

Doğrudan Moment Denetimi Yöntemiyle Denetlenen Asenkron Motor ve Sabit Mıknatıslı Senkron Motorun Performanslarının Karşılaştırılması

Yılmaz KORKMAZ, Fatih KORKMAZ

ÖZET

Endüstride; elektrik motorları ile sürülen yüklerin bu motorlardan beklentileri, motorların ve yüklerin performanslarının uyumlu olmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, yüke uygunluk açısından aynı yöntem ile denetlenen asenkron motor ve sabit mıknatıslı senkron motor'un performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bunun için, asenkron motor ve sabit mıknatıslı senkron motor'un doğrudan moment denetimi yöntemiyle denetimi; MATLAB ortamında simüle edilmiştir. Bu simülasyon sonucunda, motorların yüksüz- yüklü ve sabit - değişken hız koşullarında, referans değerlere ulaşma süreleri ile referans değerleri takip etme başarıları elde edilmiştir. Değişken yük ve hız uygulamalarında, referans değerlere ulaşma ve takip etme süreleri karşılaştırılmış ve sabit mıknatıslı senkron motorun referans değerlere ulaşma ve takip etmesinin asenkron motora göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Asenkron motorun denetimi, Sabit mıknatıslı senkron motorun denetimi, Doğrudan moment denetimi, DTC

Comparing Performances of Direct Torque Controlled Asynchronous Motor and Permanent Magnet Synchronous Motor

ABSTRACT

In industry, the loads driven by electrical motors require that the performances of motors and loads are compatible. In this study, a comparison of the performances of asynchronous motor and permanent magnet synchronous motor controlled by the same method which is compatible with the load is aimed. In order to do that the control of asynchronous motor and permanent magnet motor by direct torque method is simulated in MATLAB environment. In this simulation, the success of the accession times to the reference values and tracing capability of reference values of motors with constant and variable speed and with/without load conditions are obtained. The accession times to and the tracing times of the reference values under variable load and speed applications are compared to each other. The accession to and the tracing capability of the reference values of permanent magnet motor has been found better in comparison with that of asynchronous motor.

Key Words : Asynchronous motor control, Permanent magnet synchronous motor control, Direct torque control, DTC

1. GİRİŞ

Değişken hız-moment ve servo uygulamalarında, yaygın olarak kullanılan doğru akım (DA) motorlarının; pahalı olmaları, fırça ve kollektörlerinin periyodik olarak bakım gerektirmeleri gibi nedenlerden dolayı endüstriyel uygulamalarda kullanım alanları giderek azalmakta ve bu motorların yerine alabilecek yeni motor çeşitleri araştırılmaktadır. Bu motorlardan birisi de sabit mıknatıslı senkron motor (SBSM)lardır. SBSM'ların

kollektör ve fırça düzeneği bulunmadığından, fazla bakım gerektirmeyen motorlar olarak bilinmektedir.

Son yıllarda yarıiletken teknolojisinde meydana gelen gelişmeler ve bu malzemelerin sağladığı üstünlükler, elektrik motorlarının kontrollerini kolaylaştırmıştır. Bu gelişmeler ile asenkron motorların (ASM) oldukça karmaşık olan denetim yöntemleri de geliştirilerek; yüksek performanslı sürücüler ile hız ve moment kontrolleri mümkün olmuştur (1).

Yüksek performanslı motor sürücülerini genel olarak vektör kontrol teknikleri ile gerçekleştirilmektedir. Vektör kontrol tekniğinin amacı, stator akımının iki bileşenini (hava aralığı akısı ve akım bileşenleri) birbirinden bağımsız hale getirerek, motorların moment karakteristiğini doğrusallaştırmak suretiyle moment ve akıyı bağımsız olarak kontrol etme olanağı sağlamaktır.

