

DURADAN ASENKRON MOTORUN STATOR ve ROTOR DİRENCİNİN EVİRİCİ TARAFINDAN OTOMATİK ÖLÇÜMÜ

Ertan MURAT¹

Erhan AKIN²

¹ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Söğütözü, Ankara

² Bilgisayar Mühendisliği, Fırat Üniversitesi Elazığ

¹e-posta: ertan_murat@hotmail.com

² e-posta: eakin@firat.edu.tr

Anahtar sözcükler: Stator Direnci, Rotor Direnci, Otomatik Motor Tanıma , Evirici

ÖZET

Alan yönlendirmeli kontrol (FOC) ve doğrudan moment kontrol (DTC) gibi yüksek dinamik performanslı asenkron motor denetim yöntemlerinin hepsi, motor parametrelerini kullanan motor modeline ihtiyaç duyarlar. Kullanılan motor modeli yardımı ile akı, hız, moment gibi değişkenlerin tahmini yapılır. Yine bu motor modellerinde kullanılan elektriksel parametreler; akı ve akım regülatörlerinin belirlenmesinde de kullanılır. Ancak kullanılan motor modellerindeki elektriksel parametrelerinin ölçümü gereksinimi bu yöntemlerin başlıca zorluklarından biridir. Bu bildiride, motor işletmeye alınmadan evvel, motorun stator ve rotor direncinin evirici tarafından otomatik olarak ölçülmesine ait yöntemler anlatılmış, ardından yöntemlerin geçerliliğini gösteren deneysel sonuçlar sunulmuştur.

1.GİRİŞ

Yüksek dinamik performanslı AC motor denetim yöntemleri motor parametrelerine ihtiyaç duyarlar [1]. Motor denetim yöntemlerinin performansları, kullanılan motor parametrelerinin gerçekliği ile doğrudan ilgilidir.

Motorun elektriksel parametreleri motor modellerinde kullanıldığı gibi, moment ve akı oluşturan akım bileşenleri ve akı regülatörlerinin hesaplanmalarında da kullanılmaktadır [2].

Hız duyargasına ihtiyaç duymayan ve gerilim modelini kullanan vektör kontrol ile doğrudan moment kontrollü Alternatif Akım (AA) motor denetim yöntemleri aşağıdaki stator akısı tahmini eşitliği temellidir.

$$\vec{\psi}_s = \int (\vec{U}_s - R_s \vec{I}_s) dt \quad (1)$$

Burada,

$\vec{\psi}_s$ Stator akısı vektörü
 \vec{U}_s Stator gerilim vektörü
 \vec{I}_s Stator akım vektörüdür.
 R_s Stator direnci

Akım modeli kullanan AA motor denetim yöntemleri ise

$$\tau_r dI_{mr} / dt + I_{mr} = I_{sd} \quad (2)$$

$$\omega_s = \omega_m + I_{sq} / \tau_r I_{mr} \quad (3)$$

denklemleri temellidir. Burada,

τ_r Rotor zaman sabiti
 I_{mr} Rotor mıknatıslama akımı
 I_{sd} Stator d-eksen akımı
 ω_s Stator dönel alan hızı
 ω_m Rotor mekanik hızı
 I_{sq} Stator q-eksen akımı

Her iki denetim yöntemlerinin motor model ifadelerinden de görüldüğü üzere, yüksek performanslı denetim yöntemleri motorun stator ve/veya rotor direncine ihtiyaç duyarlar.

Asenkron motorların parametreleri, kilitli rotor, boшта çalışma ve dc test deneyleri ile ölçülebilmektedir [3]. Ancak gerek motor sürücüsünün devreye alınışında teknik personelin bulunamaması olasılığı ve gerekse bu testlerin zaman alıcı olmalarından dolayı, motor parametrelerinin motoru süren evirici tarafından ölçülmesi bir gereksinimdir [4]. Ayrıca geleneksel test prosedürlerinin, evirici anahtarlama ve harmonik etkilerini dikkate almadıklarını göz önünde bulundurmak gerekir [5]. Dolayısı ile buradan itibaren stator ve rotor direncinin, motoru

işletmeye almadan evvel, motor duruyor iken, motor sürücüsü tarafından ölçülmesine ait yöntemler verilmiştir.

