

Bulanık Mantık Denetleyici ile Doğrudan Moment Denetim Yöntemi Uygulanan Asenkron Motorun Hız Denetim Performansının İncelenmesi

*¹Hakan Açıkgöz ve ²Mustafa Şekkeli

*¹Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis Meslek Yüksekokulu Elektrik Programı Bölümü

²K.Maraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

*Corresponding author: Address: Dept. of Electrical Science, Kilis Vocational High School, Kilis 7 Aralık University, 79000 Kilis, TURKEY. E-mail address: hakanacikgoz@kilis.edu.tr, Phone: +90348 814 26 66

Özet

Bu çalışmada, Doğrudan moment denetim (DMD) yöntemi uygulanan üç fazlı bir asenkron motorun hız denetim çalışması MATLAB/Simulink paket programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu denetim yönteminde, klasik PI denetleyici ve bulanık mantık (BM) denetleyici asenkron motorun hız denetim ünitesine uygulanmıştır. BM denetleyici MATLAB/Simulink-Fuzzy Logic Toolbox yardımıyla tasarlanmıştır. Her iki denetleyici için aynı koşullar altında benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Klasik PI denetleyicisinden ve BM denetleyicisinden elde edilen sonuçlar, değişik hız referanslarını izleme, yük momentini ve parametre değişimleri gibi bozucu etkenlere göre incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre BM denetleyicinin klasik PI denetleyiciye göre daha iyi hız ve moment cevabı verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asenkron Motor, Doğrudan Moment Denetimi, PI Denetleyici, Bulanık Mantık Denetleyici

Abstract

In this study, Simulation studies are realized for speed control of direct torque controlled induction motor via MATLAB/Simulink. In this control technique, the conventional PI controller and fuzzy logic controller has been applied, to speed control unit of induction motor. Fuzzy logic controller is developed using MATLAB/Simulink Fuzzy Logic Toolbox. Simulation studies are implemented for both of the controllers under same conditions. The results obtained from conventional PI controller and fuzzy logic controller are analyzed and compared according to disturbance effects such as tracing different references speed, load torque and parameter variation. According to obtained simulation results, it is observed that fuzzy logic controller provides better speed and torque response than PI controller.

Key words: Induction Motor, Direct Torque Control, PI Controller, Fuzzy Logic Controller

1.Giriş

Asenkron motorlar; yüksek verim, az bakım istemesi, düşük üretim maliyetleri, basit ve dayanıklı yapıları

nedeniyle endüstride en çok kullanılan elektrik motorlardır. Birçok üstünlüğüne rağmen asenkron motorların rotor sargıları, stator sargılarına göre

hareket ettiği için dinamik devre modelleri, doğrusal olmayan, zamanla değişen yüksek dereceli diferansiyel denklemler içeren karmaşık bir yapıya sahiptir. Bundan dolayı asenkron motorların devre modellerinin çözümü zor ve karmaşıktır. Yakın geçmişe kadar genel olarak endüstride, hız denetimlerinin kolayca yapılabilmesi nedeniyle serbest uyarımlı doğru akım motorları tercih edilmiştir. Fakat serbest uyarımlı doğru akım motorlarının komütatör ve fırça yapısı, motorun hem belirli aralıklarla bakım gereksinimine hem de fırça kollektör teması nedeniyle her ortamda kullanılmamasına neden olmaktadır [1-3].

Son yıllarda, mikroişlemciler ve güç elektroniği devre elemanlarındaki hızlı ilerlemeler, asenkron motorların daha kolay denetlenmelerini sağlamıştır. Yapılan çalışmalar daha geliştirilerek asenkron motorların serbest uyarımlı doğru akım motorları gibi denetlenebileceği vektör denetim yöntemi ortaya çıkmıştır. Vektör denetimi ilk olarak 1971 yılında Blashcke [4] tarafından ileri sürülmüştür. Asenkron motorlarda moment ve akı birbirine bağımlıdır. Momentin ve akının birbirinden bağımsız olarak denetlenebileceği birbirine dik iki akım bileşenine ihtiyaç vardır. Vektör denetim yönteminin amacı, moment ve akı arasındaki kenetlenme etkisini ortadan kaldırarak moment ve akının birbirinden bağımsız olarak denetlenmesidir.

