

DOLAYLI ROTOR AKISI ALAN YÖNLENDİRME YÖNTEMİNDEKİ PARAMETRE DEĞİŞİMLERİNİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Mehmet POLAT

(mpolat@firat.edu.tr)

Hasan KÜRÜM

(hkurum@firat.edu.tr)

Fırat Üniversitesi Elk. Elektronik Müh. Bölümü 23119 Elazığ

Anahtar Kelimeler: Asenkron Motor, Dolaylı Rotor Akısı Alan Yönlendirme, Parametre Değişimlerinin Etkileri

Özet:

Hızla gelişen teknolojiyle birlikte performans, hız ve kapasiteleri artan elektronik güç anahtarları ve mikroşemciler sayesinde elektrik motorlarının sürülmesinde ve kontrolünde kullanılan evirgeç gibi sürücü düzeneklerinin gelişmesi sağlanmıştır. Bu gelişim asenkron motorlarda hız ve moment kontrol yöntemlerinin daha rahat bir şekilde uygulanmasına olanak sağlamıştır.

Asenkron motorlarda kullanılan klasik kontrol yöntemlerinde hız ve momentin kenetlenmeli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Ancak bu sorunun vektör kontrol yöntemleriyle giderildiği gösterilmiştir. Bu kontrolör sayesinde hız ve moment birbirinden bağımsız olarak iki bileşen şeklinde kontrol edilebilir. Ancak hız ve moment kontrolünde, makine parametrelerinin doğru olarak belirlenmesi çok büyük önem kazanmaktadır. Asenkron makinenin parametrelerinin doğru olarak belirlenmesi ise çok zordur. Çalışma koşulunda parametreler; çalışma frekansına, akım büyüklüğü, doyum ve sıcaklığa bağlı olarak değişimler gösterebilmektedirler.

Bu makalede, dolaylı rotor akısı alan yönlendirmesi ile üç fazlı asenkron motorun vektör kontrollü benzetimi yapılarak, parametre değişimlerinin bu alan yönlendirme yöntemine olan etkisi incelenmiştir.

1. GİRİŞ

Motor parametreleri çalışma koşullarına bağımlı olarak değişimler gösterir. Asenkron motor parametrelerinin çalışma sırasında değişmesi kontrol sisteminin performansını bozar. Genel olarak kontrol sisteminde parametre sapması olduğu zaman moment üzerinde dalgalanma ve referans değerini izleyememe sorunları doğar. Asenkron motor parametrelerinin değişimleri aşağıdaki gibidir [1][3][4][10].

- Rotor direnci (R_r), rotor çubuklarındaki deri olayından dolayı frekansa bağımlıdır. Direnç değeri kayma frekansı ile artar. Ayrıca rotor direncinin değeri sıcaklık ile değişir.

- Stator direnci (R_s), değeri sıcaklık ve deri olayından dolayı frekans ile değişir.
- Stator ve rotor kaçak indüktansı (L_{ls} ve L_{lr}), kaçak yolların yerel magnetik doyumundan dolayı çokça akım büyüklüğüne bağımlıdır. Artan frekans ve akım genliği ile indüktans değeri azalır.
- Ortak indüktans (L_m), ana akı yolunun doyumundan dolayı hava aralığı akısına bağımlıdır. Artan akı ile indüktans değeri azalır.

Günümüzde geliştirilen vektör kontrol algoritmaları sayesinde, vektör kontrollü evirgeç bağlı asenkron motora bir başlangıç ölçme testi uygulayarak parametre ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Self Commissioning olarak adlandırılan bu yol ile makina parametrelerinin ölçülmesinden sonra, kontrol edici parametreleri belirlenmektedir. Bu algoritmalar motorun çalışması sırasında değişen parametrelerin yeni değerlerini ölçerek, kontrol edici parametrelerini düzeltme özelliğine de sahiptirler.

Dolaylı vektör kontrolde kayma hesaplamasında ortaya çıkan rotor direnci ve kaçak indüktansı parametrelerine bağımlılık kaçınılmazdır. Rotor direncinin değeri sıcaklık ve deri olayı sonucunda değiştiği zaman kayma hatalı hesaplanmakta ve dolayısıyla rotor akısının konumu doğru belirlenmemiş olmaktadır. Bu durumda rotor direnci veya rotor devresi elektriksel zaman sabitinin çalışma sırasında düzeltilmesi yoluna gidilmektedir.