2. STATOR DİRENCİ ÖLÇÜMÜ

$$\begin{bmatrix} U_s^p \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + pL_s & pL_m \\ (p - j\omega_m)L_m & R_r + (p - j\omega_m)L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_s^p \\ I_r^p \end{bmatrix} \quad (4)$$

Burada L_s ve L_r stator ile rotor öz endüktansı, L_m stator ve rotor arasındaki ortak endüktanstır. R_s ve R_r sırası ile stator ve rotor direnci olup ω_m rotor hızıdır.

Durağan referans çatısında, asenkron motorun stator gerilim denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\vec{U}_s = R_s \vec{I}_s + L_s \frac{d\vec{I}_s}{dt} + L_m \frac{d\vec{I}_r}{dt} \quad (5)$$

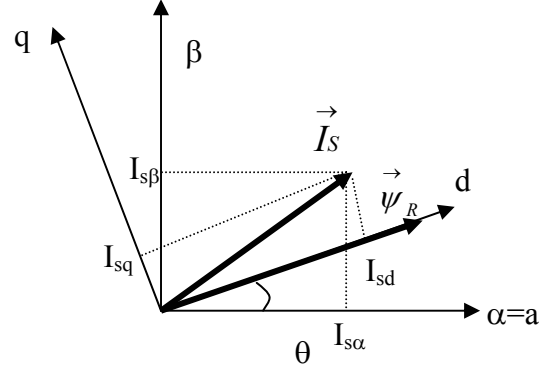
Makina duruyor iken, durağan referans çatıda, hız terimleri sıfır olduğundan; asenkron makina rezistif-endüktif (R-L) karakterli bir yük gibi modellenir. Bu nedenle, makina duruyor iken asenkron makinanın stator sargılarından doğru akım akıtılırsa, akan akım uygulanan gerilimin stator sargı direncine oranı büyüklüğünde olacaktır. Ancak bu test esnasında, stator doğru akım değeri motor anma akımını geçmemelidir. Bu test için, sürücü içerisinde düşük değerli harici bir gerilim kaynağı kullanılabilir. Ancak akıllı bir sürücüde böylesi harici devrelerin kullanılmasından kaçınılmalıdır. Stator direncinin ölçümü, gerekli olan anahtarlama stratejisi kullanılarak eviricinin kendisi tarafından yapılmalıdır. Makina duruyor iken, hız terimlerini temsil eden zıt elektro motor kuvveti (emk) sıfır ve makina terminallerinden gözükken empedans doğru akım uygulandığı zaman sadece değeri küçük olan stator direncidir. Eviricinin DC bara geriliminin büyük olduğu gözönüne alınırsa; çok küçük anahtarlama görev periyodu için bile, akımın sargı izolasyonuna zarar verebilecek değere ulaşabilmesinden dolayı, stator sargılarından akacak akımın kontrol altında tutulması gerekir.

Stator sargılarına uygulanacak DC akımın değerinin seçimi kritik olup, makinayı doyuma götürmeyecek şekilde miktatsızlama akımından daha küçük seçilmelidir.

Sürekli halde, durağan referans çatısında stator gerilimi aşağıdaki eşitlik ile verilir:

$$U_s = R_s I_s \quad (6)$$

Durağan asenkron makinanın stator direncinin tayini için, genliği PWM kontrollü tek bir gerilim uzay vektörü uygulanır [6].



Şekil-1 Rotor alan akısı yönlendirmeli hız duyargasız vektör kontrol için vektör diagramı

3. ROTOR DİRENCİ ÖLÇÜMÜ

Asenkron motorlarda enerji dönüşümü, hava aralığında döner alan oluşturarak, rotor devresinde gerilim endükleme prensibine dayanır. Motorun hava aralığında rotor referans çatısına göre, zamanda değişen bir manyetik alan oluşturulursa, rotor devresinde gerilim, dolayısı ile kısa devre akımları üretilir. Rotor akımlarının ürettiği rotor akısının stator akısı ile etkileşimi sonucunda moment oluşur ve rotor itilerek enerji dönüşümü gerçekleşir. Rotor devresi zaman sabiti, her zaman için mekaniksel zaman sabitinden daha kısadır.