Makale 22.01.2008 tarihinde gelmiş,31.10.2008 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

Y. KORKMAZ, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü 06500 Teknikokullar, ANKARA

e-posta : ykorkmaz@gazi.edu.tr

F. KORKMAZ, Kızılcahamam Endüstri Meslek Lisesi, Kızılcahamam, ANKARA

e-posta : fthkorkmaz@yahoo.com

Digital Object Identifier 10.2339/2008.11.4. 293-298

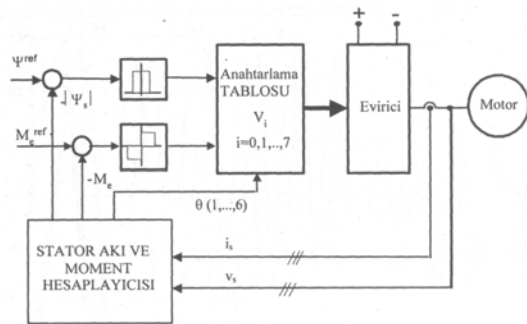
tır(2). Vektör kontrol tekniklerinin başarısı akı vektörünün pozisyonunun tam olarak belirlenebilmesine bağlıdır. Bu zorunluluk vektör kontrol tekniklerinin uygulamasında zorluklar ve performansında kısıtlamalar meydana getirmektedir. Bu nedenle, doğrudan moment kontrolü “Direct Torque Control (DTC)” önerilmiştir. Bu teknik ile akı vektörünün pozisyonunun tam olarak bilinmesi zorunluluğu ortadan kaldırılmıştır.

Elektrik motorlarının kullanılacağı endüstriyel bir uygulama gerçekleştirilmeden önce hangi çeşit motorun hangi çeşit denetim tekniğiyle kullanılacağı belirlenmesi uygulamanın başarısı açısından oldukça önem taşımaktadır. Gerçekleştirilecek uygulama özelliklerinin yanısıra, maliyet, fiziksel şartlar ve benzer uygulamalar ya da yapılan araştırmalarda elde edilen sonuçlar göz önüne alınmalıdır.

Bu çalışmada; ASM’un ve SMSM’un DTC yöntemi ile denetiminin, simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Her iki motorda aynı kontrol yapısı kullanılarak performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlarla her iki motor için verilen referans hız ve moment değerlerini izleme başarısı ve simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir.

2. DOĞRUDAN MOMENT DENETİMİ (DTC)

Uygun stator gerilim vektörlerinin seçimi ile stator akısının ve momentin doğrudan kontrol edilmesi, bu yöntemin doğrudan moment kontrolü olarak adlandırılmasına sebep olmuştur. DTC yöntemin temeli, stator akısı ile elektromanyetik momentin eşzamanlı olarak denetlenmesine dayanır(3). Klasik vektör kontrol denetimi yöntemiyle karşılaştırıldığında DTC nin üstünlükleri; daha basit denetim yapısı, daha hızlı tepki performansı ve parametre değişimine karşı hassasiyetinin daha az olması olarak sayılabilir(4). Şekil 1’de doğrudan moment denetimine ait prensip şeması görülmektedir.



Şekil 1. Doğrudan moment denetimine ait prensip şeması

a) Akı ve Moment Hesaplayıcı

Motorun ölçülebilen parametreleri ile stator akısı ve momentini hesaplanabilmektedir. Stator gerilimleri ve stator akıları arasındaki ilişkileri gösteren ifadeler aşağıda verilmiştir(5). Stator gerilimleri ve akıları;

$$v_{s\alpha} = R_s i_{s\alpha} + \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt} \quad (1)$$

$$\psi_{s\alpha} = \int (v_{s\alpha} - R_s i_{s\alpha}) \cdot dt \quad (2)$$

$$v_{s\beta} = R_s i_{s\beta} + \frac{d\psi_{s\beta}}{dt} \quad (3)$$

$$\psi_{s\beta} = \int (v_{s\beta} - R_s i_{s\beta}) \cdot dt \quad (4)$$

$$|\psi_s| = \sqrt{\psi_{s\alpha}^2 + \psi_{s\beta}^2} \quad (5)$$

formülleri ile hesaplanabilir. Formüllerde;

$v_{s\alpha}, v_{s\beta}$ Stator gerilimlerinin α, β bileşenlerini,

$\psi_{s\alpha}, \psi_{s\beta}$ Stator akılarının α, β bileşenlerini,

$i_{s\alpha}, i_{s\beta}$ Stator akımlarının α, β bileşenlerini,

R_s Stator omik direncini

ifade etmektedir.