1986 yılında Takahashi [5] tarafından önerilen (DMD) yönteminde ise, motorun gerçek akı ve momentinin, referans akı ve moment etrafındaki histerezis bant içerisinde birbirinden bağımsız olarak denetleyerek bir anahtarlama dizisinin, eviricideki güç anahtarlarına uygulanmasına dayanır.

DMD yönetimi basit yapılı, dayanıklı ve yüksek dinamik cevaba sahip bir yöntemdir. DMD yöntemi ortaya çıktığından beri, bu yöntemin performansını arttırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan biri de BM denetleyici tekniğidir. 1965 yılında Lotfi A.Zadeh tarafından ileri sürülen bu teknik birçok alanda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. BM denetleyici tasarımı, sistemin matematiksel modeline gereksinim duymadığı için uzman kişinin bilgi ve becerilerinden gerçekleştirilebilir [6].

Bu çalışmada DMD yöntemi uygulanan bir asenkron motorun BM denetleyici ile hız denetim performansı incelenmektedir. Asenkron motorun hız denetim ünitesine BM denetleyici ve klasik PI denetleyici uygulanmış ve denetim performansları karşılaştırılmıştır. İkinci bölümde DMD yönteminin genel özellikleri ve benzetim çalışması verilmiştir. Üçüncü bölümde ise BM denetleyiciden ve klasik PI denetleyiciden elde edilen benzetim çalışması sonuçları verilmiştir. Dördüncü bölümde, simülasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar değerlendirilmektedir.

2. Doğrudan Moment Denetim Yöntemi

DMD yönteminin tasarımı basit ve pratiktir. Bu yöntemde stator akı vektörünün, uygun gerilim vektörleri seçilerek istenilen hızda hareket ettirilmesi amaçlanmaktadır. Stator vektör açısının doğru bir şekilde belirlenmesi bu yöntemin yüksek başarımla gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. DMD yönetimi uygulanan asenkron motorun moment denklemi aşağıda verilmiştir.

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{L_s} \frac{L_m}{L_r} |\overline{\psi}_r| |\overline{\psi}_s| \sin \alpha \quad (1)$$

Burada, α rotor ve stator akı vektörleri arasındaki açıyı, ψ_r ve ψ_s rotor ve stator akısını, P çift kutu sayısını, L_s , L_r , L_m stator, rotor ve ortak endüstanda ifade etmektedir.

Denklem 1'de görüldüğü gibi asenkron motor tarafından üretilen momentin değeri, stator ve rotor akı vektörleri arasındaki açıya, stator ve rotor akı değerlerine bağlıdır. Denklem 2'de asenkron motorun stator gerilimi verilmiştir.

$$\overline{V}_s = \frac{d\overline{\psi}_s}{dt} + \overline{i}_s R_s \quad (2)$$

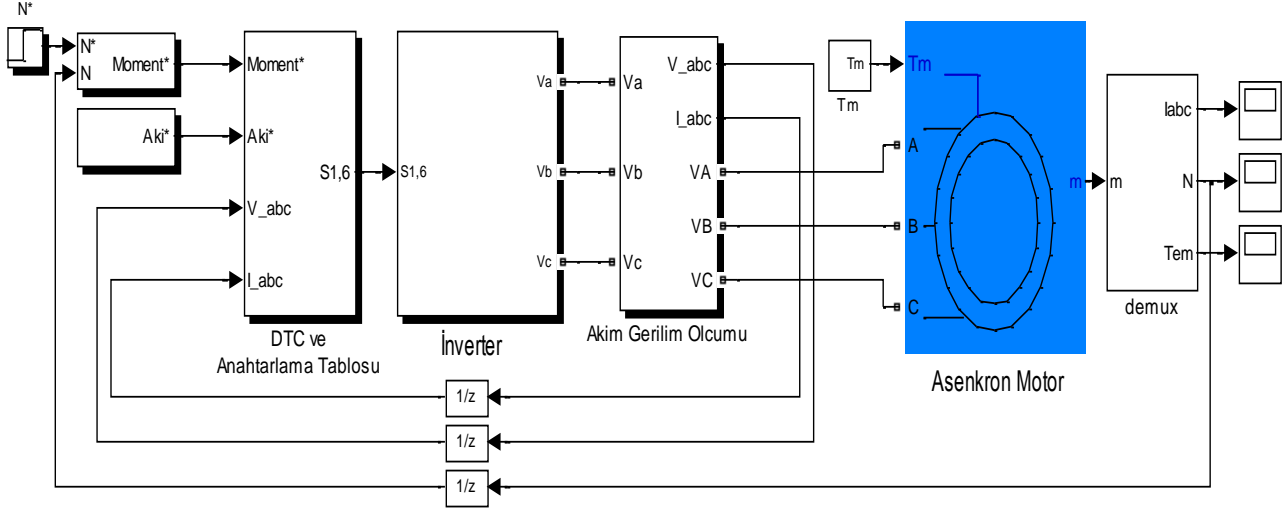
$$\overline{\psi}_s = \int (\overline{V}_s - R_s \overline{I}_s) \quad (3)$$