Bu bilgiler ışığında, eğer herhangi bir elektro mekanik enerji dönüşümü olmaz ise, demir kayıpları ihmal edilerek, stator terminallerinden motora aktarılan güç; stator direnci ve rotor direnci üzerinde harcanan güç olarak kabul edilir.

Rotor kilitli değil ise bu durum ancak kısa süreli, mekanik momenti yenemeyecek rotor akısı oluşturmak ile mümkün olur.

Eğer makine V/f modunda kısa süreli olarak, anma frekansında çok düşük bir gerilim referansı ile sürülür ise, makineye aktarılan güç, stator sargı ve rotor bar direnci üzerinde harcanan güç olarak kabul edilebilir.

$$P = \frac{3}{2} (U_{s\alpha} I_{s\alpha} + U_{s\beta} I_{s\beta}) \quad (7)$$

$$P = I_s^2 (R_{eq}) \quad (8)$$

Her iki güç ifadesi birbirine eşitlenirse, eşdeğer devre terminal uçlarından ölçülen eşdeğer direnç değeri R_{eq} bulunur.

$$R_{eq} = R_s + R_r' \quad (9)$$

R_s stator sargı direnci DC test ile 2. Bölümde anlatıldığı üzere ölçülmüş olduğundan, indirgenmiş rotor devresi direnci aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$R_r' = R_{eq} - R_s \quad (10)$$

4. SİSTEMİN GENEL MİMARİSİ

Makina duruyor iken, stator direncinin ölçüm yöntemi, rotor akısı yönlendirmeli hız duyargasız gerilim modeli kullanan vektör kontrol prensibi ile çalışan eviricide uygulanmıştır. Sistemin genel yapısı Şekil-1 de verilmiştir.

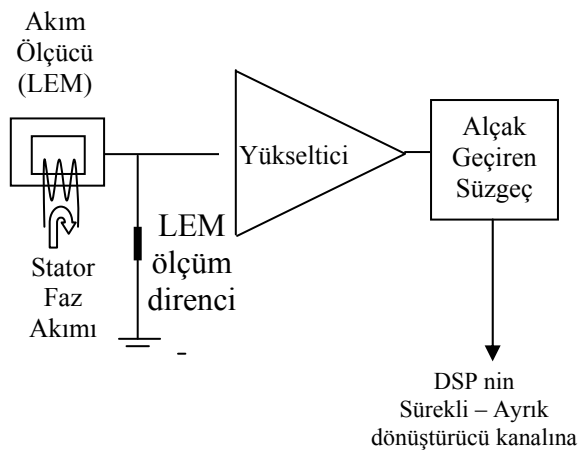
Stator sargılarından DC bir akım akıtmak için, doğru eksen referans akımı $I_{s d \text{ ref}}$ motor anma akımına eşitlenir iken, moment üreten dik eksen akım bileşeni referansı $I_{s q \text{ ref}}$ sıfıra eşitlenmiştir.

DC test esnasında asenkron makinanın rotorunu durağan kılmak için, Şekil-2 de gösterilen rotor akısı ile alfa eksenindeki açının (θ) sıfıra eşitlenmesi gerekmektedir.

Her kontrol saykılında, asenkron makinanın stator akım ve gerilim bilgisi işlenip referans değerler ile karşılaştırılır. Ortaya çıkan hata, PI regülatörden geçirilip; stator sargılarına uygulanacak yeni gerilimin değeri belirlenir. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) üretici olarak Simetrik Uzay Fazör Darbe Genişlik Modülasyonu (SVPWM) tekniği kullanılmıştır.

Sayısal işaret işlemci (DSP) olarak TMS320C3150 temelli dS1102 DSP Controller Board kullanılmıştır. Farklı program kontrol döngüsü için yöntem denenip, stator faz akımları akım ölçücüler ile algılanıp bilgisayarda görüntülenmiştir.

