

Alan Zayıflatmasız ve Alan Zayıflatmalı, Akı ve Moment Döngülü Akım Referanslı PWM İndirekt İleri Beslemeli Vektör Kontrollerinin Karşılaştırılması

Sevcan AYTAÇ KORKMAZ^{1*}, Hasan KÜRÜM²

¹Fırat Üniversitesi, Maden MYO, Elazığ, Türkiye

²Fırat Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Elazığ, Türkiye

ÖZET: Bu makalede, alan zayıflatmasız ve alan zayıflatmalı, akı ve moment döngülü akım referanslı PWM indirekt ileri beslemeli vektör kontrolü yapılmıştır. Alan zayıflatmasız ve alan zayıflatmalı PWM indirekt ileri beslemeli vektör kontrolü çalışması sonucunda, şekillerden anlaşılacağı gibi rotor hızı ve moment grafiklerinin farklı olduğu görülmüştür. Tanıtılan asenkron motorun dinamik modeli ve kontrol yapısının araştırılması için benzetim programları yapılmıştır. Bu programlar için MATLAB programından yararlanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Pwm İndirekt İleri Beslemeli Vektör Kontrolü, Matlab, Kontrolör*

Comparison of PWM Indirect Feedforward Vector Controls with Field Weakness and Field Attenuator , Cycle Flux and Torque Current Reference

ABSTRACT: In this article PWM indirect feed forward vector control with field weakness and field attenuator, flux and torque cycle, and with current reference have been carried out. As a result of this work related to PWM indirect feed forward vector control with field weakness and field attenuator, plots associated with rotor speed and torque have turned out to be different. as shown in Figures. In order to investigate proposed dynamic model and control structure of induction motor, a simulation software has been developed using MATLAB.

Keywords: *Feedforward indirect vector PWM Control, Matlab, Controller*

1. GİRİŞ

Bu çalışmada üç fazlı asenkron makinenin dolaylı rotor akısı alan yönlendirmesi ile vektör kontrolünün benzetimi yapılmış olup, ayrıca bu benzetimde Bang-Bang evirgeci kullanılmıştır. İlk olarak Hasse (1969) ve Blasckhe (1972) tarafından ortaya atılan alan yönlendirme yöntemi ile asenkron motorların momenti birbirinden bağımsız akı ve moment bileşenleri üzerinden kontrol edilebilmektedir.

Vektör kontrol veya transvektör kontrol isimlerinin de kullanıldığı bu yöntem 1980'lerin başına kadar, uygulanmasındaki teknolojik zorluklar nedeniyle çok az dikkat çekmiştir. Ancak sayısal işaret işleme tekniklerindeki gelişmeler ve yarıiletken anahtarlama elemanlarının performanslarındaki artışlar ile alan yönlendirmeli asenkron motor kontrolü üzerindeki çalışmalar yoğunlaşmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Manyetik Alan Zayıflatması

Bütün asenkron motorlarda kaçınılmaz olarak meydana gelen ve hızla artan bir elektromotor kuvveti oluşur. Bu e.m.k., yüksek hızlarda stator geriliminin büyük bir kısmını oluşturur. Bunun için bu e.m.k.'nın, sürücü sistemde kullanılan evirgeç tarafından sınırlandırılması gerekir. Yüksek hızlar için denklem aşağıdaki şekilde sadeleştirilebilir (Altun, H.,2001)

$$V_{sq} \approx w_e \frac{L_m^2}{L_r} I_{mrd} \approx w_r \frac{L_m^2}{L_r} I_{mrd} \quad (1)$$

Belirlenen hızın üzerinde motorun hızı veya w_e artacak olursa, manyetik alanın zayıflatılması gerekir. Stator gerilimi, maksimum seviyesine ulaştıktan sonra motor performansının iyi olması için, sabit tutulması gerekir.

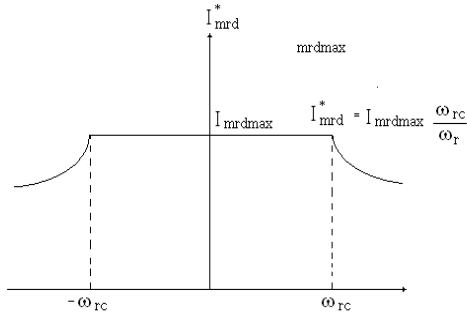
$$V_{sq} = w_{rc} I_{mrd \max} = w_r I_{mrd} = \text{sabit} \quad (2)$$

Burada $I_{mrd \max}$ alan zayıflatması olmadan meydana gelecek mıknatıslanma akımıdır. w_{rc} ise rotor köşe frekansıdır. Şekil 1.'de bu ilişki gösterilmektedir.

