IMSEC 2019 4th International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2019)
Alanya Lonicera Resort & Spa Hotel, April 25-27, 2019 – Alanya, Antalya / TÜRKİYE
Pages: 467-470, Paper ID:194

Conference Paper
Oral Presentation

Asenkron Motor Sürücünün Vektör Kontrolünde Yapay Sinir Ağlarının DSP Esaslı Uygulaması

Erdal Kılıç, Hasan Rıza Özçalık, Ö. Fatih Keçecioğlu, Ahmet Gani[4*]

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye;

Özet

Bu çalışma asenkron motor sürücülerinin kontrolünde yapay sinir ağları (YSA) temelli adaptif kontrol uygulamasını sunmaktadır. Bu motorların kontrolünde yüksek dinamik performans, vektör kontrol tekniği sayesinde elde edilebilmektedir. Sayısal işaret işlemciler (DSP), vektör kontrol yöntemin gerektirdiği karmaşık hesaplamaları yapabilen güçlü mikrodenetleyicilerdir. Bu çalışmada, sanayi tipi üç fazlı sincap kafesli bir asenkron motorun DSP temelli vektör kontrollü sürücü sistemi gerçekleştirilmiştir. Sürücünün hız kontrol performansını arttırmak amacıyla radyal taban fonksiyonlu yapay sinir ağı (RTYSA) temelli model referans adaptif kontrol (MRAK) metodu kullanılarak bir hız denetim algoritması geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlardan elde edilen ölçümler sunulmuş ve önerilen kontrol yapısının oldukça başarılı olduğu açıkça gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asenkron Motor, Vektör Kontrol, Yapay Sinir Ağları, Model Referans Adaptif Kontrol

DSP Based implementation of Artificial Neural Networks in Vector Control of Induction Motor Drive

Abstract

This study presents the application of adaptive control based on artificial neural networks in the control of induction motor drives. High dynamic performance in control of these motors can be achieved by vector control technique. Digital signal processors are powerful microcontrollers capable of performing complex calculations required by the vector control method. In this study, DSP based vector controlled drive system of an industrial type three-phase squirrel-cage induction motor is implemented. In order to improve the speed control performance of driver, a speed control algorithm has been developed by using the radial basis function artificial neural network based model reference adaptive control method. The Experimental results obtained by measurements are presented and it is observed that proposed control structure is considerably successful.

Keywords: Induction Motor, Vector Control, Artificial Neural Network, Model Reference Adaptive Control.

1. GİRİŞ

Asenkron motorlar sağlam ve basit yapıları gibi üstünlükleri nedeniyle endüstride en çok kullanılan motor çeşididir. Ancak karmaşık ve doğrusal olmayan yapısı bu motorların kontrolünü güçleştirmektedir. Bu nedenle motor sürücülerinin performansını artırma, yeni kontrol stratejileri geliştirme, daha verimli motor tasarımları, optimizasyon, arıza tespiti gibi alanlarda yoğun araştırmalar yapılmaktadır [1-5]. Teknoloji alanındaki yeniliklerle birlikte sürekli geliştirilen kontrol stratejileri; asenkron motorların daha etkin ve güvenilir bir şekilde kontrol edilmesine olanak sağlamaktadır.

Asenkron motorlarda alan yönlendirmeli vektör kontrolü, stator akım vektörünü iki bileşenle temsil edip moment kontrolünü akı kontrolünden ayırarak asenkron motorun bir yabancı uyartımlı doğru akım motoru gibi kontrol edilmesine olanak sağlar [6]. Asenkron motorlar gibi doğrusal olmayan, karmaşık ve dinamik sistemlerin denetiminde klasik PI tipi denetleyicilerin performansının düşük olması yapay zekâya dayalı yöntemlerin gelişmesine olanak sağlamıştır [7-9].

YSA, doğrusal olmayan yapısı, genelleme, öğrenme kabiliyeti, hata toleransı ve adaptif yeteneğinden dolayı doğrusal olmayan dinamik sistemleri modellemek ve kontrol etmek için

*Corresponding authour
Email: agani@ksu.edu.tr

yaygın olarak kullanılmaktadır [10, 11]. YSA'nın motor sürücü sistemlerinde kullanımı, yük ve parametre değişimlerine karşı sistem dayanıklılığı ve performansı üzerinde etkili olmakta ve motor kontrolünde başarıyla uygulanabilmektedir [12]. RTYSA, hızlı öğrenme ile uzun hesaplamaları engelleyen basit ağ yapısı nedeniyle büyük ilgi görmüş ve birçok alanda uygulanmıştır [13,14].