Moment;

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} (\psi_{s\alpha} i_{s\beta} - \psi_{s\beta} i_{s\alpha}) \quad (6)$$

formülü ile hesaplanabilir. Burada P motor kutup sayısıdır.

b) Temel DTC Sürücü Sistemi

DTC sürücü sisteminde, stator akı hatasının belirlenen histeresiz bant içerisinde kalmasını sağlayacak invertör anahtarlama durumunun seçilmesi sağlanır. Akı denetleyici çıkışı $d\psi_s$, moment denetleyici çıkışı dt_e ve stator akı vektörünün bulunduğu bölgeye göre, motora uygulanması gereken gerilim vektörü Çizelge 1’de görülen tablo kullanılarak belirlenir (6).

Histeresiz bantların genişliklerinin seçimi de oldukça önemlidir. Bant genişliği çok dar seçilirse, kontrol kaybolur ve stator akısı bantın dışına çıkar. Sıfır vektörünün süresi moment dalgalanmalarında doğrudan etkilidir (7).

Çizelge 1. Optimum anahtarlama vektörünün seçimi

$d\psi_s$	dt_e	Bölge 1	Bölge 2	Bölge 3	Bölge 4	Bölge 5	Bölge 6
1	$\begin{matrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \bar{v}_2 \\ \bar{v}_7 \\ \bar{v}_6 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \bar{v}_3 \\ \bar{v}_0 \\ \bar{v}_1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \bar{v}_4 \\ \bar{v}_7 \\ \bar{v}_2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \bar{v}_5 \\ \bar{v}_0 \\ \bar{v}_3 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \bar{v}_6 \\ \bar{v}_7 \\ \bar{v}_4 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \bar{v}_1 \\ \bar{v}_0 \\ \bar{v}_5 \end{matrix}$
-1	$\begin{matrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \bar{v}_3 \\ \bar{v}_0 \\ \bar{v}_5 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \bar{v}_4 \\ \bar{v}_7 \\ \bar{v}_6 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \bar{v}_5 \\ \bar{v}_0 \\ \bar{v}_1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \bar{v}_6 \\ \bar{v}_7 \\ \bar{v}_2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \bar{v}_1 \\ \bar{v}_0 \\ \bar{v}_3 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \bar{v}_2 \\ \bar{v}_7 \\ \bar{v}_4 \end{matrix}$

3. ASM VE SMSM' UN DTC SİMÜLASYONU

Bu simülasyon çalışması Matlab/Simulink programı ile gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu simülasyonda, örnekleme aralığı "variable step" olarak

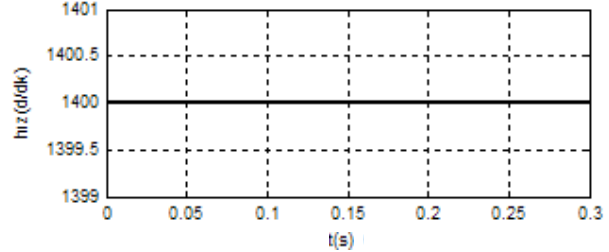
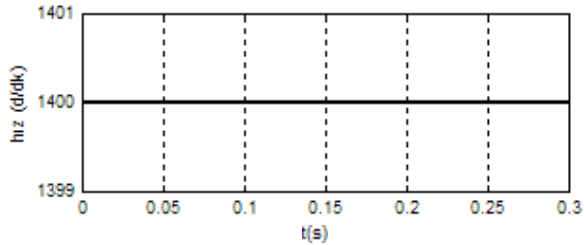
Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 2 (a) ve (b) de görülen hız değişim eğrileri incelendiğinde iki motorunda yaklaşık 0,05 s' de referans değere ulaşarak yaklaşık sıfır hata ile takip ettiği görülmektedir.

