik Fakültesi, İstanbul.
- [5] LEE, C.C., 1990, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part I-II", IEEE Trans on Systems Man and Cybernetic, Vol.20, pp. 404-435
- [6] SARIOĞLU, K., 1997, Otomatik Kontrol I-II, Birsen Yayınevi, İstanbul