MRAK sistem çıkışı ile referans çıkış arasındaki farkı kullanarak bir ayar mekanizması ile kontrol parametreleri uyarlanabilen gelişmiş kontrol sistemleri tasarlamak için kullanılan bir yöntemdir [15-17]. MRAK yönteminin asenkron motorların hız denetleyicisi olarak oldukça karmaşık olan tasarımı yapay zekâ teknikleriyle basitleştirilebilir.

Bu çalışmada MRAK ve RTYSA, vektör kontrollü asenkron motor sürücünün denetim performansını artırmak için birlikte kullanılmıştır. Tasarlanan denetim algoritması ve vektör kontrol tekniği gerçek zamanlı uygulamalarda yüksek hesaplama gücü gerektirdiğinde mikrodenetleyici olarak DSP kullanılmıştır. Önerilen denetleyicinin başarısı ve üstünlüğü yük bozulmalarına karşı dayanıklı olduğu deneysel çalışmalarla ortaya konulmuştur.

2. DENETLEYİCİ TASARIMI

Önerilen RTYSA temelli MRAK denetleyicinin yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir. Bir asenkron motorun elektromekanik dinamik ifadesinden birinci derece dinamik modeli (1) denkleminde, sistem ve referans model ile ilgili diferansiyel eşitlikler ise (2) ve (3) denklemlerinde verilmiştir.

$$\frac{d\omega_m}{dt}+\frac{B\omega_m}{J}+\frac{M_L}{J}=\frac{M_e}{J}\Rightarrow\frac{d\omega_m}{dt}+f(\omega_m)=M_e^{ref} \quad (1)$$

$$\dot{\omega}_m+f(\omega_m)=M_e^{ref} \quad (2)$$

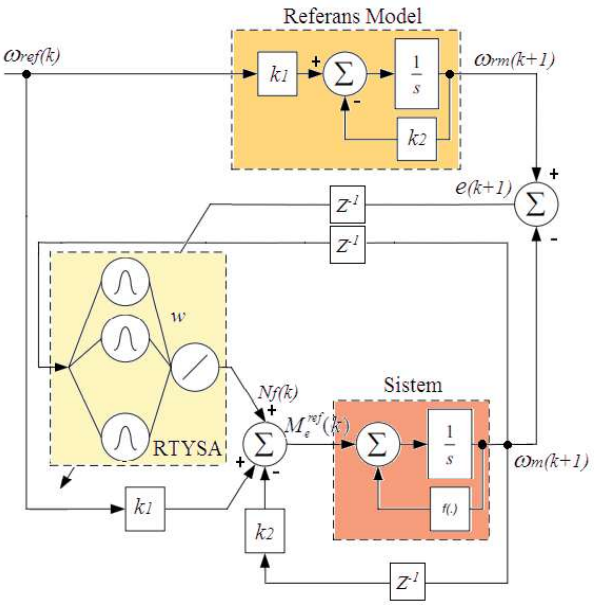
$$\dot{\omega}_{rm}+k_2\omega_{rm}=k_1\omega_{ref} \quad (3)$$

Burada ω_m motorun mekanik hızını, M_e^{ref} kontrol sinyalini, $f(\omega_m)$ ise hız, yük momenti ve sistemden gelen bilinmeyen doğrusal olmayan kısımları temsil eden bir fonksiyondur. ω_{ref} referans hızı, ω_{rm} referans model çıkışını göstermektedir. Model ifadesindeki k_1 ve k_2 ise pozitif katsayılardır. MRAK metodunda değişkenleri düzenleyen mekanizma; pasiflik teorisi, gradyant yöntemi, Lyapunov teorisi gibi bir kararlılık teorileri kullanmak suretiyle gerçekleştirilebilir. Böylece tüm sistemin kararlılığı ve adaptasyon yakınsaması garanti edilir [18-20].

Adaptif kontrol tasarımının temeli kontrol kuralını formüle etmektir. Denetleyici tasarımı için, kontrol kuralı aşağıdaki gibi önerilebilir:

$$M_e^{ref}=-k_2\omega_m+k_1\omega_{ref}+N_f(\omega_m,w) \quad (4)$$

Burada N_f RTYSA'nın çıkış vektörü olup sistemin *f(.)* ile gösterilen doğrusal olmayan kısmını kompanze etmektedir. *w* ise RTYSA'nın ağırlık vektörüdür ve N_f ile *f(.)*arasındaki hatayı en aza indirmek için çevrimiçi olarak güncellenmektedir. N_f aşağıdaki gibi ifade edilir.