Böylece, stator mıknatıslanma akımının gerçek referans değeri denklem 2'den aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$I_{mrd}^* = \frac{w_{rc}}{w_r} I_{mrd \max} \quad (3)$$

Bu durumda, alan zayıflatması yapılabilmesi için bir alan kontrolörü gerekir. Bir I_{sd} 'nin referans değerini üretmek üzere I_{mrd}^* ve I_{mrd} akımlarını karşılaştırması gerekir.



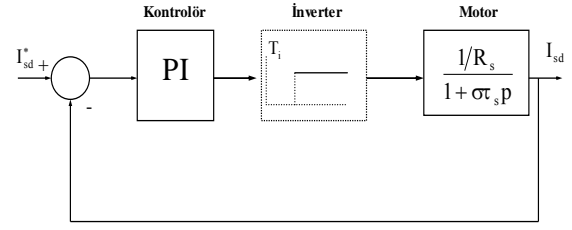
Şekil 1. Alan zayıflatması

2.2 Akım Kontrolörleri

Akım kontrolörleri, I_{sd} ve I_{sq} akımlarını referans değerleriyle karşılaştırarak stator gerilimlerinin referans değerlerini üretirler.

$$\frac{I_{sd}}{V_{sd}} = \frac{I_{sq}}{V_{sq}} = \frac{1/R_s}{1 + \sigma_s p} \quad \text{ve} \quad \tau_s = \frac{L_s}{R_s} \quad (4)$$

Hem I_{sd} hem de I_{sq} akımları aynı yapıda bir devre ile karşılaştıkları için, bunlar için belirlenecek kontrolör parametrelerinin de aynı olması gerekir. Bu nedenle, Şekil 2' de I_{sd} kontrolü için verilen geribeslemeli kontrol devresi I_{sq} içinde geçerlidir. Burada, evirgecin gecikme zamanı akımların gördüğü devrenin zaman sabitinden çok küçük olduğu düşünülecek olursa, kontrol parametreleri sadece $w_0 = 1/\sigma_s$ doğal frekansı dikkate alınarak belirlenebilir [1].



Şekil 2. Akım kontrol döngüsü

2.3. Hız Kontrolörü

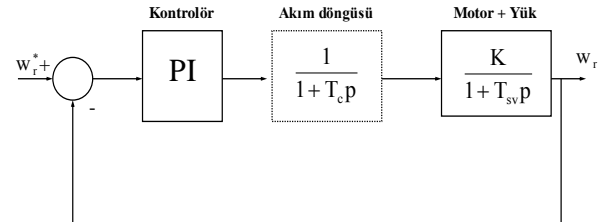
Hız kontrolörü, w_r ve w_r^* frekanslarını karşılaştırarak I_{sq} akımının referans değerini üretir. Bunun sonucu akım kontrolörü I_{sq} akımını, hız kontrolörü tarafından üretilen referans değerine ayarlar. Alan sabit tutulduğu sürece üretilen moment I_{sq} akımıyla doğru orantılıdır. Yük momenti sadece sürtünme momenti olarak düşünülecek olursa ve Denklem 5'deki hareket denkleminde motorun ürettiği moment şu şekilde ifade edilebilir [2].

$$\frac{2}{P} J_m p w_r = T_m - T_y \quad (5)$$

$$T_y = \frac{2}{P} B_m w_r \quad (6)$$

$$T_e = \frac{2}{P} (B_m + J_m p) w_r \quad (7)$$

Şekil 3'de verilmektedir. Burada gösterilen T_c , akım kontrol döngüsünün zaman sabitidir.



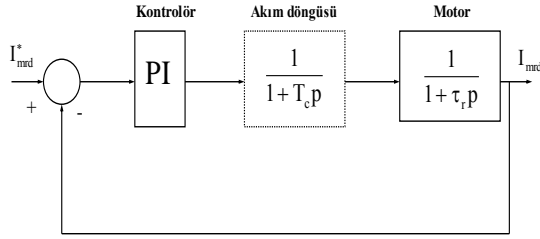
Şekil 3. Hız kontrol döngüsü

2.4. Alan Kontrolörü

Bilindiği gibi I_{sd} akımı referans değerini I_{sq} akımı gibi T_c zaman sabitiyle takip etmektedir. I_{mrd} ile I_{sd} arasında şöyle bir transfer bağıntısı vardır [2].

$$\frac{I_{mrd}}{I_{sd}} = \frac{1}{1 + \tau_r p} \quad (8)$$

τ_r 'nin T_c 'den çok büyük olduğu düşünülecek olursa sistemin doğal frekansı yaklaşık olarak $1/\tau_r$ kadar olur ve buna göre alan kontrolörü parametreleri belirlenebilir.



