

Vektör Kontrollü Asenkron Motorların RTYSA Temelli Model Referans Adaptif Kontrol ile Değişken Yük Altında Hız Denetimi

*¹Erdal Kılıç, ²Hasan Rıza Özçalık, ³Şaban Yılmaz, ²Sami Şit

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Afşin Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü
²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
³Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü

Özet

Asenkron motorların hız denetiminde, sistemin doğrusal olmayan yapısı, değişen çevre koşulları ve bozucu girişlerin etkisi nedeniyle geleneksel geri beslemeli denetleyiciler ile iyi bir performans elde edilememektedir. Asenkron motor sürücülerinin performansının artırılmasında yapay zekâ tabanlı yöntemlerin kullanılmasının yararları son yıllardaki araştırmalarla açık bir şekilde ortaya konulmuştur. Bu çalışmada radyal tabanlı yapay sinir ağlarından (RTYSA) ve model referans adaptif kontrol (MRAK) yapısından faydalanılarak asenkron motorların hız denetimi için yapay zekâ esaslı bir denetleyici geliştirilmiştir. Asenkron motorun sürme yönteminde, yüksek performanslı sürücü sistemlerinde yaygın olarak kullanılan dolaylı alan yönlendirmeli vektör kontrol tekniği tercih edilmiştir. Geliştirilen bu denetim yönteminin başarısını belirlemek amacıyla benzetim sonuçları geleneksel PI-tipi denetleyici ile karşılaştırılmıştır. Motor fan tipi yük altında iken, denetleyicinin performansı Matlab/Simulink ortamında incelenmiştir. Simülasyon sonuçları RTYSA temelli MRAK denetleyici performansının, geleneksel PI denetleyiciden daha iyi olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları, Model Referans Adaptif Kontrol, Asenkron Motor.

Speed Control of Vector Controlled Induction Motors under Variable Load with RBFNN Based Model Reference Adaptive Control

*¹Erdal Kılıç, ²Hasan Rıza Özçalık, ³Şaban Yılmaz, ²Sami Şit

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Afşin Vocational School, Dept. of Electrical and Energy
²Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Engineering, Dept. of Electrical and Electronics Engg.
³Kahramanmaraş Sütçü İmam University, K.Maras Vocational School, Dept. of Electronics and Automation

Abstract

In the speed control of induction motors, an acceptable good performance cannot be obtained by using traditional feedback controllers due to the non-linear structure of the system, the effects of changing environmental conditions and several disturbance inputs. On the other hand, in recent years, it has been demonstrated that artificial intelligence based control methods were much more successful in the nonlinear system control applications. In this study, an intelligent controller has been developed for speed control of induction motors by using radial basis function neural network (RBFNN) and model reference adaptive control (MRAC) strategy. In the driving of induction motor, indirect field oriented vector control method which is widely used in high-performance drive system has been preferred. Simulation results to determine the success of the development of this control method was compared with conventional PI type controller. While the motor is under the fan-type load, the performance of controller has been investigated in Matlab/Simulink environment. The simulation results demonstrate that the performance of RBFNN based MRAC controller is better than that of conventional PI controller.

Keywords: Radial Basis Function Neural Network, Model Reference Adaptive Control, Induction Motor.

*Corresponding Author: Dept. of Electrical Science, Afşin Vocational High School, K.Maras Sütçü İmam University, 46100 K..Maras, TURKEY. E-mail address: ekilic@ksu.edu.tr, Phone: +90344 280 22 73

1. Giriş

Gelişmiş bir ülkede üretilen elektrik enerjisinin yarısı elektrik motorları tarafından tüketilmektedir. Bu motorların % 90'dan fazlasını ise asenkron motorlar oluşturmaktadır. Asenkron motorlar basit yapıları, az bakım gerektirmeleri ve yüksek verimleri nedeniyle günümüz endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzun bir süre genel amaçlı sabit hız uygulamalarında kullanılan bu motorlar, hızlı teknolojik gelişmelerle birlikte motor sürücülerin kullanılmasıyla değişken hız uygulamalarında da kullanılmaya başlanmıştır. Motor sürücülerinin performansının artırılmasında yapay zekâ tabanlı kontrol yöntemlerin kullanıldığı son yıllardaki araştırmalarda görülmektedir [1-8].

Başarılı bir hız denetimi için asenkron motor sürücülerinin, iyi bir dinamik performans göstermeleri gerekmektedir. Dinamik performans, motorun hız ya da momentinde meydana gelebilecek değişime vereceği tepkinin ölçüsüdür. Asenkron motor sürücülerinde yüksek performans elde etmenin temeli vektör kontrol tekniklerine dayanmaktadır.