Stator sargı direnci üzerindeki omik gerilim düşümü ihmal edilirse bu durumda denklem 4 elde edilir.

$$\overline{\psi}_s = \int \overline{V}_s dt \quad (4)$$

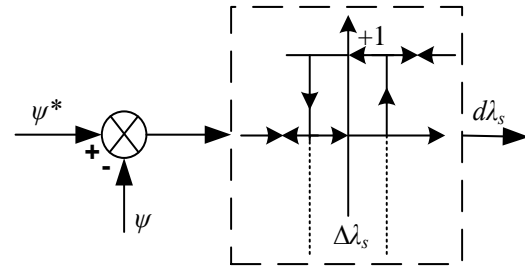
Denklem 4'de görüldüğü gibi stator akı vektörü, stator geriliminin integralidir ve bu gerilim vektörünün şiddeti ve yönü doğrultusunda hareket eder.

Bu bölümde Doğrudan moment denetim yönteminin gerçekleştirilebilmesi için MATLAB/Simulink blokları ile hazırlanan benzetim modeli hazırlanmıştır. Gerçekleştirilen benzetim modeli Şekil 1'de gösterilmiştir.

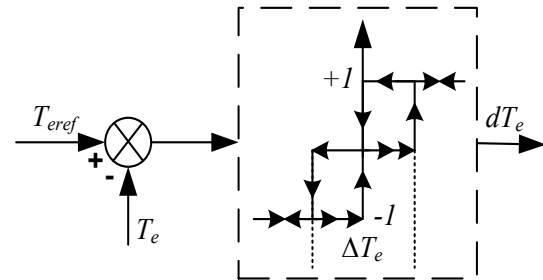


Şekil 1. Doğrudan moment denetimli asenkron motorun MATLAB/Simulink modeli

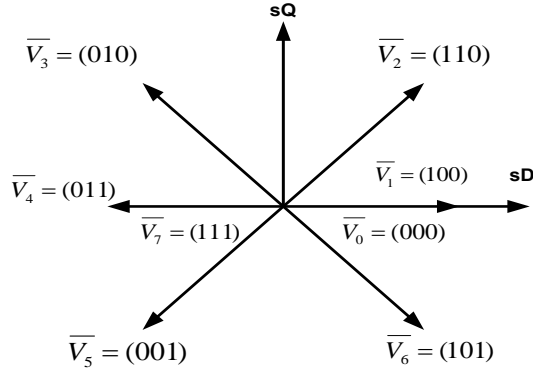
Şekilden de görüldüğü gibi benzetim modeli, hız denetleyici, anahtarlama tablosu, akım-gerilim ölçümleri, evirici ve asenkron motor modelinden oluşmaktadır. Asenkron motorun modellenmesinde d-q modeli kullanılmıştır. DMD yönteminde stator akımı, gerilimi ve stator direnci yardımı sayesinde stator akısı ve moment tahmini yapılarak, referans akı ve moment değerleriyle karşılaştırılır. Elde edilen bu akı ve moment hataları histerezis bloklarına uygulanır. Şekil 2 ve 3'te akı ve moment için kullanılan histerezis karşılaştırıcılar verilmiştir. Bu histerezis bloklarında akı ve moment bant genişlikleri tanımlanır. Bu bant genişlikleri ile akı ve momentin hesaplanmış değerlerinin, referans değerlerinden sapma miktarı belirlenir. Histerezis bloklarının çıkış bilgisi ve stator akısının konum bilgisi sayesinde, tablo 1'de verilen anahtarlama tablosundan en uygun gerilim vektörleri seçilerek eviriciye uygulanır. Bu şekilde akı ve moment denetimi yapılmış olur. Şekil 4'te gerilim vektörleri verilmiştir.