Şekil 4. Alan kontrol döngüsü

Benzetimde kullanılan denklem takımları;

$$\psi_{sd} = L_s i_{sd} + \frac{3}{2} L_{sr} i_{rd} \quad (9)$$

$$\psi_{sq} = L_s i_{sq} + \frac{3}{2} L_{sr} i_{rq} \quad (10)$$

$$\psi_{rd} = L_r i_{rd} + \frac{3}{2} L_{sr} i_{sd} \quad (11)$$

$$\psi_{rq} = L_r i_{rq} + \frac{3}{2} L_{sr} i_{sq} \quad (12)$$

$$U_{sd} = R_s i_{sd} - w_s \psi_{sq} + p \psi_{sd} \quad (13)$$

$$U_{sq} = R_s i_{sq} + w_s \psi_{sd} + p \psi_{sq} \quad (14)$$

$$0 = R_r i_{rd}' - w_k \psi_{rq}' + p \psi_{rd}' \quad (15)$$

$$0 = R_r i_{rq}' + w_k \psi_{rd}' + p \psi_{rq}' \quad (16)$$

$$T_e - T_y = \frac{2}{P} J \frac{dw_r}{dt} \quad (17)$$

$$i_{mrd} = \frac{i_{sd}}{1 + \tau_r p} \quad (18)$$

$$w_k = \frac{i_{sq}}{\tau_r i_{mrd}} \quad (19)$$

$$U_{sddüz} = -w_e \sigma L_s i_{sq} + \frac{L_m^2}{L_r} p i_{mrd} \quad (20)$$

$$U_{sqdüz} = w_e \sigma L_s i_{sd} + w_e \frac{L_m^2}{L_r} i_{mrd} \quad (21)$$

2.5. Motor Parametreleri

U_N	380 V
I_N	2.7 A
P_N	1.1 kW
n_N	1480 d/d
M_N	7.62 Nm
F	50 Hz
P	:4W
Stator direnci	: 7 Ohm
Rotor direnci (indirgenmiş):	6 Ohm
Stator kaçak indüktansı:	0.02 H
Rotor kaçak indüktansı:	0.02 H
Ortak indüktans:	0.5 H
Eylemsizlik katsayısı (J):	0.0085 Kg m ²

3. SONUÇLAR

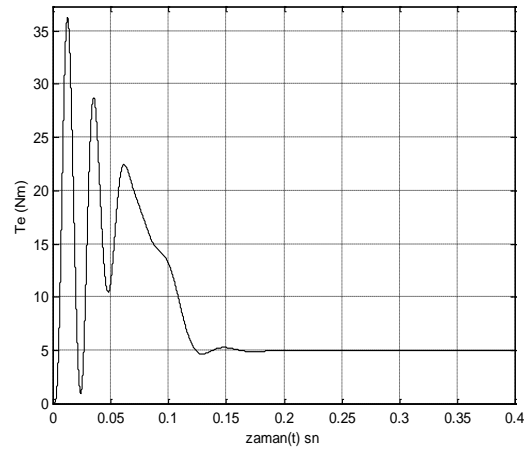
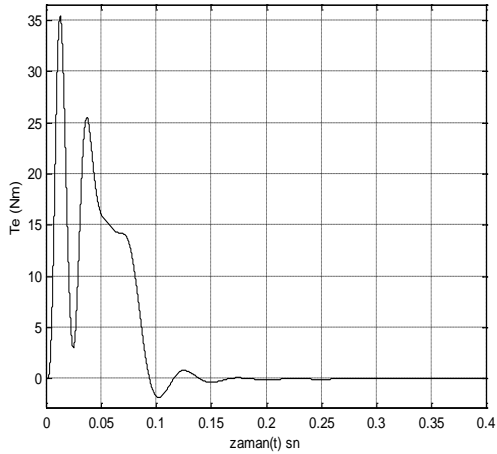
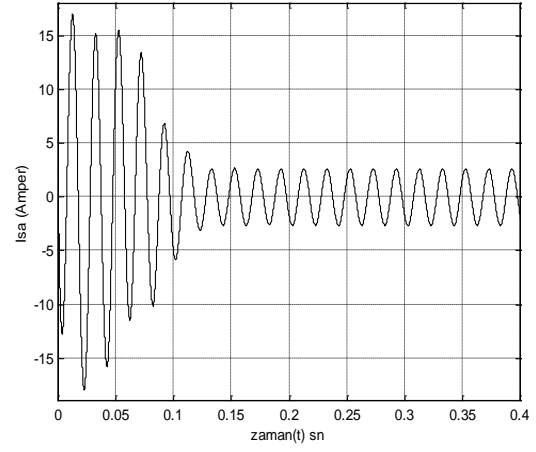
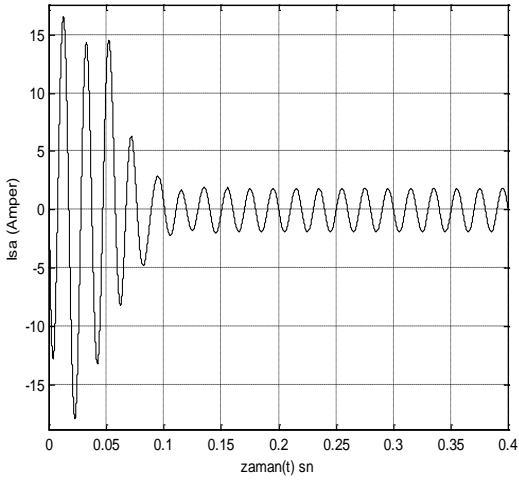
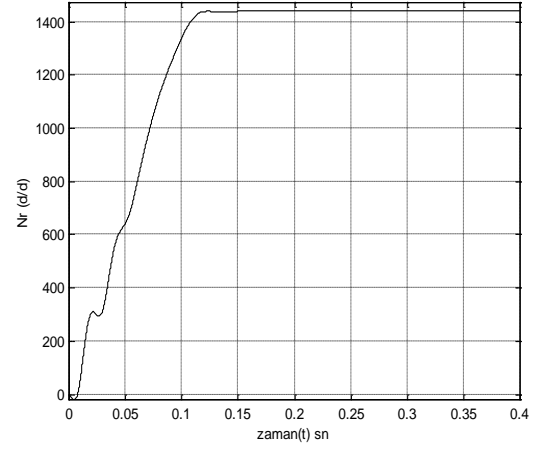
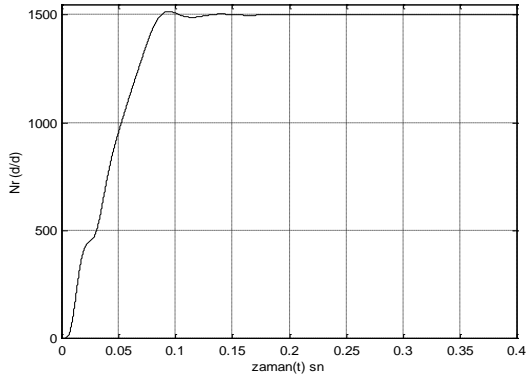
Bu çalışmada, tanıtilan asenkron motorun dinamik modeli ve kontrol yapısının araştırılması için benzetim programı yapılmıştır. Bu programlar için MATLAB 6.5^c dan yararlanılmıştır.