Çizelge 2. Simülasyonda kullanılan motorların teknik özellikleri

Sabit Mıknatıslı Senkron Motor		Asenkron Motor	
Çift kutup sayısı	4	Çift kutup sayısı	2
Stator direnci	0,85 Ω	Stator direnci	1,405 Ω /faz
Gerilim	300Vdc	Gerilim	400V
Hız	2000 d/dk	Hız	1430 d/dk
d-eksen indüktansı	5,25 mH	Rotor direnci	1,395 Ω /faz
q-eksen indüktansı	5,25 mH	Frekans	50 Hz
Atalet sabiti (J)	0,0006329 Nms ²	Atalet sabiti (J)	0,0131 Nms ²
Moment	8 Nm	Güç	4000 W

seçilmiş solver olarak ise "ode45" kullanılmıştır. Simülasyonda kullanılan motor parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir.

İkinci adımda ise motorlar değişken hız uygulamasında test edilmişlerdir. Simülasyon 500 d/d ile başlatılmış 0,15s'de hız 1500 d/d ya çıkarılmıştır.



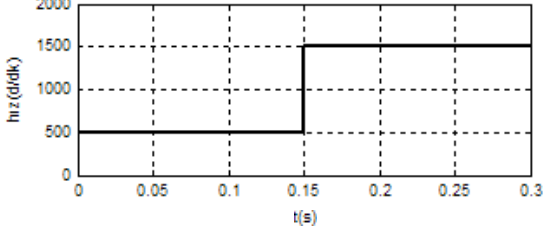
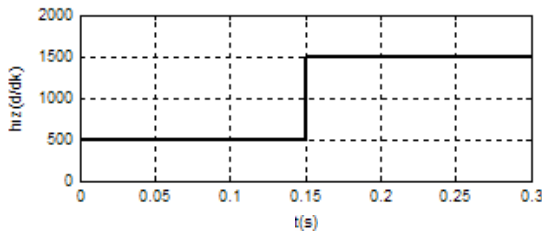
Şekil 2. a) ASM hız değişim eğrisi

b) SMSM hız değişim eğrisi

Başlangıçta her iki motor 1400 d/d sabit hızda yüksüz olarak çalıştırılmıştır. Buna ilişkin çıkış eğrileri

Bu çalışmaya ilişkin eğriler Şekil 3'de verilmiştir.