Şekil 2. İki seviyeli akı histerezis bant denetiminin blok diyagramı



Şekil 3. Üç seviyeli moment histerezis bant denetiminin blok diyagramı



Şekil 4. Gerilim vektörleri

Tablo 1. Optimum Anahtarlama Tablosu

$d\psi_s$	dT_e	Sect.1	Sect.2	Sect.3	Sect.4	Sect.5	Sect.6
1	0	V2 (110)	V3 (010)	V4 (011)	V5 (001)	V6 (101)	V1 (100)
1	0	V7 (111)	V0 (000)	V7 (111)	V0 (000)	V7 (111)	V0 (000)
-1	0	V6 (101)	V1 (100)	V2 (110)	V3 (010)	V4 (011)	V5 (001)
1	0	V3 (010)	V4 (011)	V5 (001)	V6 (101)	V1 (100)	V2 (110)
0	0	V0 (000)	V7 (111)	V0 (000)	V7 (111)	V0 (000)	V7 (111)
-1	0	V5 (001)	V6 (101)	V1 (100)	V2 (110)	V3 (010)	V4 (011)

Akıda bir artma gerekli ise $d\psi_s=1$, azalma gerekiyorsa $d\psi_s=0$ kabul edilir. İki seviyeli akı histeresis karşılaştırıcısının çıkışı $d\psi_s$ aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$1, \quad |\bar{\psi}_s| \leq \psi_{sref} - \Delta\psi_s$$

$$d\psi_s \Rightarrow$$

$$0, \quad |\bar{\psi}_s| \geq \psi_{sref} + \Delta\psi_s$$

Momentte bir artma gerekli ise $dT_e=1$, azalma gerekli ise $dT_e=-1$, bir değişiklik gerekmiyorsa $dT_e=0$

kabul edilir. Üç seviyeli moment histeresis karşılaştırıcısının çıkışı dT_e saat yönünün tersi veya pozitif dönüş yönü için,

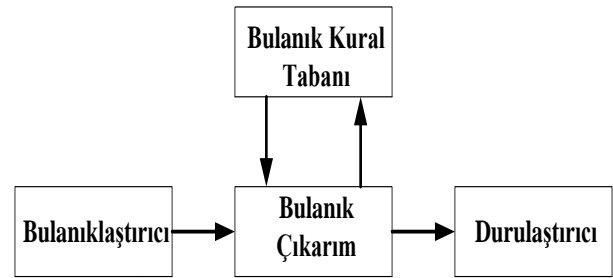
$$d\psi_s \Rightarrow \begin{cases} 1, & |T_e| \leq |T_{eref}| - \Delta T_e \\ 0, & |T_e| \geq |T_{eref}| + \Delta T_e \end{cases} \quad (6)$$

Saat yönü veya negatif dönüş yönü için, aşağıdaki şekilde tanımlanır [5-12].

$$d\psi_s \Rightarrow \begin{cases} -1, & |T_e| \leq |T_{eref}| + \Delta T_e \\ 0, & |T_e| \geq |T_{eref}| - \Delta T_e \end{cases} \quad (7)$$

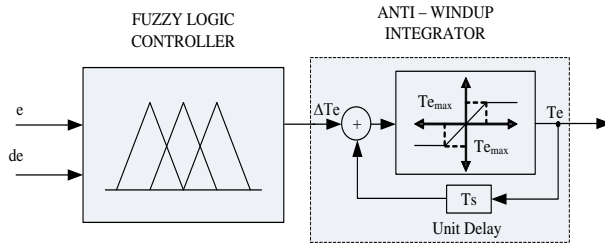
2.1 Bulanık Mantık Denetleyici

BM denetleyici, dinamik bir sistemin matematiksel modeli yerine, dilsel değişkenler içeren, bulanık kurullarla tanımlanan ve uzman deneyimiyle oluşan bir sistemdir. BM denetleyici bulanıklaştırıcı, bulanık kural tabanı, durulattırıcı ve bulanık çıkarımdan oluşan dört ana birimden oluşur.