Birinci benzetim programının özellikleri; bu benzetimde sadece eksen dönüşümleri ve sincap kafesli asenkron makinenin d-q modeli ele alınıp, motor kontrolsüz olarak incelenmiştir.

İkinci benzetim programının özellikleri; benzetimde üç fazlı asenkron makinenin, alan zayıflatmasız akı, hız, moment döngülü dolaylı rotor akısı yönlendirmesi ile vektör kontrolü bang-bang tipi inverter ile gerçekleştirilmiştir ve benzetimde sadece alan, hız, moment kontrolü gerçekleştirilip, benzetim incelenmiştir.

Üçüncü benzetim programının özellikleri; benzetimde üç fazlı asenkron makinenin, alan zayıflatmalı akı, hız, moment döngülü dolaylı rotor akısı yönlendirmesi ile vektör kontrolü bang-bang tipi inverter ile gerçekleştirilmiştir ve benzetimde sadece alan, hız, moment kontrolü gerçekleştirilip, benzetim incelenmiştir [2].

3.1. Birinci Benzetim Programının Sonuçları

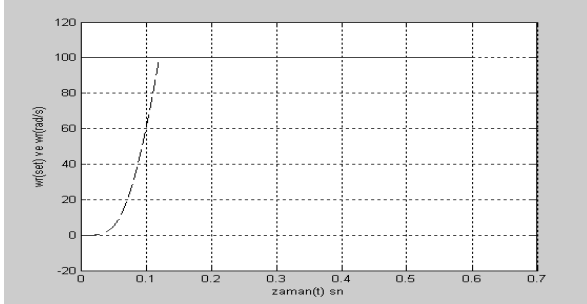


Şekil 5. Asenkron motorun boşta yol almasına ilişkin $I_{s\alpha}$ faz akımı, T_e motor momenti ve hızın benzetim programından elde edilen sonuçlar