Vektör kontrol teorisi, geleneksel kontrol yöntemlerinden daha kararlı ve dinamik performans göstermektedir [9-10]. Vektör kontrol yönteminde asenkron motorun dinamik matematik modeli kullanılarak motorun akı ve tork değişkenlerini bir doğru akım motorunda olduğu gibi birbirinden ayrı olarak kontrol ederek mükemmel bir dinamik performans sağlamaktadır [11-12].

Adaptif kontrol, daha iyi performans ve doğruluk sağlamak için tasarlanan modern kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılan kontrol stratejilerden biridir. Adaptif kontrolün amacı bilinmeyen ve değişen kontrol parametrelerini ayarlamaktır. MRAK algoritması bazı ayarlanabilir denetleyici parametreleri ve bunları ayarlamak için bir ayarlama mekanizması ile doğrudan uyumlu bir kontrol sistemidir [13- 14].

Yapay sinir ağları (YSA), son yıllarda kontrol uygulamalarında büyük bir önem kazanmıştır. YSA'nın doğrusal olmayan sistemleri modelleyebilme yeteneğinden faydalanılarak, doğrusal olmayan yapıya sahip denetleyiciler geliştirilebilmektedir [15]. Sürücü sistemlerinde YSA'nın kullanımı yük ve parametre değişimlerine karşı sistem dayanıklılığı ve performansı üzerinde etkili olmaktadır. YSA, yük parametreleri bilinmeyen bir motorun kontrolünde başarıyla uygulanabilmektedir [16]. İleri beslemeli YSA'nın yapısına benzeyen RTYSA, örüntü tanıma, sistem

modelleme ve kimliklendirme alanlarında yaygın kullanılan güçlü bir hesaplama aracıdır [17]. Bu çalışmada doğrusal olmayan fan tipi yük altında çalışan bir asenkron motorun hız denetimi için RTYSA temelli MRAK denetim algoritmaları bir denetleyici geliştirilmiş ve MATLAB/Simulink ortamında benzetim çalışması yapılmıştır. Çalışmada asenkron motorun sürme yönteminde dolaylı alan yönlendirmeli vektör kontrol yöntemi ve eviricinin anahtarlamasında uzay vektör darbe genişlik modülasyonu kullanılmıştır. Geliştirilen denetleyicinin başarısını belirlemek amacıyla benzetim sonuçları klasik PI tipi denetleyici ile karşılaştırılmıştır.

2. Asenkron Motorun Dinamik Modeli

$$\omega_m = \omega_r / p \quad (1)$$

$$R_E = R_s + \frac{R_r L_m^2}{L_r^2} \quad (2)$$

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r^2} \quad (3)$$

$$\frac{d\varphi_{rd}}{dt} = \frac{L_m R_r}{L_r} i_{sd} - \frac{R_r}{L_r} \varphi_{rd} + (\omega_s - \omega_r) \varphi_{rq} \quad (4)$$

$$\frac{d\varphi_{rq}}{dt} = \frac{L_m R_r}{L_r} i_{sq} - \frac{R_r}{L_r} \varphi_{rd} - (\omega_s - \omega_r) \varphi_{rd} \quad (5)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{3pL_m}{2JL_r} (i_{sq} \varphi_{rd} - \varphi_{rq} i_{sd}) - \frac{B}{J} \omega_r - \frac{T_L}{J} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{di_{sd}}{dt} &= \frac{1}{\sigma L_s} \left[-R_E i_{sd} + \sigma L_s \omega_s i_{sq} + \frac{L_m R_r}{L_r^2} \varphi_{rd} \right. \\ &\quad \left. + \omega_r \frac{L_m}{L_r} \varphi_{rq} + V_{sd} \right] \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{di_{sq}}{dt} &= \frac{1}{\sigma L_s} \left[-R_E i_{sq} - \sigma L_s \omega_s i_{sd} + \frac{L_m R_r}{L_r^2} \varphi_{rq} \right. \\ &\quad \left. - \omega_r \frac{L_m}{L_r} \varphi_{rd} + V_{sq} \right] \end{aligned} \quad (8)$$

Bir sistemin fiziksel davranışının benzetimini yapmak için, matematiksel modelinin çıkarılması gereklidir. Asenkron motorun matematiksel