Şekil 3 (a) ve (b)'de görülen hız değişim eğrileri



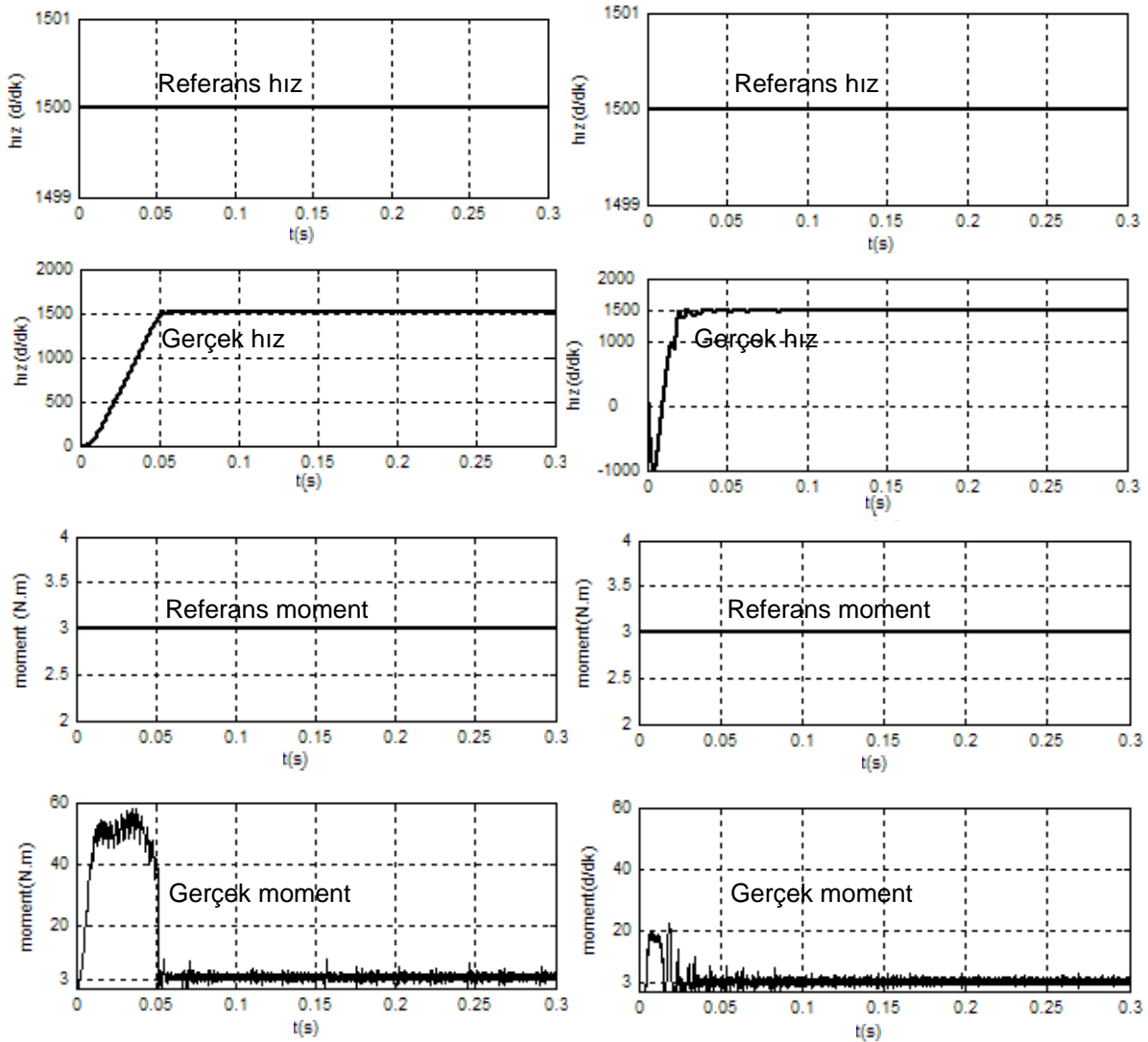
Şekil 3. a) ASM hız değişim eğrisi

b) SMSM hız değişim eğrisi

incelendiğinde iki motorun da verilen referans değeri başarı ile takip ettiği görülmektedir. Başlangıçta ASM, SMSM'a göre daha hızlı referans değere ulaşırken, çalışma esnasında meydana getirilen hız artışında ise SMSM'un performansının daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.