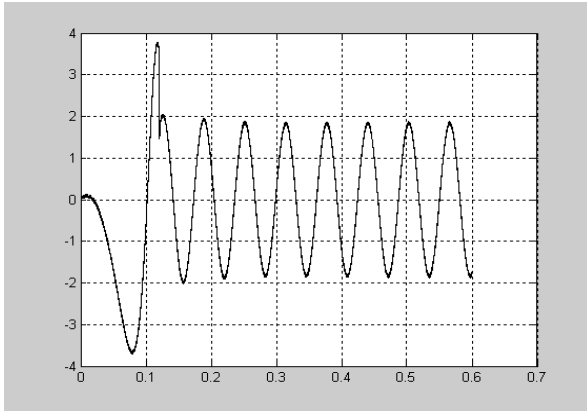
Şekil 6. Asenkron motorun $T_e=5$ Nm' lik yük altında yol almasına ilişkin $I_{s\alpha}$ faz akımı, T_e motor momenti ve hızın benzetim programından elde edilen sonuçlar

3.2. İkinci Benzetim Programının sonuçları

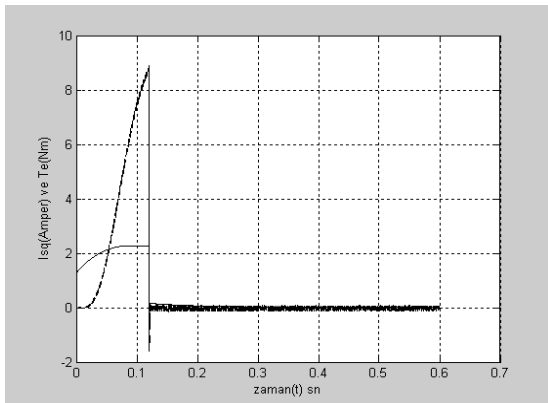
Aşağıdaki sonuçlar; dolaylı rotor akısı yönlendirmesi ile vektör kontrollü asenkron motorun boşa çalıştırılması durumu için alınmıştır.



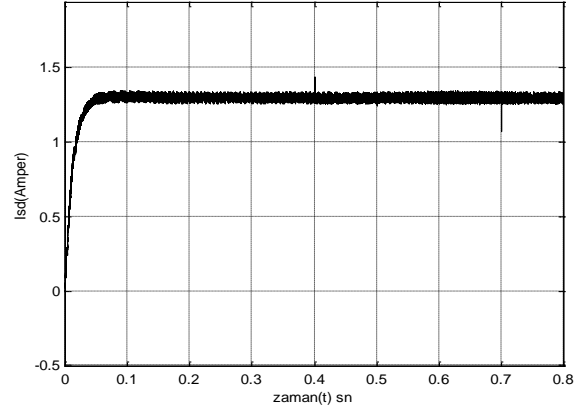
Şekil 7. Referans ve rotor hızlarının zamana göre değişimleri



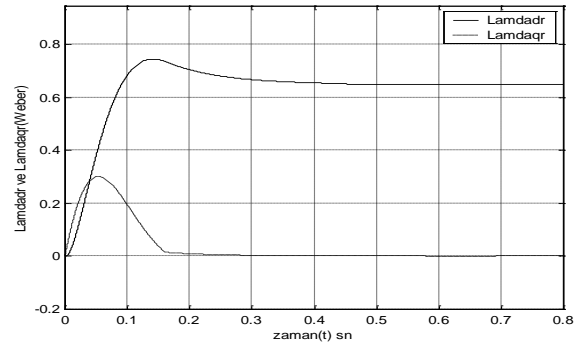
Şekil 8. Isa akımının zamana göre değişimi