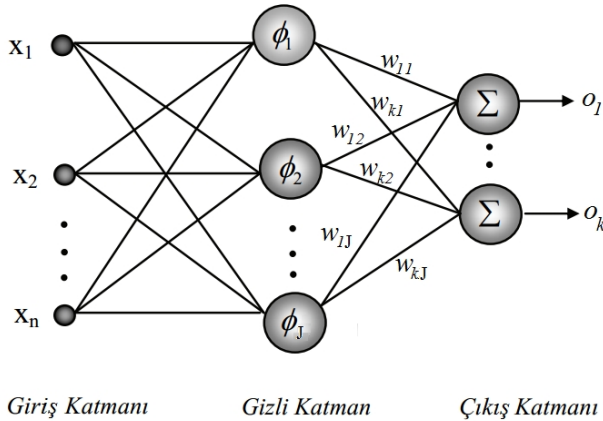
*Corresponding Author: Dept. of Electrical Science, Afsin Vocational High School, K.Maras Sutcu Imam University, 46100 K.Maras, TURKEY. E-mail address: ekilic@ksu.edu.tr, Phone: +90344 280 22 73

modelini elde etmek için motora ait üç faz değişkenleri d-q düzlemine aktarılmaktadır. Böylece senkron hızda dönen d-q eksen takımındaki modele dolaylı alan yönlendirmeli kontrol uygulanarak asenkron motor bir doğru akım motoruna benzetilmektedir. d-q eksen takımındaki durum uzayı eşitlikleri (4-8)'de gösterilmiştir.

Burada ω_s senkron açısal hızı, ω_r rotor açısal hızı, ω_m mekanik açısal hızı, V_{sd} ve V_{sq} d-q eksen stator voltajları, i_{sd} ve i_{sq} d-q eksen stator akımları, ψ_{rd} ve ψ_{rq} d-q eksen rotor akıları, R_s ve R_r stator ve rotor dirençleri, R_E eşdeğer direnç ve σ kaçak faktörü, L_s ve L_r stator ve rotor endüktanslarını, L_m karşılıklı endüktansı ifade etmektedir [3, 18-21]. Asenkron motor, durum değişkenlerinin çarpımlarını içeren doğrusal olmayan 5 adet durum denkleminde (eşitlik 4-8) oluşmuştur. Burada durum değişkenleri i_{sd} , i_{sq} , ψ_{rd} , ψ_{rq} ve ω_m 'dir.

3. Kontrol Sürecinde Kullanılan RTYSA

RTYSA basit yapısı ve hızlı öğrenme algoritması nedeniyle örüntü tanıma, sistem modelleme ve kimliklendirme alanlarında yaygın olarak kullanılan güçlü bir hesaplama aracı olarak kullanılmaktadır [17]. Şekil 1'de yapısı gösterilen RTYSA, çok katmanlı ileri beslemeli YSA yapılarına benzer şekilde giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanı, giriş vektörü boyutunda kaynak düğümlerden oluşmaktadır.



Şekil 1. RTYSA Ağ Yapısı

Doğrusal olmayan birimlerinden oluşan ikinci katman, gizli katman olarak adlandırılır ve giriş katmanındaki her bir düğüme doğrudan bağlıdır. Gizli katmandan çıkış katmanına ise doğrusal bir dönüşüm gerçekleştirir.

$$\phi_j(x) = \exp\left[-\frac{\|x - c_j\|^2}{\sigma_j^2}\right] \quad (9)$$

RTYSA'da c_j merkez vektörleri, σ_j merkezcil fonksiyonların genişliği ve w_{kj} çıkış katman ağırlıkları uyarlanabilecek parametrelerdir [22-23]. Burada x , giriş vektörüdür. $\|x - c_j\|$ ifadesi x ve c_j vektörleri arasındaki Euclidean uzaklığı belirtmektedir. j . ara düğümün aktivasyon seviyesi ϕ_j 'ye eşittir. Çıkışı ifadesi eşitlik (10) ile verilmiştir. RTYSA yapısındaki parametrelerin güncellenmesi ifadeleri eşitlik (11-13)'te verilmiştir.