Doğrudan alan yönlendirme yöntemleri kullanılan akı modeline bağlı olarak değişik parametrelere bağımlılık göstermektedirler. Bu yöntemde akı hesaplamaları parametrelere bağımlı olduğu için parametre bağımlılığı etkisini daha çok gösterir [3][7][10].

2. MAKİNA MODELİ

Gerekli eksen dönüşümleri yapıldıktan sonra üç fazlı asenkron makinenin d-q modeli aşağıdaki gibidir [1][3][5][9].

Akı denklemleri;

$$\begin{aligned}\Psi_{sd} &= L_S i_{sd} + \frac{3}{2} L_{sr} i_{rd} \\ \Psi_{sq} &= L_S i_{sq} + \frac{3}{2} L_{sr} i_{rq} \\ \Psi_{rd} &= L_R i_{rd} + \frac{3}{2} L_{sr} i_{sd} \\ \Psi_{rq} &= L_R i_{rq} + \frac{3}{2} L_{sr} i_{sq}\end{aligned}\quad (1)$$

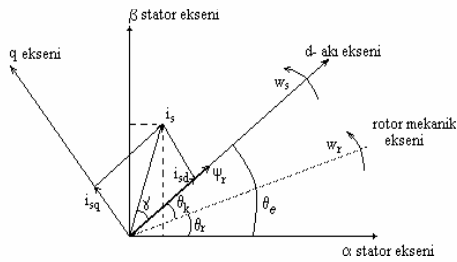
Gerilim denklemleri;

$$\begin{aligned}U_{sd} &= R_S i_{sd} - w_s \Psi_{sq} + p \Psi_{sd} \\ U_{sq} &= R_S i_{sq} + w_s \Psi_{sd} + p \Psi_{sq} \\ 0 &= R_r i_{rd}' - w_k \Psi_{rq}' + p \Psi_{rd}' \\ 0 &= R_r i_{rq}' + w_k \Psi_{rd}' + p \Psi_{rq}'\end{aligned}\quad (2)$$

Moment ve hareket denklemleri;

$$\begin{aligned}T_e &= 3 \left(\frac{P}{2} \right) L_m (i_{sq} i_{rd}' - i_{sd} i_{rq}') \\ T_e - T_y &= \frac{2}{P} J \frac{dw_r}{dt}\end{aligned}\quad (3)$$

3. DOLAYLI ROTOR AKI YÖNLENDİRMESİ



Şekil 1. Asenkron motorun alan yönlendirmesi için vektör diyagramı

Rotor çatısını senkron çatının reel eksenineyle çıkıştırıp alan kontrol denklemlerimizi yazarsak, bu durumda $\Psi_{rq} = 0$ dır [1][10].

Alan denklemleri;

$$i_{mrd} = \frac{i_{sd}}{1 + \tau_r p} \quad (4)$$

$$w_k = \frac{i_{sq}}{\tau_r i_{mrd}} \quad (5)$$

denklemleri elde edilir. Dolaylı rotor akısı yönlendirmede i_{mrd} denklem 4'ten hesaplanırsa denklem 5'den de kayma tahmin edilebilir. Ancak tahmin edilen kayma sadece $\Psi_{rq} = 0$ olursa geçerlidir. Bu durumda senkron frekans,

$$w_e = w_r + w_k \quad (6)$$

denklemleri de geçerlidir. Eğer evirgeç aracılığıyla motorun frekansı w_e olmaya zorlanırsa, bu durumda tahmin edilen w_k kayma frekansı da motorunkiyile aynı olur ve kontrolördeki i_{mrd} ve i_{sq} akımları da motordaki i_{mrd} ve i_{sq} akımlarına eşdeğer olur.

i_{sd} ve i_{sq} referans değerlerini (i_{sd}^* ve i_{sq}^*) takip ettikleri müddetçe i_{sd}^* ve i_{sq}^* değerleri denklem 4 ve 5'de kullanılabilir. Bunlar yerine motordan ölçülen akımlar da kullanılabilir, ancak bu ölçüm akımları bazı gürültüler de taşıyabilir.