Şekil 9. Isq akımının ve Te momentinin zamana göre değişimler

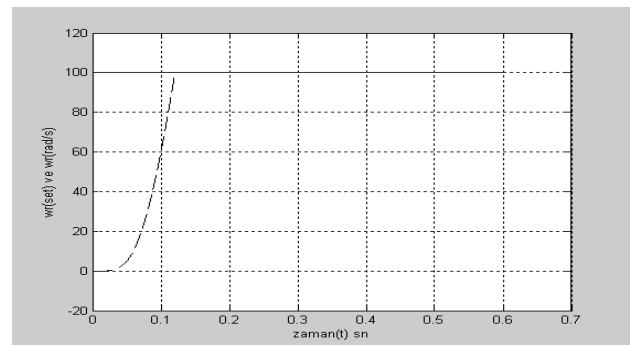


Şekil 10. Isd akımının zamana göre değişimi

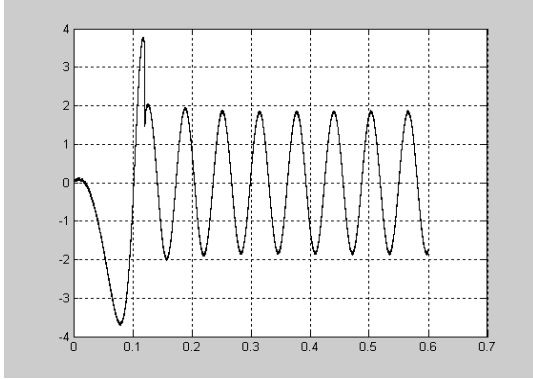


Şekil 11. Lamda (rd) ve Lamda (rq) akılarının zamana göre değişimleri

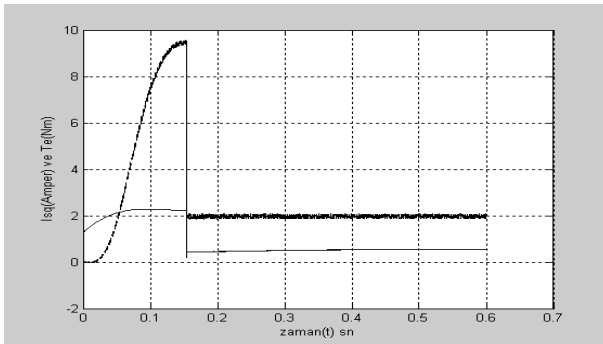
Aşağıdaki sonuçlar; dolaylı rotor akısı yönlendirmesi ile vektör kontrollü asenkron motorun yük momentinin 2 Nt alınması durumu için alınan simülasyon sonuçları:



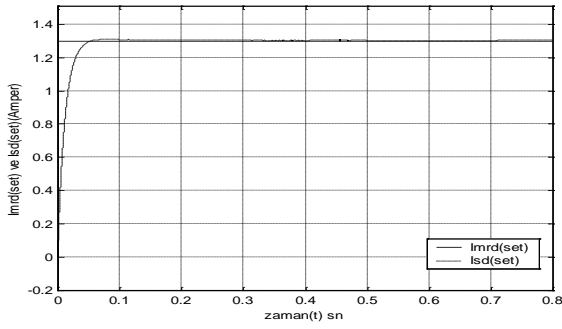
Şekil 12. Referans ve rotor hızlarının zamana göre değişimleri



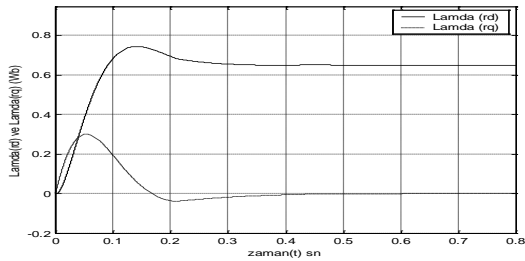
Şekil 13. İsa akımının zamana göre değişimi



Şekil 14. İsq akımının ve Te momentinin zamana göre değişimleri

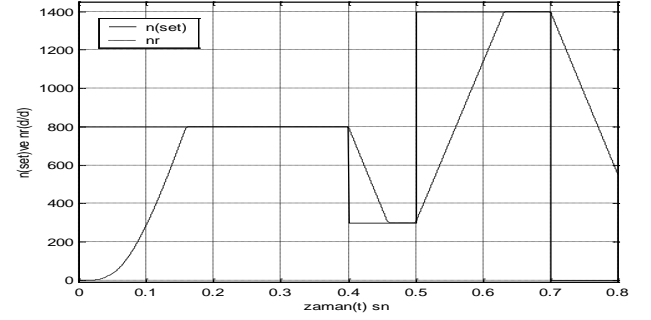


Şekil 15. Imrd (set) ve Isd (set) akımlarının zamana göre değişimleri

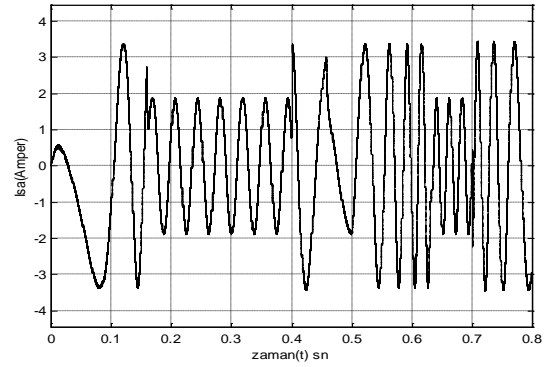


Şekil 16. Lamda (rd) ve Lamda (rq) akımlarının zamana göre değişimleri

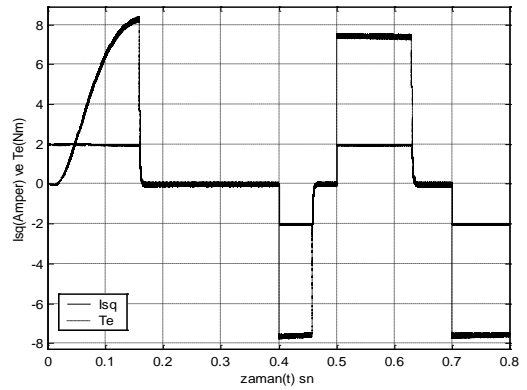
3.3. Üçüncü Benzetim Programının sonuçları