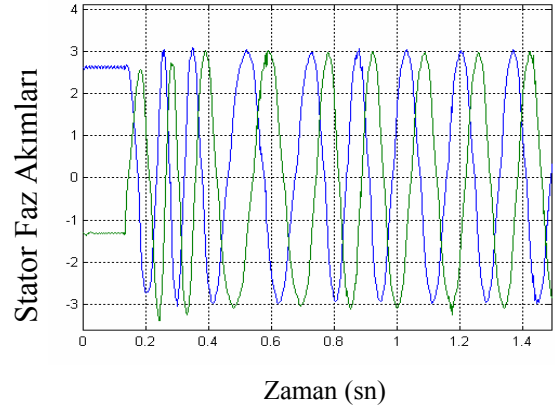
Akım algılama devresinin yapısı Şekil-3 de verilmiştir. LEM'den gelen sinyal, OP-AMP devresi ile yükseltilip, alçak geçiren bir süzgeçten geçirilmiştir. Yüksek frekanslı gürültüyü süzmek için kullanılan alçak geçiren süzgecin kesme frekansı 300 Hz.tir.



Şekil-2 Akım algılama devresinin yapısı

5. DENEYSEL SONUÇLAR

Yıldız bağlı asenkron motor duruyor ve işletmeye alınmadan evvel DC test ile stator direnci ölçülüp, motor işletmeye alınmıştır.



Şekil-3 DC test ve kalkış anında stator faz akımları

Motorun stator direnci farklı Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) frekansı ve farklı test süreleri için denenmiştir.

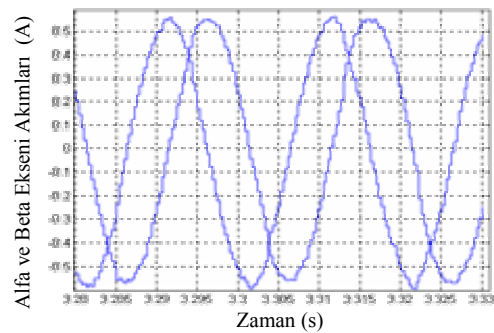
Tablo-1. LEM akım ölçücülerinin çıkışı donanım ile filtrelenmiş durumda farklı anahtarlama frekanslarında ve test süresinde ölçülen stator direnç değerleri

Program Döngüsü	Test Süresi (sn)	Ölçülen R_s (Ω)
150 μ s	2	6.30
200 μ s	2	6.39
250 μ s	2	6.23

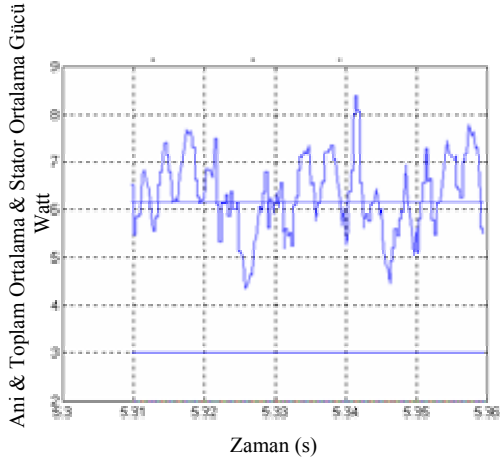
Motorun stator direnci testler sırasında ohmmetre ile 6.2 ohm olarak ölçülmüştür.

Motorun rotor direncinin ölçümü için; stator direnci ölçüldükten sonra, denetim algoritması V/f moda geçerek motorun stator terminallerinden, 50 Hz te motor anma geriliminin %10 u civarında bir gerilim uygulanır. Kısa süreli uygulanan bu gerilim, hava aralığında döner alan oluşturur ve rotor devresi stator sargı terminallerinden görülür kılınır.