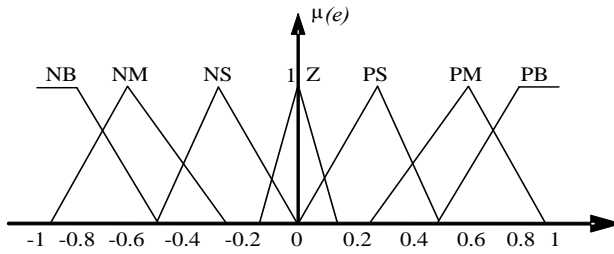


Şekil 5. BM denetleyici temel yapısı

Girişler üyelik fonksiyonlarıyla değerlendirilerek bulanıklaştırılır. Seçilen çıkarım yöntemine göre ve kural tabanından faydalanılarak çıkarım yapılır. Elde edilen sonuçlar durulattırılarak klasik sayı haline dönüştürülür [13].



Şekil 6. Bulanık mantık denetim sistemi



Şekil 7. Girişler ve çıkış için üyelik fonksiyonları

Tablo 2. Bulanık mantık denetim kuralları

de e	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z
NM	NB	NB	NM	NM	NS	Z	PS
NS	NB	NM	NS	NS	Z	PS	PM
Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
PS	NM	NS	Z	PS	PS	PM	PB
PM	NS	Z	PS	PM	PM	PB	PB
PB	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB

Şekil 6'da gösterilen BM denetim sisteminin çıkışına anti-windup integrator bağlanarak sürekli durum hatasının oluşması engellenir. Bu çalışmada NS: Negatif Küçük, NM: Negatif Orta, NB: Negatif Büyük, Z: Sıfır, PS: Pozitif Küçük, PM: Pozitif Orta, PB: Pozitif Büyük olmak üzere 7 sözel değişken kullanılmıştır ve şekil 7'de verilmiştir. Bu sözel değişkenler 7×7'lik toplam 49 kural ile tanımlanmış ve tablo 2'de gösterilmiştir.

3. Benzetim Çalışması Sonuçları

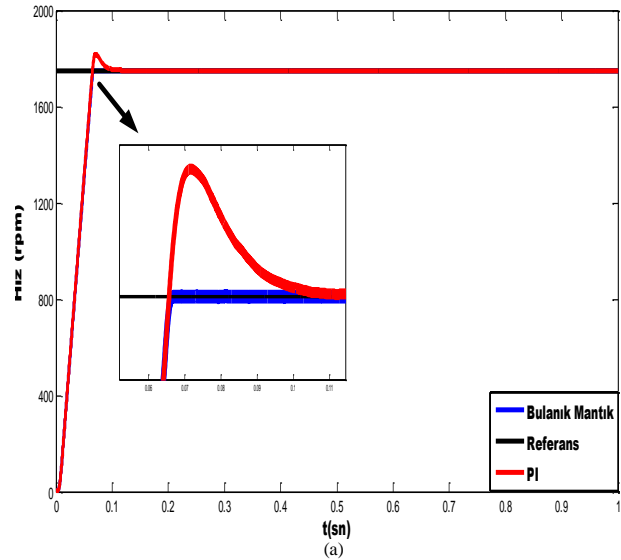
DMD yöntemi uygulanan asenkron motorun hız denetim ünitesine BM denetleyici ve klasik PI denetleyici uygulanmıştır ve MATLAB/simulink paket programı yardımıyla oluşturulmuştur. Asenkron