Rotor mıknatıslanma akımı motordaki rotor akısını temsil etmektedir. Rotor akısı her zaman sabit tutulması gerektiği için de i_{mrd}^* akımı da sabit tutulmalıdır. Bu durumda Denklem 4'e göre de i_{sd}^* 'nin de sabit tutulması gerekir.

Stator gerilim denklemlerini yazacak olursak ,

$$U_{sd} = R_S i_{sd} + \sigma L_S p i_{sd} - w_e \sigma L_S i_{sq} + \frac{L_m^2}{L_r} p i_{mrd} \quad (7)$$

$$U_{sq} = R_S i_{sq} + w_e \sigma L_S i_{sd} + \sigma L_S p i_{sq} + w_e \frac{L_m^2}{L_r} i_{mrd} \quad (8)$$

Akım kontrolörlerinin yapısını basitleştirmek için, denklemler aşağıdaki yapıda yazılabilir [2].

$$U_{sd} = R_S i_{sd} + \sigma L_S p i_{sd} \quad (9)$$

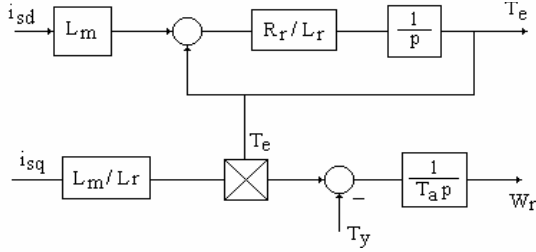
$$U_{sq} = R_S i_{sq} + \sigma L_S p i_{sq} \quad (10)$$

Denklem 9 ve 10'a göre akım kontrolörlerinden elde edilen U_{sd} ve U_{sq} değerlerine aşağıdaki düzeltme terimleri de eklenmelidir.

$$U_{sddüz} = -w_e \sigma L_S i_{sq} + \frac{L_m^2}{L_r} p i_{mrd} \quad (11)$$

$$U_{sqdüz} = w_e \sigma L_s i_{sd} + w_e \frac{L_m^2}{L_r} i_{mrd} \quad (12)$$

Alan yönlendirmeli asenkron motor kontrolüne ilişkin ilkesel gösterim Şekil 2'deki gibidir.

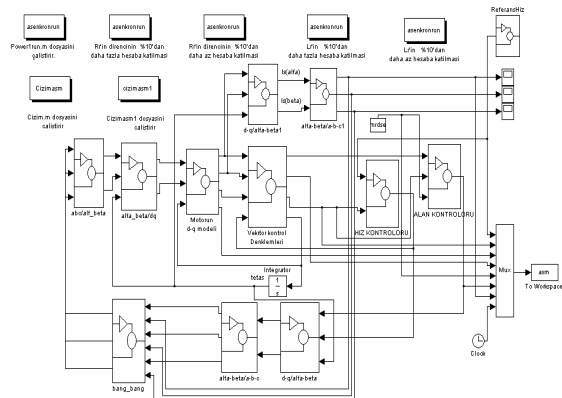


Şekil .2. Asenkron motorun alan yönlendirmesi için ayrıştırılmış modelin blok gösterimi

4. BENZETİM PROGRAMI

Bu çalışmada yukarıda izah edilen denklemler ve temel hareket denklemleri kullanılarak Matlab® Simulink® programı yardımı ile üç fazlı asenkron motorun dolaylı rotor akısı alan yönlendirmesi benzetimi yapılmıştır. Benzetimde kullanılan asenkron motorun parametreleri aşağıdaki gibidir.