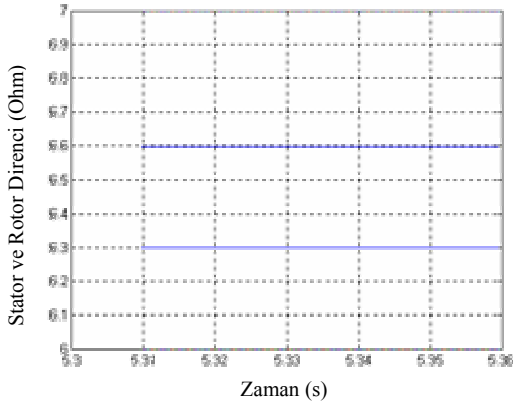
Rotor direnci ölçüm testi sırasında alfa ve beta eksenlerine ait akım dalga şekilleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil-4 Rotor direnç ölçüm testi esnasında Alfa ve Beta eksenli akımları



Şekil-5 Rotor direnç ölçüm testi (20 V-50 Hz) esnasında ani, toplam ortalama ve stator sargı direncinde harcanan ortalama güç



Şekil-6 Test sonucunda ölçülen Stator (Alta) ve Rotor Direnci (Yukarıda)

Rotor direnci ölçüm testi sonucunda yukarıda gösterildiği üzere 6.6 Ohm olarak ölçülmüştür. Yine rotor direnci, kilitle rotor deneyi sonucunda 6.3 Ohm olarak ölçülmüştü.

6. SONUÇ

Bu makalede, asenkron motor denetim yöntemlerinin ve bu yöntemlerde kullanılan akım ile akı kontrolörlerinin belirlenmesinde motor parametrelerinin kullanıldıkları belirtildikten sonra, evirici tarafından sürülen asenkron motorların, işletmeye alınmadan evvel, motoru denetleyen sürücü tarafından motor parametrelerinin ölçülmesi gereği sunulmuştur. Stator ve rotor direncinin yüksek dinamik performanslı motor sürücülerinde kullanıldığı yerler özetle belirtildikten sonra, motor duruyor iken eviricinin motoru işletmeye almadan evvel motoru tanınması safhasında evirici tarafından ölçülmesine ait yöntemler deneysel sonuçlar ile verilmiştir. Deneysel sonuçlar, uygulanan yöntemlerin geçerliliğini göstermektedir.

Rotor direnci ölçümü esnasında, motora kısa bir süre V/f modda nominal frekansta çok düşük gerilim uygulanması durumunda motor hareket edemeyecektir. Ancak motorun durduğunu garanti etmek üzere, stator terminallerinden tek faz uyarım yapılabilir. İleriki çalışmada bu yöntem anlatılacaktır.

Motor çalışırken, motor parametrelerinin değişim göstereceği kaçınılmazdır. Fakat, motor çalışırken tahmin edilmeye çalışılan parametrelerin doğruluğu, tahmin algoritmalarına girdi olan başlangıç değerleri ile ilgili olduğu göz ardı edilmemelidir. Bu çalışma, motor çalışırken yapılan parametre tahminlerine temel teşkil etmektedir.

Motor Etiket Değerleri:

Y 380 V
3.1 A
1.1 kW. Cos ϕ = 0.74
907 rpm. 50 Hz.
IP 44
IC B

KAYNAKLAR

- [1] Vas, P. , “Sensorless Vector and Direct Torque Control”, Oxford University Press, 1998.
- [2] Akın, E. , “Stator Alan Akısı Üzerinden Asenkron Motorun Rotor Akısı Yönlendirmesi İçin Bir Yöntem”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, 1994
- [3] Vas, P. , “Parameter Estimation, Condition Monitoring, and Diagnosis of Electrical Machines”, Clarendon Press, Oxford,1993.
- [4] Lin, Y. , Chen, C. , Automatic IM Parameter Measurement Under Sensorless Field-Oriented Control, IEEE Transactions on Industrial Electronics Vol 46 No 1 February 1999
- [5] Sumner, M. , Asher, G.M. , Autocommissioning For Voltage Referenced Voltage-Fed Vector Controlled Induction Motor Drives, IEE Proceedings-B, Vol. 140, No. 3, May 1993.
- [6] Khambadkone, A. M. , Holtz, J. , “ Vector Controlled Induction Motor Drive With a Self Commissioning Scheme”, IEEE Transactions on Industrial Electronics Vol 38 No 5 October 1991.