$$o_k = \sum_{j=1}^J \omega_{kj} \phi_j(x) \quad (10)$$

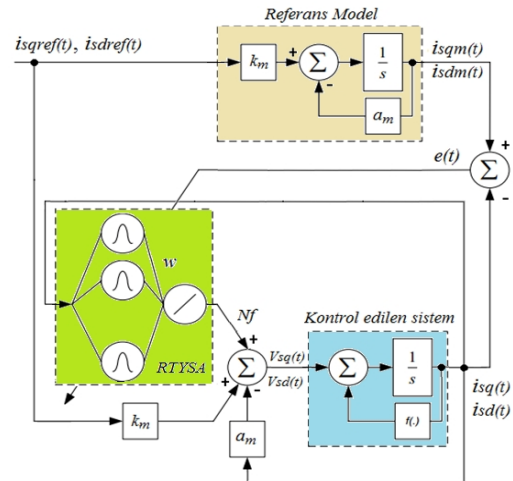
$$w_{kj}(t+1) = w_{kj}(t) + \eta e(t) \phi_j \quad (11)$$

$$c_j(t+1) = c_j(t) + \eta e(t) \phi_j w_j(x - c_j) / \sigma_j^2 \quad (12)$$

$$\sigma_j(t+1) = \sigma_j(t) + \eta e(t) \phi_j w_j \|x - c_j\| / \sigma_j^3 \quad (13)$$

4. Model Referans Adaptif Kontrol (MRAK) Yapısı

MRAK sisteminde hedef, bilinmeyen sistem çıkışını, kontrol sisteminin bir parçası olarak verilen referans modelin çıkışına asimptotik olarak yakınsatmaktadır. MRAK sisteminde gerçek sistem ile karşılaştırmaya esas olarak bir matematiksel model (referans model) kullanılır. Referans model sistem tarafından yaklaşılmaya istenen set değerlerini üreten oldukça kararlı doğrusal bir filtredir. Sistem çıkışı ile referans model çıkışı arasında karşılaştırma yapılarak bir hata oluşturulmaktadır. Bu hata işaretinden alınan geri besleme, ayar mekanizmasında kullanılarak denetleyici parametreleri ayarlanmaktadır. Denetim sisteminin performansı modelin gerçek sistemi ne kadar yakından temsil ettiğine bağlıdır [5-6, 24-26].



Şekil 2. RBF temelli MRAK denetleyici

Çalışmada geliştirilen denetleyicinin yapısında kullanılan RTYSA temelli denetleyici, sistemin doğrusal olmayan dinamiklerini kompanze etmek ve referans model çıkışlarını takip etmek üzere kontrol işaretini üretir [26]. Bu yapı kullanılarak elde edilen denetim sistemine ait blok şema Şekil 2'de verilmiştir [27]. d-ekseni için oluşturulan ifadeler q-ekseni için verilen ifadelerle benzer yapıdadır. Sistem yapısıyla ilgili diferansiyel eşitlik aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\dot{i}_{sq}(t) + f[i_{sq}(t)] = V_{sq}(t) \quad t \geq 0 \quad (14)$$

Burada $V_{sq}(t)$ sistemin kontrol işareti, $i_{sq}(t)$ sistemin çıkış işareti ve $f(\cdot)$ reel sayılar kümesinde sürekli olarak değişebilen doğrusal olmayan statik fonksiyondur. Referans model sürekli zaman aralığında lineer ve kararlı özelliktedir. Referans modele ait diferansiyel eşitlik aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\dot{i}_{sqm}(t) + a_m i_{sqm}(t) = k_m i_{sqref}(t) \quad t \geq 0 \quad (15)$$

Burada $i_{sqm}(t)$ çıkış sinyali, $i_{sqref}(t)$ referans giriş sinyali ve $a_m > 0$, $k_m > 0$ 'dır. Denetim işareti için önerilen denetim kuralı eşitlik (16)'da, RTYSA ağının çıkış değeri olan N_f eşitlik (17) ile verilmektedir. Eşitlik (14 ve 15) birleştirilirse eşitlik (16) elde edilmektedir [26-29].

$$V_{sq}(t) = -a_m i_{sq}(t) + k_m i_{sqref}(t) + N_f [i_{sq}(t), w(t)] \quad (16)$$

$$N_f [i_{sq}(t), w(t)] = \sum_{j=1}^J w_j(t) \exp \left[\frac{\|i_{sq}(t) - c_j\|^2}{2\sigma^2} \right] \quad (17)$$

$$\begin{aligned} & \left[\dot{i}_{sq}(t) - \dot{i}_{sqm}(t) \right] + a_m [i_{sq}(t) - i_{sqm}(t)] \\ & = N_f [i_{sq}(t), w(t)] - f[i_{sq}(t)] \end{aligned} \quad (18)$$

RTYSA denetleyicinin $w(t)$ ağırlık vektörü, $e(t)$ hata sinyali ile uyarlanabilen kontrol parametreleridir.