U_N	230 V
I_N	26.2 A
P_N	7.36 kW
n_N	1750 d/d
T_N	40.2 Nm
F	60 Hz
P	4
Stator direnci	0.242 Ohm
Rotor direnci (indirgenmiş)	0.144 Ohm
Stator kaçak indüktansı	1.686 mH
Rotor kaçak indüktansı (indirgenmiş)	1.124 mH
Ortak indüktans	33.888 mH
Eylemsizlik katsayısı (J)	0.88 Kg m ² [11]



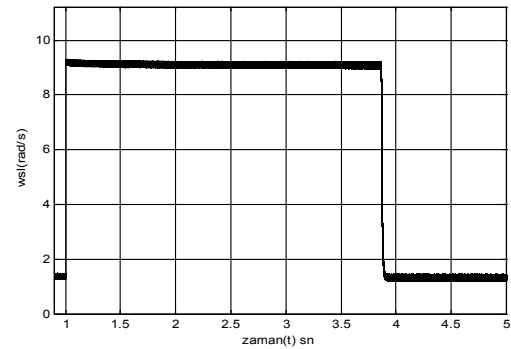
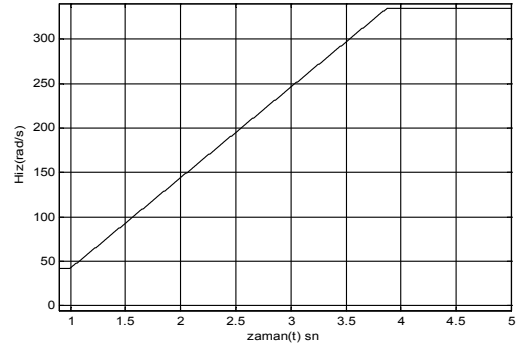
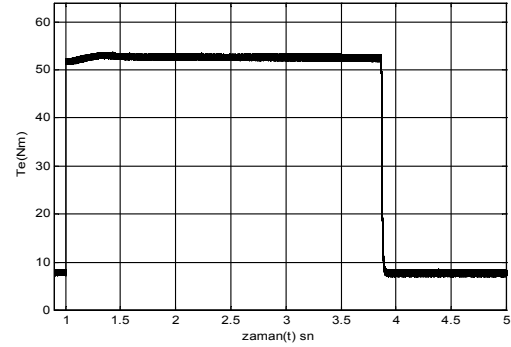
Şekil 3. Dolaylı rotor akısı alan yönlendirme yönteminin bilgisayar benzetimi

5. BENZETİM SONUÇLARI

Burada $I_{mrd(set)}=11A$ ve $I_{sq}=25A$ 'lik referans değerleriyle yaklaşık 56 Nm'lik motor momenti oluşturulmuştur.

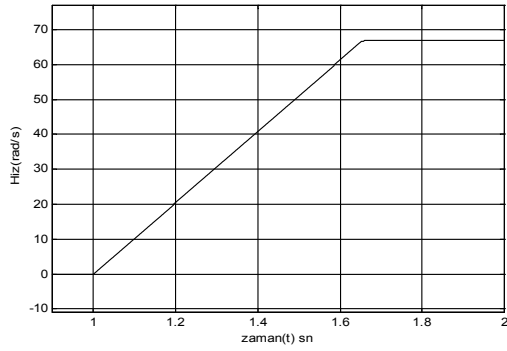
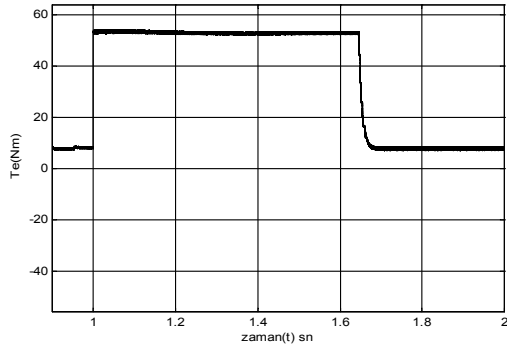
Parametre değişimsiz ve yük momentinin 8Nm olduğu durum için, ikinci benzetim programından alınan sonuçlar Şekil 4 ve 5'te görülmektedir;

Nominal hızda çalışma durumu;