Şekil 1. RTYSA temelli MRAK denetleyici yapısı

$$N_f(\omega_m,w)=\sum_{j=1}^{J}w_j\exp\left(\left\|\omega_m-c_j\right\|^2/2\sigma^2\right) \quad (5)$$

(2), (3) ve (4) denklemlerinden aşağıdaki ifade elde edilebilir.

$$(\dot{\omega}_m-\dot{\omega}_{rm})+k_2(\omega_m-\omega_{rm})=N_f(\omega_m,w)-f(\omega_m) \quad (6)$$

MRAK'ın ana problemi hatayı sıfıra götüren kararlı bir sistem elde edilmesi için ayarlama mekanizması belirlemektir. Referans model ile gerçek sistem arasındaki hata ve hata dinamiği aşağıdaki gibidir.

$$e=\omega_m-\omega_{rm} \quad (7)$$

$$\dot{(e)}+k_2(e)=N_f(\omega_m,w)-f(\omega_m) \quad (8)$$

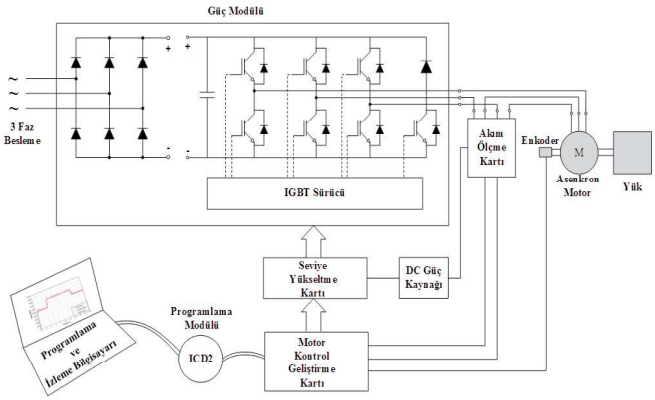
N_f'nin doğru bir şekilde eğitilmesinden sonra, N_f ve *f(.)* arasındaki fark (*e*) sıfır eğilimi gösterir. (9) denklemi, $k_2>0$ olduğu sürece, orijinde denge noktası çerçevesinde asimptotik olarak kararlıdır [18, 21].

$$\dot{e}+k_2e\approx 0 \quad (9)$$

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Microchip firması tarafından geliştirilen dsPIC30F6010 tabanlı motor kontrol geliştirme kartı (MKGK) ile dsPIC programlama cihazı (Programlayıcı), IGBT'li evirici seti, 3 kW üç fazlı sincap kafesli asenkron motor, manyetik fren, enkoder ile tetikleme sinyali yükseltme kartı (TSYK) ve akım ölçme kartı (AÖK) kullanılarak blok diyagramı Şekil 2'de, görseli Şekil 3'te gösterilen deney düzeneği kurulmuştur.

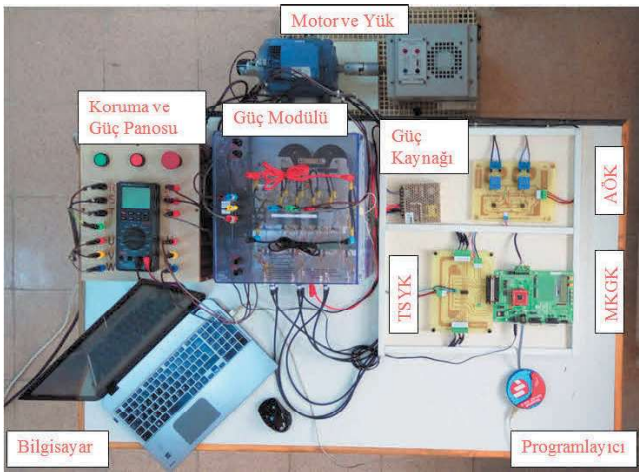
Bu çalışma için geliştirilen akım ölçme kartı vasıtasıyla asenkron motorun stator faz akımlarından ikisi ölçülmekte, üçüncü faz akımı ise hesap yoluyla belirlenmektedir. Motorun hız bilgisi ise motor miline bağlı enkoderden gelen sinyaller kontrol kartına verilerek elde edilmektedir.