$$e(t) = i_{sq}(t) - i_{sqm}(t) \quad (19)$$

N_f değeri $f(\cdot)$ değerine yaklaştığı zaman eşitlik (18), eşitlik (20) gibi yazılabilir.

$$\dot{e}(t) + a_m e(t) \approx 0 \quad (20)$$

6. Benzetim Çalışması

Çalışmada kullanılan asenkron motora ait parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Motor Parametreleri

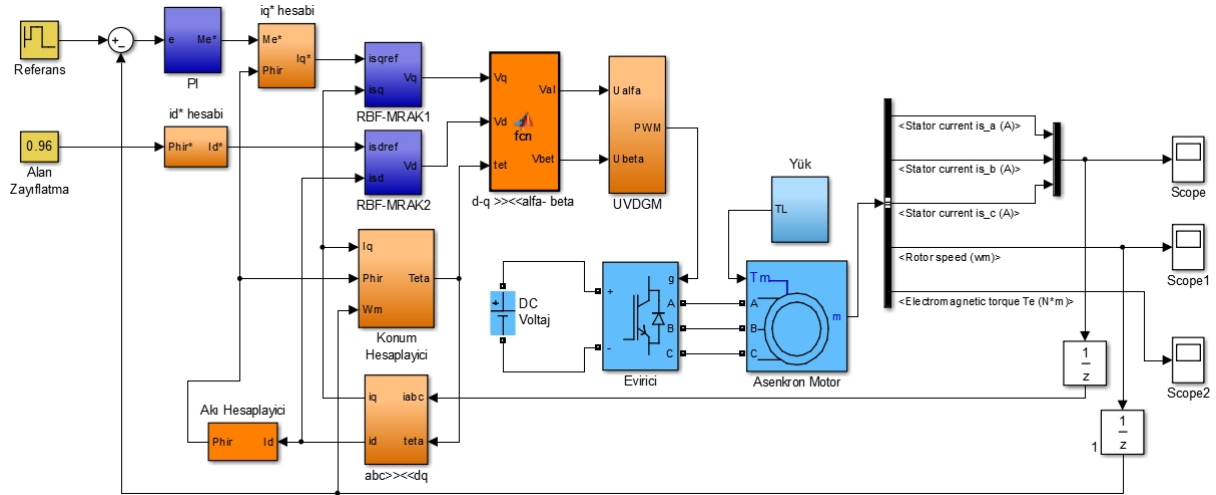
Parametre	Değeri
Nominal Güç [P]	3kW
Nominal Devir [n]	1430d/d
Nominal Gerilimi [U]	380V
Nominal Akım [I]	6.7A
NominalYük Momenti[M]	19Nm
Kutup Sayısı[p]	2
Frekans [f]	50 Hz
Rotor Faz Sargı Direnci [R _r]	1.93Ω
Stator Faz Sargı Direnci [R _s]	1.45Ω
Mıknatıslanma Endüktansı[L _m]	187,8 mH
Stator Sargı Endüktansı [L _s]	200 mH
Rotor Sargı Endüktansı [L _r]	197mH
Rotor Eylemsizlik Momenti[J]	0.03 kg.m ²
Sürtünme Moment Katsayısı [B]	0.003Nm.s/rad

Asenkron motorun dolaylı alan yönlendirmeli vektör kontrolü için sistem modeli Şekil 3'e göre MATLAB/Simulink ortamında geliştirilmiştir. Çalışmada V_{sq} ve V_{sd} kontrol işaretlerini oluşturan PI tipi denetleyicilerin yerine RTYSA temelli MRAK tipi denetleyiciler yerleştirilmiştir.

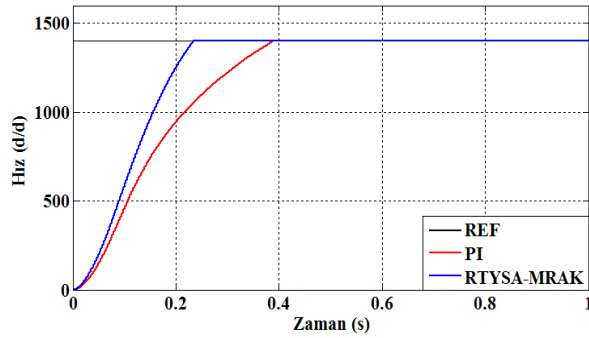
PI denetleyici parametreleri; hız denetleyici için, $K_p=80$, $K_i=5$, tork denetleyici için $K_p=30$, $K_i=10$, akı denetleyici için $K_p=50$, $K_i=20$ olarak belirlenmiştir. Sistemde motorun referans hız değeri 1400 d/d olarak ayarlanmıştır. Motora doğrusal olmayan fan tipi değişken yük ($T_L = k \cdot \omega_m^2$) uygulanarak denetleyicilerin referans hızı takip etme performansları incelenmiştir. Motorun senkron hızı 1500 d/d veya 157 rad/s ve gücü 3 kW'tır.