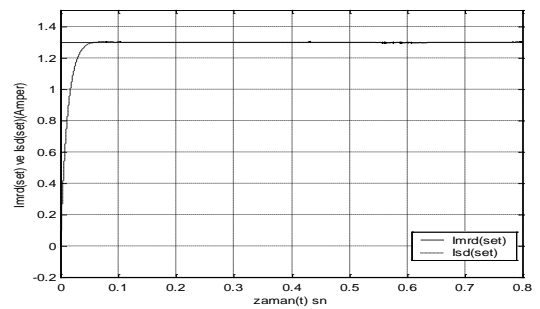
Şekil 17. Referans ve rotor hızlarının zamana göre değişimleri



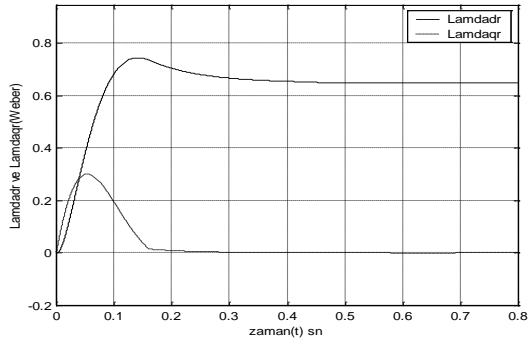
Şekil 18. İsa akımının zamana göre değişimi



Şekil 19. İsq akımının ve Te momentinin zamana göre değişimleri



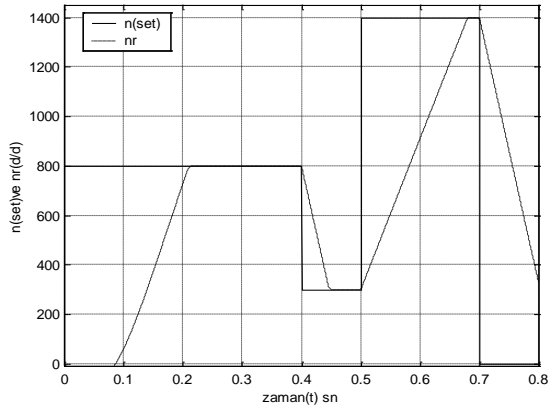
Şekil 20. Imrd (set) ve Isd (set) akımlarının zamana göre değişimleri



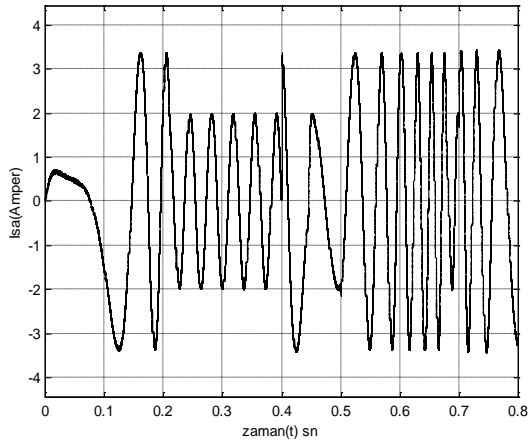
Şekil 21. Lamda(rd) ve Lamda(rq) akılarının zamana göre değişimleri

Aşağıdaki sonuçlar; dolaylı rotor akısı yönlendirmesi ile vektör kontrollü asenkron motorun yük momentinin 2 Nt alınması durumu için alınan simülasyon sonuçları:

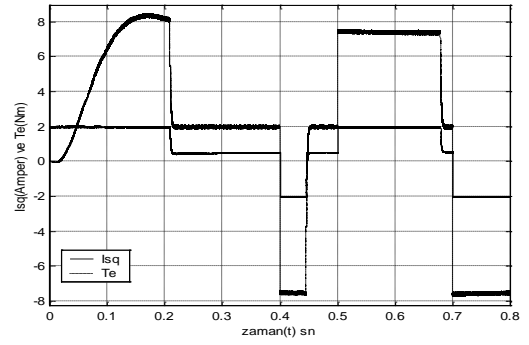
Burada $I_{mrd}(\text{set})=1.3\text{A}$ ve $I_{sq}=2\text{A}$ 'lık referans değerleriyle (7.8Nm 'lik moment referansı) motor momenti oluşturularak rotor dönderilmiştir.