Şekil 2. Deney setinin blok şeması

Akım bilgisi ve hız bilgisi kullanılarak mikrodenetleyici programındaki kontrol döngüleri çalıştırmaktadır. Kontrol döngüsü, bu bilgileri kullanarak asenkron motordan istenilen referans hızı takip etmek için gerekli hesaplamaları yaparak evirici çıkışını kontrol edecek tetikleme sinyallerini oluşturmaktadır. MKGK'dan çıkan tetikleme sinyalleri 0-5 V aralığında oldukları için IGBT'leri sürmek için yeterli seviyede değillerdir. Bu sebeple geliştirilen bir seviye yükseltme kartı ile tetikleme sinyalleri 0-5 V'tan 0-15 V aralığına yükseltilmiştir. PWM sinyali 150 µs olarak ayarlanmış ve böylece IGBT'lerin anahtarlama frekansı 6,67 kHz alınmıştır. Hız kontrol döngüsü ise 10 ms'de bir uygulanmıştır.

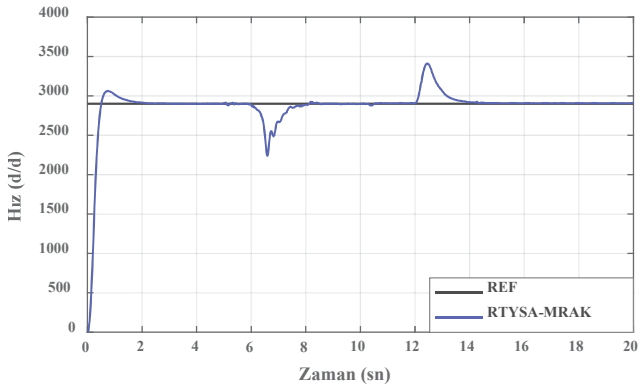
Kontrol sisteminin performansını belirlemek amacıyla asenkron motorun yükte çalışması için manyetik tozlu fren kullanılmıştır. Manyetik tozlu fren sistemleri sürtünmesiz olarak elektronik voltaj kontrolü yardımıyla istenilen torklara kademesiz geçiş yapabilen sistemlerdir. Fren sistemi ayarlı DC güç kaynağı yardımıyla asenkron motorun nominal akım değerine göre ayarlanmıştır.



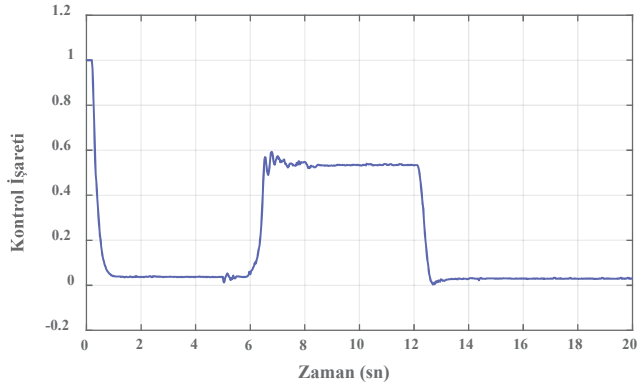
Şekil 3. Deney setinin görseli

4. DENEYSEL SONUÇLAR

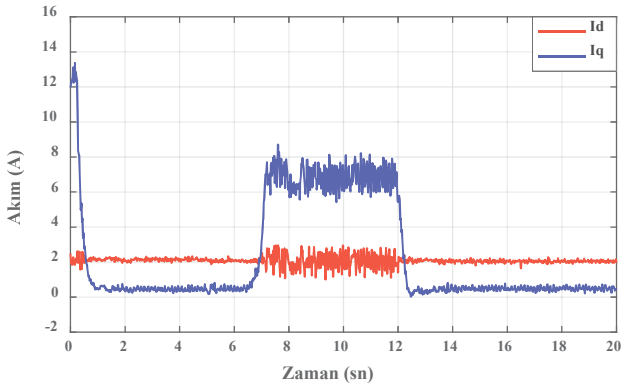
Asenkron motor, 2900 d/d referans hız ile yük uygulanmadan başlatılmıştır. Motora 6.sn'de 9,5 Nm'lik yük ani olarak uygulanmıştır. 12.sn'de ise uygulanan bu yük kaldırılmıştır. Yükün devreye girmesi ve çıkması motor hızında bozucu etkiler oluşturmuştur. Ölçümlerle elde edilen sonuçlar grafik olarak Şekil 4-6'da gösterilmektedir. Sonuç grafiklerinden önerilen denetleyicinin performans kriterleri ve bozucu giriş etkisini düzeltme açısından iyi bir performans gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4. Hız grafiği



Şekil 5. Ölçekli kontrol işareti



Şekil 6. d-q eksen akımları

5. SONUÇ

Bu çalışmada endüstriyel asenkron motor sürücüleri için adaptif, dayanıklı ve güvenilir bir kontrol tasarım algoritması geliştirmek amaçlanmıştır. Buradan hareketle RTYSA ve MRAK tekniğinin birleştirilmesinden oluşan iki temelli bir denetleyici tasarlanmıştır.