Buna göre asenkron motorun nominal torku $T_n = \frac{3000 \text{ kW}}{157 \text{ rad/s}} = 19 \text{ Nm}$ ve yük ifadesindeki k sabiti ise $k = \frac{19 \text{ Nm}}{157^2 \text{ rad/s}} = 7,71 \cdot 10^{-4}$ olarak hesaplanmıştır [30].

Denetim sisteminin hız cevabı şekil 4'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi her iki denetimde de herhangi bir aşım oluşmamıştır. Ayrıca sürekli hal hatası da oldukça küçük değerlerde kalmıştır. RTYSA temelli MRAK denetimli çalışmada PI tipi çalışmaya göre yükselme zamanı ve yerleşme zamanı kriterlerine göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir.

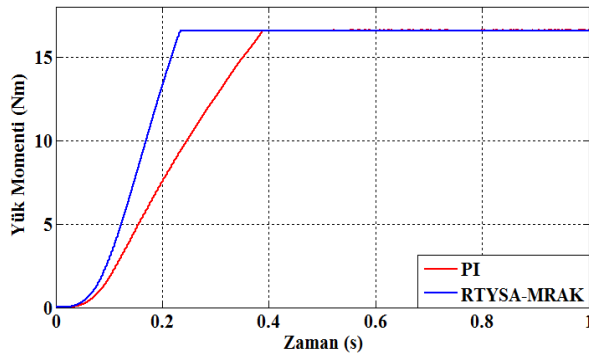


Şekil 3. Asenkron motorun dolaylı alan yönlendirmeli vektör kontrol blok diyagramı



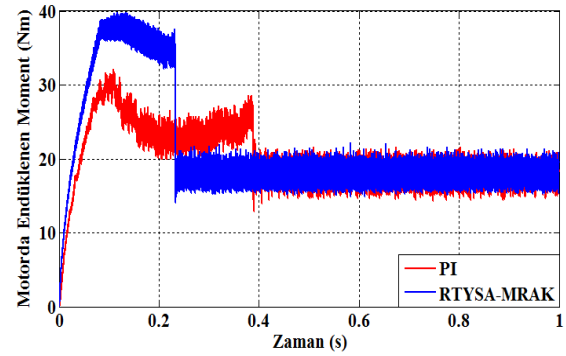
Şekil 4. Hız cevabı

Motora uygulanan ve hız değişimine bağlı olarak değişim gösteren doğrusal olmayan yük momentinin zaman göre değişimi şekil 5'te gösterilmiştir.



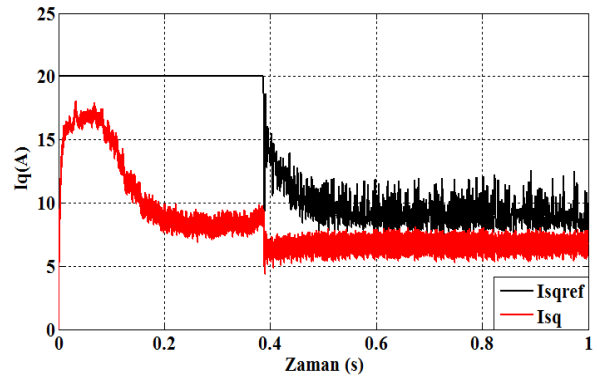
Şekil 5. Doğrusal olmayan yük momentinin değişimi

Yük momentinin referans hız değerine ulaşana kadar doğrusal olmayan bir şekilde değiştiği, referans hız değerine ulaştıktan sonra ise 16,6 Nm'de kaldığı görülmektedir. PI denetiminde referans hıza daha geç ulaşıldığı için yük momentindeki değişiminde daha yavaş olduğu görülmektedir.