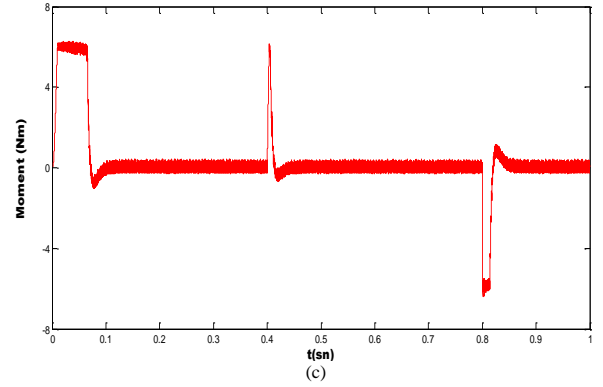
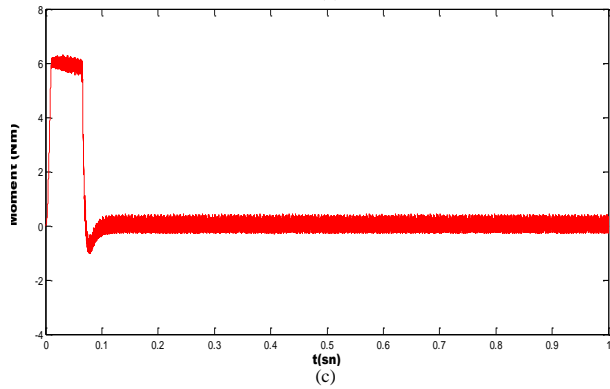
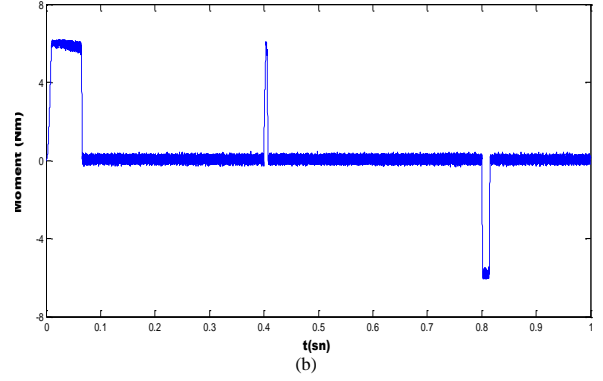
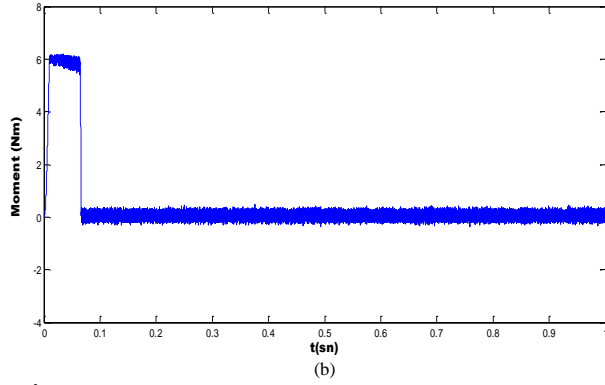
motorun simülasyonda kullanılan parametreleri tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Asenkron Motorun Parametreleri

Parametre	Değer
Stator Direnci (R_s)	8.231Ω
Rotor Direnci (R_r)	4.49Ω
Çift Kutup Sayısı (P)	2
Stator Endüktansı (L_s)	0.599H
Rotor Endüktansı (L_r)	0.599H
Eylemsizlik Momenti (J)	0.0019kg-m ²
Ortak Endüktansı (L_m)	0.5787H
Sürtünme Faktörü (B)	0.000263

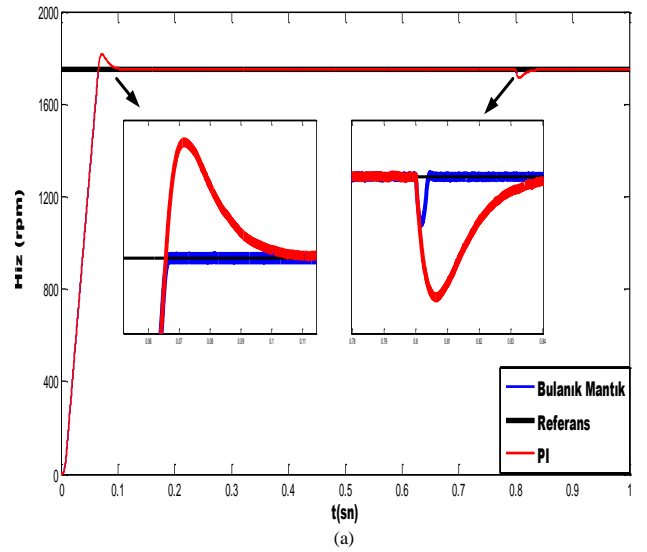
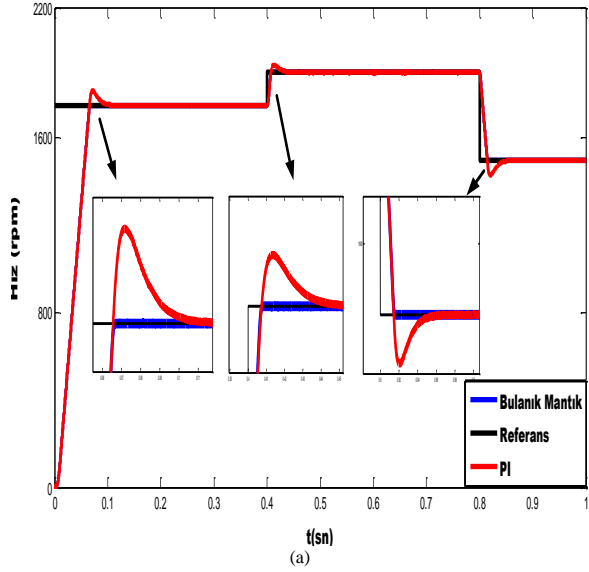
Bu kısımda doğrudan moment denetim yöntemi uygulanan asenkron motorun hız denetim başarımı incelenmiştir. Şekil 8 (a)'da motor yüksüz durumda iken motor hızının sabit 1750 d/dk'lık referans hızı izleme başarımı gösterilmiştir. BM denetleyici aşma yapmadan referans hızı başarılı bir şekilde izlerken PI denetleyici yaklaşık olarak %5'lik bir aşma ile referans hız izlemektedir. Her iki denetleyicide de motor hızı, arzu edilen hızı sürekli durum hatası olmaksızın başarılı bir şekilde izlemektedir. Şekil 8(b) ve 8(c)'de ise BM denetleyiciden ve PI denetleyiciden elde edilen moment değişimi görülmektedir. Moment grafiklerine dikkat edilirse, motorun sadece referans hızı ulaşma süresi içinde yüksek değerinde moment ürettiği bunun dışında sürekli durumda sadece kayıpları karşılayacak kadar bir moment ürettiği görülmektedir.