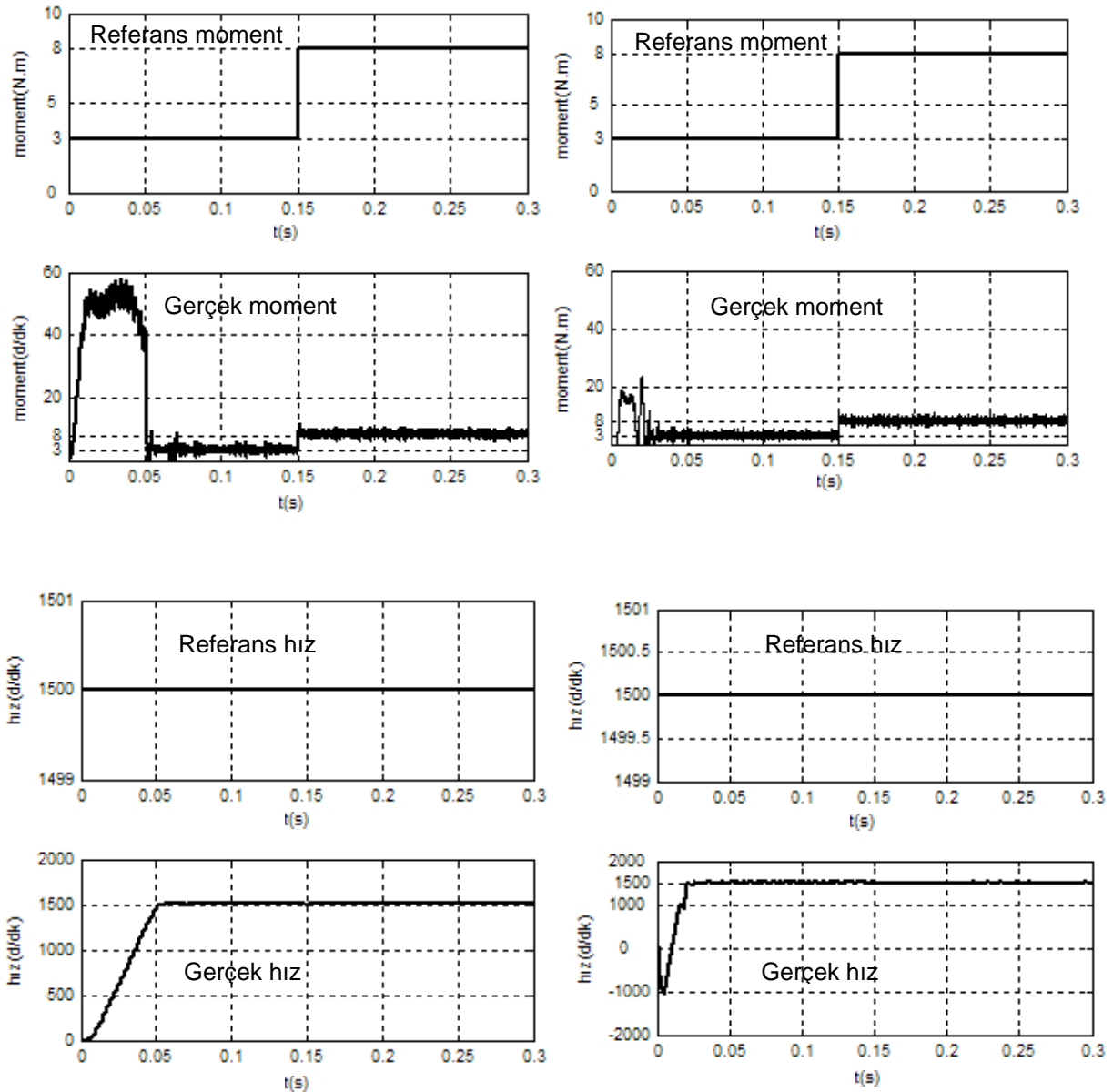
Çalışmanın üçüncü adımında motorların sabit yük altındaki performansları incelenmiştir. Bu incelemede ASM ve SMSM sabit 3 Nm ile yüklenmiştir. Bu adımda elde edilen eğriler Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4 (a) ve (b)'de ASM ve SMSM için sabit hızda sabit yük altında hız değişim eğrileri görülmektedir.

Şekil 4 (c) ve (d)'de verilen moment değişim eğrileri incelendiğinde; motorların kalkınma anında, ASM'un daha yüksek kalkış momentine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, Çizelge 2'de görüldüğü gibi ASM'un atalet momentinin, SMSM'dan daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak, SMSM motor ASM'den daha erken bir zamanda kararlı duruma geçmiştir. Motorların moment salınımları arasında dikkate değer bir farkın olmadığı söylenebilir.



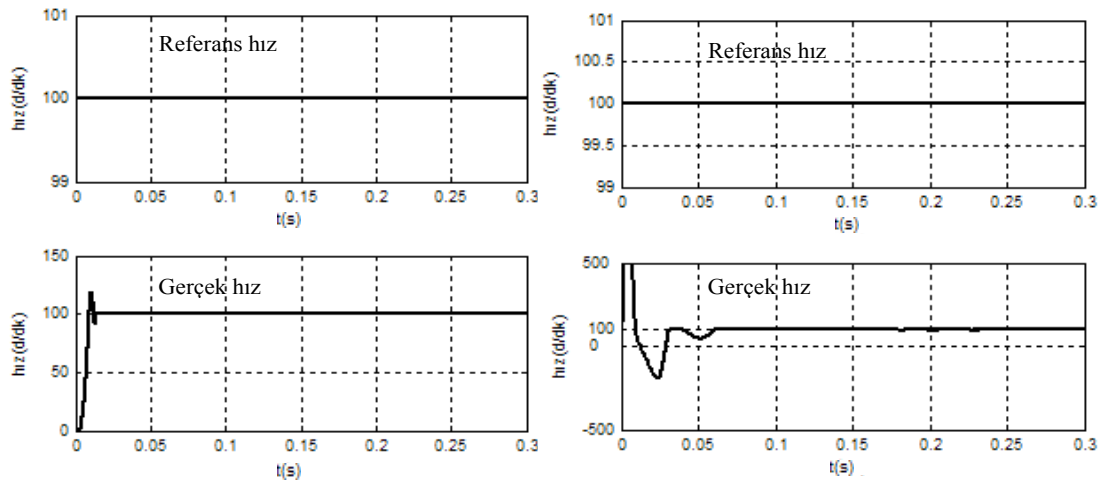
Şekil 4. a) ASM hız değişim eğrisi
c) ASM moment değişim eğrisi