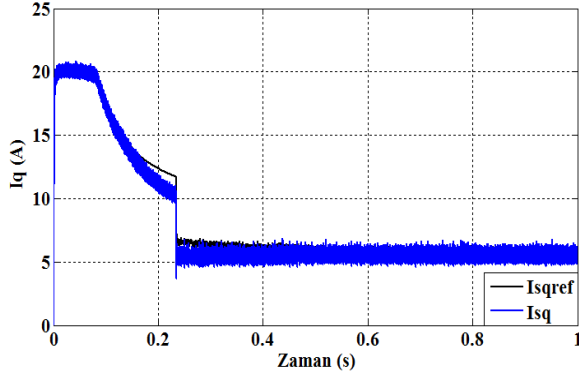
Şekil 6. Motorda indüklenen momentin değişimi

Şekil 6'da asenkron motorda indüklenen moment grafiği incelendiğinde RTYSA-MRAK denetimde PI denetime göre daha az moment dalgalanması olduğu görülmektedir. Her iki tork denetleyicinin başarısı şekil 7 ve 8'de görülmektedir.

Şekil 7. PI tipi çalışmanın I_q akım grafiği

Şekil 7 ve 8'den RTYSA-MRAK denetimli çalışmada referans akım değerini takip etme başarısının, PI tipi denetimden daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir.

*Corresponding Author: Dept. of Electrical Science, Afsin Vocational High School, K.Maras Sutcu Imam University, 46100 K..Maras, TURKEY. E-mail address: ekilic@ksu.edu.tr, Phone: +90344 280 22 73



Şekil 8. RTYSA-MRAK tipi çalışmanın I_q akım grafiği

6. Sonuç

Asenkron motorların endüstriyel alanda geniş bir kullanım alanına sahip olması, bu motorların verimli bir şekilde denetlenmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada, dolaylı alan yönlendirmeli vektör kontrol yöntemi kullanılarak PI tipi denetleyici ve RTYSA temelli MRAK tipi denetleyici ile üç fazlı sincap kafesli bir asenkron motorun doğrusal olmayan fan tipi yük altında hız denetiminin benzetim çalışması MATLAB/Simulink ortamında yapılmıştır. Çalışmada elde edilen grafikler incelendiğinde RTYSA temelli MRAK tipi denetimin PI tipi denetime göre yükselme zamanı, yerleşme zamanı ve moment dalgalanması açısından daha iyi tepki verdiği görülmüştür. Benzetim sonuçlarından, gerçek zamanlı uygulamalarda fan tipi değişken yük altında çalışan asenkron motorların vektör kontrolünde PI tipi akım denetleyiciler yerine RTYSA temelli MRAK tipi denetleyiciler kullanılarak daha başarılı sonuçlar elde edilebileceği öngörülmüştür.

Kaynaklar

- [1]. Chan, T.F. ve Shi, K., “Applied Intelligent Control of Induction Motor Drives”, IEEE Willey Press, First edition, 2011.
- [2]. Sarıoğlu, M.K., Gökaşan, M. ve Boğosyan, S., “Asenkron Makinalar ve Kontrolü”, Birsan Yayınevi, İstanbul, 2003.
- [3]. Menghal, P.M. ve Laxmi, A.J., “Artificial Intelligence Based Dynamic Simulation of Induction Motor Drives”, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), ISSN: 2278-1676 Volume 3, Issue 5, PP 37-45, 2012.
- [4]. Bose, B.K., “Adjustable Speed AC Drive System”, IEEE press, New York, 1981.
- [5]. Ozcalik, H.R., Yıldız, C., Koca, Z., Doganay, S., “An Adaptive Neural Controller for Induction Motor Based on Volt-Hertz Driving Method”, Inista’07, p:96-100, İstanbul, Turkey, 2007.
- [6]. Ozcalik, H.R., Yıldız, C., Danaci, M., Koca, Z., “RBF Based Induction Motor Control with a Good

Nonlinearity Compensation”, Lecture Notes in Computer Science, 4507: 878-886, 2007.

[7]. Demirbaş, Ş., Irmak, E., Bayhan, S. ve Çolak, İ., “Mikrodenetleyici ile Rotoru Sargılı Asenkron Motor Rotor Direncinin Değiştirilerek Tork ve Hız Kontrolü”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 23, No 4, 801-809, 2008.

[8]. Açıkgöz, H., Şekkel, M., “Bulanık Mantık Denetleyici ile Doğrudan Moment Denetim Yöntemi Uygulanan Asenkron Motorun Hız Denetim Performansının İncelenmesi”, Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi (APJES) Cilt.1, Sayı.2, S.50-57, 2013.

[9]. Vas, P., “Sensorless Vector and Direct Torque Control”, New York: Oxford University Press, 1998.

[10]. Tripura, P., Babu, Y.S.K., “Fuzzy Logic Speed Control of Three Phase Induction Motor Drive” World Academy of Science, Engineering and Technology 60, 2011.