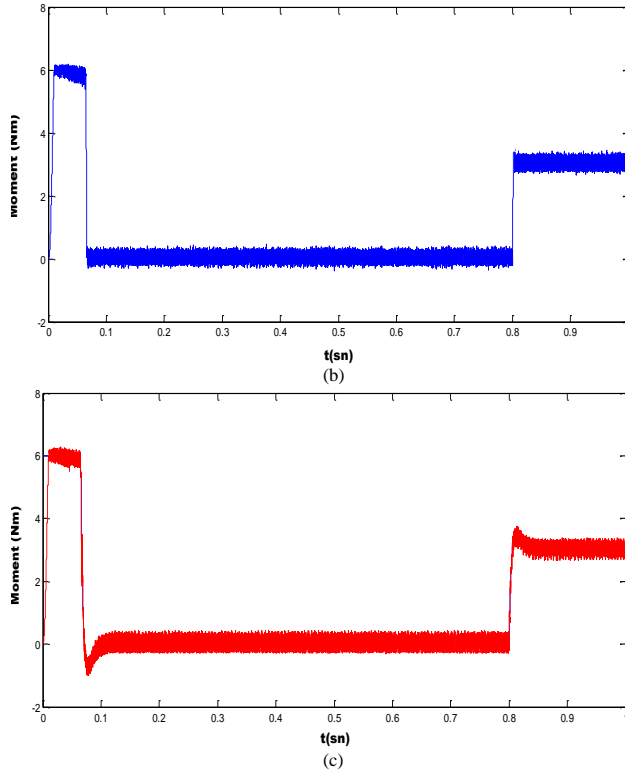




Şekil 8. Doğrudan moment denetimi için 1750 d/dk basamak hızda ve yüksüz durumda elde edilen sonuçlar a) Hız b) BM denetleyici ile elde edilen moment cevabı c) PI denetleyici ile elde edilen moment cevabı

Şekil 9. Doğrudan moment denetimi için sabit basamak hızlarda ve yüksüz durumda elde edilen sonuçlar a) Hız b) BM denetleyici ile elde edilen moment cevabı c) PI denetleyici ile elde edilen moment cevabı





Şekil 10. Doğrudan moment denetimi için 300 rad/sn sabit hızda ve $t=0,8$ sn'den itibaren 3 N.m yüklü durumda elde edilen sonuçlar a) Hız b) BM denetleyici ile elde edilen moment cevabı c) PI denetleyici ile elde edilen moment cevabı

Şekil 9'da motor başlangıçtan itibaren yüksüz durumda iken motor hızının 1750/1900/1500 d/dk'lık değişik sabit referans hızları izleme başarımı gösterilmiştir. Şekil 8(a)'da motor hızı ve referans hızın değişimleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi klasik PI denetleyici aşma yaparken BM denetleyici bütün hızları aşma yapmadan başarılı bir şekilde izlemektedir. Şekil 8(b) ve 8(c)'de ise moment değişimleri görülmektedir. Yine şekilden de görüldüğü gibi motor referans hızlara gelindiğinde çok hızlı cevap vererek sadece kayıpları karşılayacak kadar moment üretmektedir.