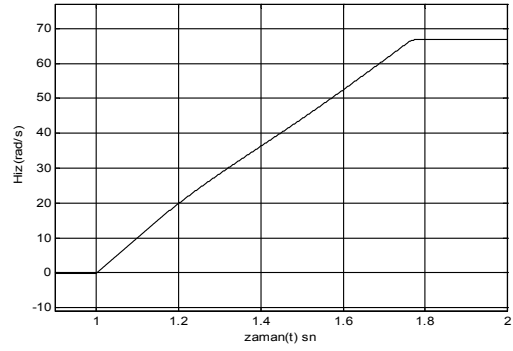
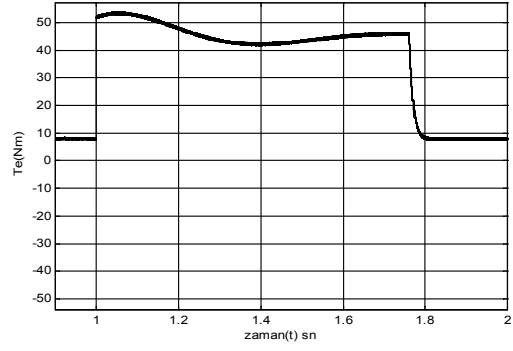


Şekil 4. T_e momentinin, rotor ve kayma hızlarının zamana göre değişimleri

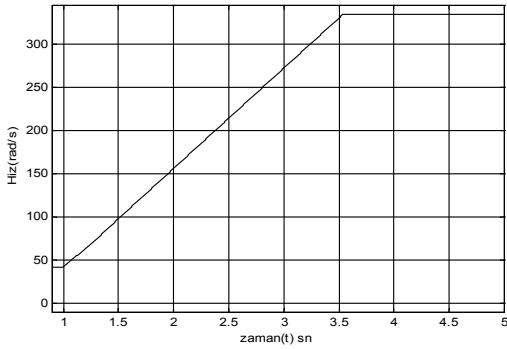
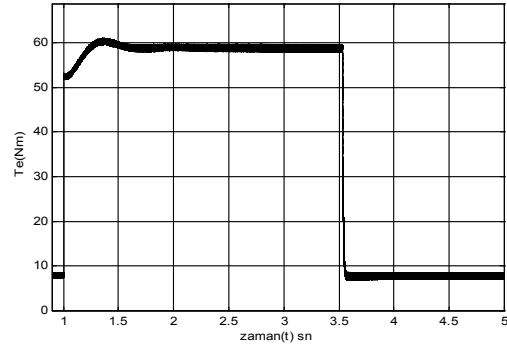
Nominal hızın %20'sinde çalışma durumu;



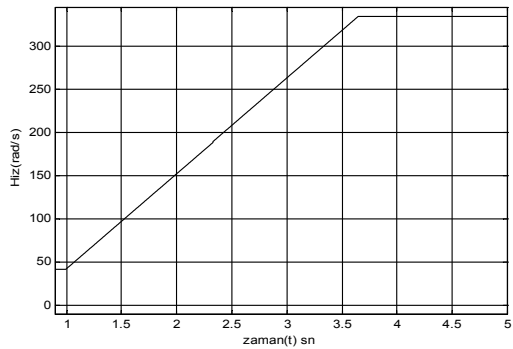
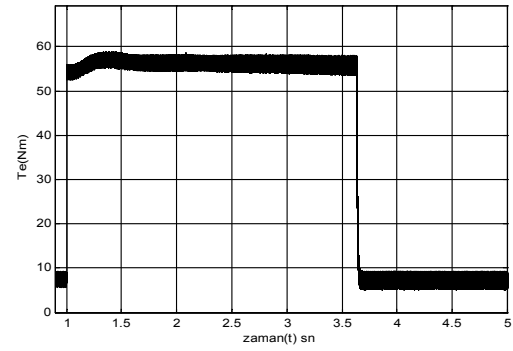
Şekil 5. T_e momentinin ve rotor hızının zamana göre değişimleri