[11]. Mahesh, A., Singh, B., “Vector Control of Induction Motor Using ANN and Particle Swarm Optimization”, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, ISSN 2250-2459, Volume 2, Issue 9, 2012.

[12]. Santisteban, J.A., Stephan, R.M., “Vector Control Methods for Induction Machines: An Overview”, IEEE Transactions on Education, Vol.44, No.2, 2001.

[13]. Jain, P., Nigam, M.J., “Design of a Model Reference Adaptive Controller Using Modified MIT Rule for a Second Order System”, Advance in Electronic and Electric Engineering, ISSN 2231-1297, Volume 3, Number 4, pp. 477-484, 2013.

[14]. Loire, S., Fonoberov, V.A. ve Mezic, I., “Performance Study of an Adaptive Controller in the Presence of Uncertainty”, Control Systems Technology, IEEE Transactions on Vol:21, Issue:3, 2013.

[15]. Zilkova, J., Timko, J., Girovsky, P., “Nonlinear System Control Using Neural Networks”, Acta Ploytechnica Hungarica, Vol.3, No.4, 2006.

[16]. Brandstetter, P., Bilek, P., “Applications of Artificial Neural Networks in Control of DC Drive”, International Joint Conference CISIS’12 - ICEUTE’12 - SOCO’12 Special Sessions Advanced in Intelligent Systems and Computing Volume 189, pp.351-360, 2013.

[17]. Zhang, M., Li, W. ve Liu, M., “Adaptive PID Control Strategy Based on RBF Neural Network Identification”, Neural Networks and Brain, ICNN&B’05, International Conference on (Volume:3), published by IEEE, pp. 1854-1857, 2005.

[18]. Zerikat, M., Chekroun, S., Mechernene, A., “Fuzzy-Neural Networks Controller-Based Adaptation Mechanism for MRAS Sensorless Induction Motor Drives”, ELECTROMOTION 2009, EPE Chapter “Electric Drives” Joint Symposium, Lille, France, 2009.

- [19]. Amrane, A., Louri, M., Larabi, A., Hamzaoui, A., "A Fuzzy Model Reference Adaptive System Control for Induction Motor Drives", Proceedings of the 3rd International Conference on Systems and Control, Algiers, Algeria, October 29-31, 2013.
- [20]. Zhou, Y., Li, Y., Zheng, Z., "Research of Speed Sensorless Vector Control of an Induction Motor Based on Model Reference Adaptive System", International Conference on Electrical Machines and Systems, ICEMS 2008, pp:1381-1384, 2008.
- [21]. Rezgui, S.E. ve Benalla, H., "High Performance Controllers for Speed and Position Induction Motor Drive using New Reaching Law", International Journal of Instrumentation and Control Systems (IJICS) Vol.1, No.2, 2011.
- [22]. Zareen J. Tamboli, Z.J., Khot, S.R., "Estimated Analysis of Radial Basis Function Neural Network for Induction Motor Fault Detection", International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), ISSN: 2249 – 8958, Volume-2, Issue-4, 2013.
- [23]. Haykin, S., "Neural Networks: A Comprehensive Foundation", 2nd Edition Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 1999.
- [24]. Canigür, E., "Gezgin Robotlar için Model Referans Uyarlamalı Yörünge Takip Kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [25]. Alkan, Ö., "Zamanla Değişen Sistemlerin Bulanık Model Referans Adaptif Kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2011.
- [26]. Şekkeli, M., Yıldız, C., İmal, M., "İklimlendirme HVAC Sisteminin Merkezci Taban Fonksiyonlu Yapay Sinir Ağları (RBF) Kullanılarak Denetlenmesi", 5. Otomasyon Sempozyumu, İzmir, 2009.
- [27]. Patino, D. and Liu., D., "Neural Network Based Model Reference Adaptive Control System," IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B, Vol. 30, No. 1, pp. 198-204, 2000.
- [28]. Pinter, I. ve Lajtai, I., "RBF-MRAC neurocontroller for industrial applications", Proceedings of the 7th International Conference on Applied Informatics, Eger, Hungary, January 28–31, Vol. 1, pp. 247–254, 2007.
- [29]. Cheng, J., Yi, J. ve Zhao, D., "Neural Network Based Model Reference Adaptive Control for Ship Steering System", International Journal of Information Technology, Vol. 11 No. 6, 2005.
- [30]. Mathworks, URL: <http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ug/simulating-variable-speed-motor-control.html> (Erişim zamanı: Ağustos, 18, 2015).