Şekil 10'da Motor hız 1750 d/dk sabit hızlıdır. Motor başlangıçta yüksüz durumdadır. $t=0.8$ sn'de motora 3 N.m'lik yük bindirilmektedir. Yük bindirilinceye kadar motor nominal devrinde dönmekte, motor boşta çalıştığından sıfıra yakın değerde bir moment üreterek şebekeden sadece boşta çalışmayı karşılayacak değerde bir akım çekmektedir. Şekil 10(a)'da motora yük bindirildiği andan itibaren motor hızının PI

denetleyici ile yaklaşık olarak %3 düştüğü, BM denetleyici ile ise %0.6 düştüğü ve hızlı bir şekilde toparlanarak referans hızı başarılı bir şekilde izlediği görülmektedir. Şekil 10(b) ve 10(c)'de ise klasik PI ve BM denetleyicisinden elde edilen moment değişimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi motor yük bindirilmeden sadece kayıpları karşılamak için moment üretmektedir. Yük bindirildikten sonra yükü ve kayıpları karşılayacak bir moment üretmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada doğrudan moment denetim yöntemi uygulanan bir asenkron motorun denetimi MATLAB/Simulink paket programında hazırlanmıştır. Asenkron motorun hız denetim ünitesine klasik PI ve BM denetleyicisi uygulanmıştır. Her iki denetleyiciden elde edilen hız ve moment cevapları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre BM denetleyiciden elde edilen hız cevabının yüksel zamanı, yerleşme zamanı ve aşma bakımından PI denetleyiciden daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca BM denetleyiciden elde edilen moment dalga şeklinin daha düzgün ve dalgalanma bandı daha düşüktür.

5. Kaynaklar

- [1] Sen, P. C., 1990. Electric Motor Drives and Control Past Present, and Future, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.37, No.6, 562-575.
- [2] Bose, B. K., 2002. Modern Power Electronics and AC Drivers, Prentice Hall, New Jersey.
- [3] Ho, E.Y.Y. and Sen, P. C., 1988. Decoupling Control of Induction Motor Driver, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.35, No.2, 253-262.
- [4] Blaschke, F., 1971. A New Method for the Structural Decoupling of AC Induction Machines, In Conf. Rec. IFAC, Dusseldorf, Germany, Oct. pp. 1-15.
- [5] Takahashi, I. and Noguchi, T., 1986. A New Quick-Response and High Efficiency Control Strategy of an Induction Motor, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.IA-22, No.5, 820-827.
- [6] L. A. Zadeh, "fuzzy sets," Inform, Control, Vol.8, 1965, pp.338-353
- [7] T. G. Habetler, F. Profumo, M. Pastorelli, and L. M. Tolbert, "Direct Torque Control of Induction

Machines using Space Vector Modulation,” in IEEE Transactions on Industry Applications. Volume: 28, Issue: 5, 1992, pp. 1045 – 1053.

[8] R. Toufouti and H. Benalla, “Direct torque control for induction motor using fuzzy logic,” in ACSE Journal. Volume: 6, Issue: 2, 2006. pp.19-26.

[9] Bakan, A.F., 2002. Asenkron Motorda Doğrudan Moment Kontrolünün İncelenmesi ve Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[10] Gündoğdu A., “Asenkron Motorlarda Moment Dalgalarının Sinirsel Bulanık Ağlar ile Azaltılması” Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Elazığ, 2012

[11] Açıkgöz H., “Vektör Denetim Yöntemi ve Doğrudan Moment Denetim Yöntemi Uygulanan bir Asenkron Motorda Hız Denetim Performansının Karşılaştırılması”, Elektrik Eğitimi Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2008.

[12] M. Baishan, L. Haihua, Z. Jinping, “Study of Fuzzy Control in Direct Torque Control System,” International Conference on Artificial Intelligence, 2009

[13] Ross, T. J., 1995. Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGraw-Hill Inc., ISBN 0-07-053917-0.