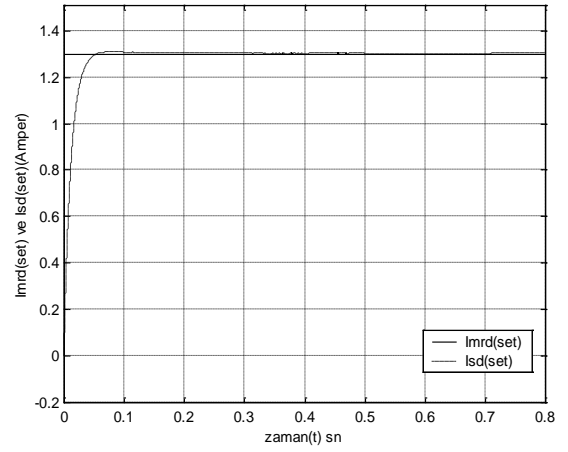
Şekil 22. Referans ve rotor hızlarının zamana göre değişimleri



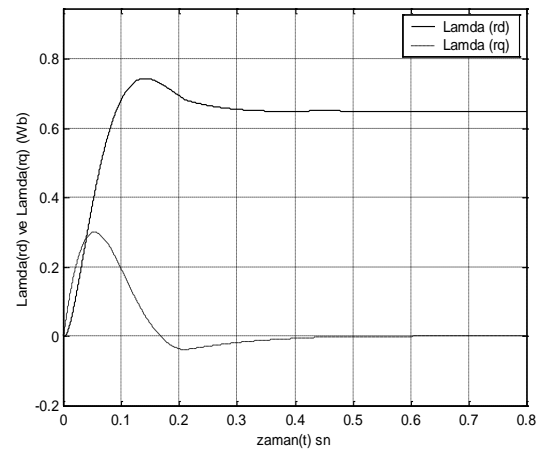
Şekil 23. Isa akımının zamana göre değişimi



Şekil 24. Isq akımının ve Te momentinin zamana göre değişimleri



Şekil 25. Imrd(set) ve Isd(set) akımlarının zamana göre değişimleri



Şekil 26. Lamda(rd) ve Lamda(rq) akılarının zamana göre değişimleri

Şekil 17 ve 22' den de görüldüğü gibi motorun verilen referans hız değerlerini iyi bir şekilde takip etmeye çalıştığı görülmektedir. Motorun momentini, Isq akımıyla kontrol edebiliriz. Şekil 9, 14, 19, 23' de momentin Isq akımını iyi bir şekilde takip ettiği görülmektedir. Geçici rejim durumundaki salınımlar gözönünde bulundurulursa momentin başlangıçta dalgalanma göstermesi normaldir. Alan yönlendirme yönteminin doğruluğunun $\psi_{rq} = 0$ olması durumuna

bağlıdır. Şekil 11, 16, 21, 26 'e bakacak olursak, ψ_{rq} 'nun birkaç salınım yaptıktan sonra sifıra gittiği gözlenmektedir. Buda yapmış olduğumuz benzetim programının geçerliliğini göstermektedir. Alan zayıflatma kullanılmadığı ikinci benzetimde, motorun Alan zayıflatma kullanıldığı üçüncü benzetime göre daha yüksek hızlara çıkamadığı şekil 7, 12, 17' deki şekillerde açık bir şekilde görülmektedir. O yüzden alan zayıflatmayı kullanmak avantajlıdır.

Yapılan literatör taramasında elde edilen şekillere bakıldığında yapılan bu çalışmanın sonucunda elde edilen şekillerin doğruluk derecesinin yüksek olduğu görülmüştür.

REFERANSLAR

- [1] Altun, H., (2001) Lineer Asenkron Motorun Vektör Kontrolü. . Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [2] Polat M., (2007) Alan yönlendirme yöntemlerinin parametre değişimlerine olan bağımlılıkları, hız ve moment kontrolü üzerindeki etkileri. 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 pres.
- [4] Civelek, İ., (1997) Asenkron Motorun Elektriksel Parametrelerinin
- [5] Güzelbeyoğlu, N., (1992). Elektrik makinaları -I-II-, İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi.
- [6] Kaya, İ., (1990). Vektör Kontrollü Asenkron Motor Sürücü Düzeneklerinin Analizi ve Optimizasyonu. Elektrik- Elektronik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi,. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- [7] Kuo, C.B., (1999). Otomatik Kontrol Sistemleri. Literatür Yayıncılık.
- [8] Novoty, D.W.,Lipo,T.,A., (1996) Vector Control And Dynamics of AC Drives. Oxford Univ. Press
- [9] Ong, Chee-Mun, (1998). Power Electronics. Prentice- Hall, Inc.
- [10] Rashid, M.H, (1998). Power Electronics. Prentice-hall. Inc.
- [11]Sarioğlu, K, (1992). Elektrik Makinalarının Temelleri Cilt: III. İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi
- [12] Şenol, İ., Dönmeztürk, K.N.,(200). Sincap Kafesli Asenkron Motorun Kayan Kipli Vektör Kontrol Simulasyonu.Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 8. Ulusal Kongresi. Sayfa 117- 120.
- [13] Vas,P., (1990). Vector Control of AC Machines. Oxford Univ. Press.
- [14] Yüksel,İ.,(2000), MATLAB. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
- [15] 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.