b) SMSM hız değişim eğrisi
d) SMSM moment değişim eğrisi



Şekil 5. a) ASM moment değişim eğrisi
c) ASM hız değişim eğrisi

b) SMSM moment değişim eğrisi
d) SMSM hız değişim eğrisi



Şekil 6. a) ASM hız değişim eğrisi

b) SMSM hız değişim eğrisi

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada; asenkron motor ve sabit mıknatıslı senkron motorun doğrudan moment denetimi ile denetlenmesinin, motorların performansları üzerindeki etkileri araştırılarak iki motorun moment ve hız performansları incelenmiştir. Motorların verilen referans değerlere ulaşma süreleri ve referans değeri takip etme başarıları değerlendirilmiştir.

Çalışmada motorların yüksüz ve yüklü olarak sabit ve değişken hız uygulamalarındaki performansları simülasyon yoluyla test edilmiştir. Simülasyonda motorların stator direnç değerlerinin değişmediği kabul edilmiştir. Ayrıca sabit hız-değişken yük uygulaması ve düşük hızda çalışması durumları da incelenmiştir.

Hız performansları karşılaştırıldığında, her iki motorda verilen referans hız değerlerine ortalama 0,05s' de ulaşarak referans değeri başarı ile takip ettikleri görülmüştür. Çalışma esnasında meydana gelen hız değişimlerinde, SMSM' un ASM' dan daha önce kararlı çalışma durumuna geçtiği gözlemlenmiştir.

Moment performansları bakımından karşılaştırılarda; dikkati çeken ilk nokta ASM' un kalkınma momentinin SMSM' dan yaklaşık 2,5 kat yüksek olduğudur. SMSM' ların rotor yapılarının ASM' dan daha hafif olması düşük atelet momentine sahip olmasını sağlamaktadır. Çalışma esnasında meydana gelen ani moment değişiminde ASM ve SMSM aynı sürede tepki vermişlerdir.

Doğrudan moment denetimi yöntemi ile denetlenen ASM ve SMSM performansları bütün olarak incelendiğinde birbirlerine yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Doğrudan moment denetimi uygulamasının gerçek motorlar ile ve gerçek çalışma şartlarında test

edilmesinin motorların performansları konusunda daha belirleyici olacağı muhakkaktır. Bu konuda çalışmalarımız devam etmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Puyol, A.Arias., "Improvements in Direct Torque Control of Induction Motors", Doktora Tezi, Universitat Politecnica de Catalunya Department D'Enginyeria Electronica, Terrassa, 13, (2000)
2. Arınç, R., "Bulanık Mantık Yöntemiyle Asenkron Motor Hız Kontrolü ve Simülasyonu". Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 23-26, (2003)
3. He, Y., Wen, J., "A new variable structure controller for direct torque controlled interior permanent magnet synchronous motor drive", Proceeding of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, Jinan, 2349-2354, (2007)
4. Chunyuan, B., Shuangyan, R., Liangyu, M., "Sensorless DTC of super high speed SPSM", Proceeding of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, Jinan, 3060-3064, (2007)
5. Rahideh, A. Karimi, M. Shakeri, A. Azadi, M. "High performance direct torque control of a PMSM using fuzzy logic and genetic algorithm", Electric Machines & Drives Conference, IEMDC '07. ,Antalya,932-937,(2007)
6. Yong, L., Z.Q, Z., Howe, D., "Direct torque control of brushless dc drives with reduced torque ripple" IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 41, No. 2, March/April, 599-608, (2005)
7. Kang, J. Ve Sul, S., "Analysis and prediction of inverter switching frequency in direct torque control of induction machine based on hysteresis bands and machine parameters", IEEE Trans. On Industrial Electronic, Vol. 48, Num.3, 545-553, (2001)