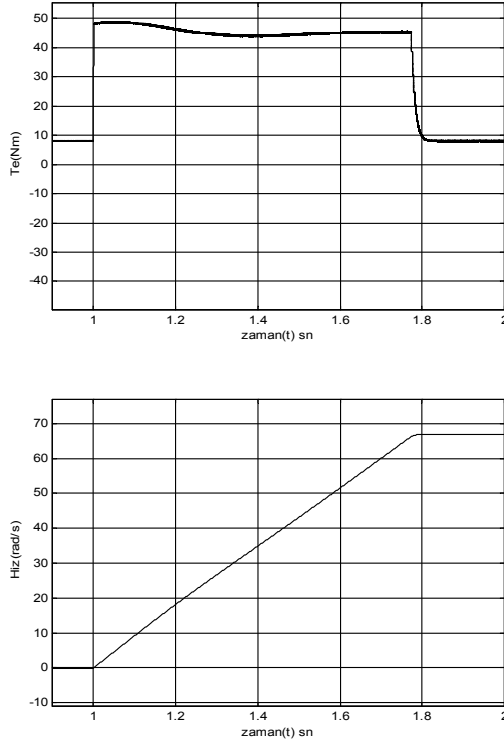
Şekil 7. Nominal hızın %20'sinde rotor direncinin farklılaşması durumu için T_e momentinin ve rotor hızının zamana göre değişimleri



Şekil 6. Nominal hızda rotor direncinin farklılaşması durumu için T_e momentinin ve rotor hızının zamana göre değişimleri



Şekil 8. Nominal hızda rotor indüktansının farklılaşması durumu için T_e momentinin ve rotor hızının zamana göre değişimleri



Şekil 9. Nominal hızın %20'sinde rotor indüktansının farklılaşması durumu için T_e momentinin ve rotor hızının zamana göre değişimleri

6. SONUÇ

Şekiller incelendiği zaman dolaylı olarak rotor akısı alan yönlendirme yönteminin rotor parametrelerine bağımlılığı ortaya çıkmaktadır. Rotor parametreleri değiştiği zaman kayma hatalı olarak hesaplanmakta ve dolayısıyla rotor akısının konumu doğru belirlenmemiş olmaktadır. Bundan dolayı da momentin, referans momenti takip edememe ve dalgalanma gibi sorunların ortaya çıktığı gözlenmiştir. Özellikle düşük hız uygulamalarında momentin daha çok etkilendiği görülmektedir. Bu durumda rotor direnci veya rotor devresi elektriksel zaman sabitinin çalışma sırasında düzeltilmesi yoluna gidilmektedir.

Momentteki değişimlerin hız üzerindeki etkisi ise; momentin referans momente göre artması veya azalması referans hızları daha erken veya daha geç yakalamasına neden olmaktadır. Bu da hız kontrolörü için istenen bir durum değildir

Bundan sonraki çalışmalarda hedef, literatürde ortaya atılan rotor parametrelerinin düzeltilmesi yöntemlerinden birini benzetimde gerçekleştirip bir önceki duruma göre karşılaştırdıktan sonra uygun bir mikroişlemci ile bu yöntemin pratiğini gerçekleştirmektir.

KAYNAKLAR

- [1] Akın, E., (1994). Stator Akısı Üzerinden Asenkron Motorun Rotor Akısı Alan Yönlendirmesi için Bir Yöntem. Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı Doktora Tezi, . F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [2] Altun, H., (2001). Lineer Asenkron Motorun Vektör Kontrolü. Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı Doktora Tezi, . F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [3] Boldea, I., Nasar, S., A., (1992). Vector Control of AC Drives. CRC press.
- [4] Civelek, İ., (1997). Asenkron Motorun Elektriksel Parametrelerinin Otomatik Olarak Ölçümü ve İnverterde Hata Tanısı. Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, . F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [5] Güzelbeyoğlu, N., (1992). Elektrik Makinaları –I-II-, İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi.
- [6] Kuo, C. B., (1999). Otomatik Kontrol Sistemleri. Literatür Yayıncılık.
- [7] Novonty, D. W., Lipo, T., A., (1996). Vector Control And Dynamics of AC Drives. Oxford Univ. Press
- [8] Ong, Chee-Mun, (1998). Dynamic Sumilation of Electric Machinery. Prentice-Hall, Inc.
- [9] Sarıoğlu, K., (1992). Elektrik Makinalarının Temelleri Cilt: III. İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi.
- [10] Vas, P., (1990). Vector Control of AC Machines. Oxford Univ. Press.
- [11] Zhang, J., Barton T. H., (1989). Microprocessor-Based Primary Current Control for a Cage Induction Motor Drive. IEEE Trans. on Power Electronic, Vol. 44, No. 4 January.