Elde edilen deneysel sonuçlar geliştirilmiş RTYSA temelli MRAK denetleyicinin başarısını doğrulamaktadır. Yük değişiminin motor hızında oluşturduğu bozucu etkileri geliştirilen denetleyici kısa sürede ve yumuşak geçişle düzeltmiştir. RTYSA temelli MRAK denetleyici, asenkron motorun dolaylı alan yönlendirmeli vektör kontrolünde deneysel sonuçlara dayanılarak tatmin edici bir performans göstermiştir.

RTYSA temelli MRAK denetleyicinin ayarlanabilen parametreleri çeşitli optimizasyon yöntemleri ile belirlenerek daha etkili bir denetleyici tasarlanabilir. Bu denetleyici, yüksek dinamik performans gerektiren uygulamalarda asenkron motorların vektör kontrolünde hız denetleyicisi olarak kullanılabilir.

5. TEŞEKKÜR BÖLÜMÜ

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi'nin 2014/2-36D numaralı Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

REFERANSLAR

[1] Üstün, S.V., Nur, A., Kaya, M., (2018), PI Katsayıları ve Sistem Performansı Arasındaki İlişkinin Çıkarılmasında ANFIS ve YSA Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21, 322-328.

[2] Barut, M., Yıldız, R., Zerdali, E., (2018), Hız-Algılayıcısız Asenkron Motor Kontrolü İçin Dağılımlı Kalman Filtresi ile Gerçek-Zamanlı Yük Momenti ve Rotor Direnci Kestirimi, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7, 120-128.

[3] Akın, Ö., (2014), Asenkron Motor Kontrol Sürücü Sistemleri için Gömülü Sistem Tasarımları ve Gerçeklenmesi, Ege Üniversitesi, Doktora Tezi, İzmir.

[4] Esen, G.K., Ozdemir, E., (2017), A New Field Test Method for Determining Energy Efficiency of Induction Motor, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 66, 3170-3179.

[5] Uzun., H. Akar, O., Demirci, A., Akuner, M.C.,Terzi,U.K., (2018), Analyzing High Efficiency Asynchronous Motors Using Scalar Control Technique, Balkan Journal Of Electrical And Computer Engineering, 6, 23-26.

[6] Nisha, G.K., Lakaparampil, Z.V., Ushakumari, S., (2016), Torque capability improvement of sensorless FOC induction machine in field weakening for propulsion purposes, Journal of Electrical Systems and Information Technology, DOI.

[7] Zerikat, M., Chekroun, S., (2010), High performance speed tracking of induction motor using an Adaptive Fuzzy-Neural Network Control, International Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing, 2, 231-244.

[8] Dandil, B., Gokbulut, M., Ata, F., (2005), A PI Type Fuzzyneural Network Controller for Induction Motor Drives, Journal of Applied Sciences, 5, 1286-1291.

[9] Tuncer, S., Dandil, B., (2008), Adaptive neuro-fuzzy current control for multilevel inverter fed induction motor, COMPEL-The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering, 27, 668-681.

[10] Kilic, E. Ozcalik H.R., Sit, S., (2016), Üç Fazlı Asenkron Motor İçin Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu Kullanan Yapay Sinir Ağı Temelli Adaptif Hız Kontrol Sistemi Tasarımı, Kahramanmaras Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences, 19, 102-106.

[11] Efe, M.Ö., Kaynak, M.O., (1997), Doğrusal Olmayan Dinamik Sistemlerin Yapay Sinir Ağları Tarafından Tanınması ve Denetimi, TOK'97 Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 20-21 Şubat, pp. 15-28.

[12] Brandstetter, P., Bilek, P., (2013), Applications of Artificial Neural Networks in Control of DC Drive, International Joint Conference CISIS'12-ICEUTE´ 12-SOCO´12 Special Sessions, Springer, pp. 351-360.

[13] Sundararajan, N., Saratchandran, P., Li, Y., (2013), Fully tuned radial basis function neural networks for flight control, Springer Science & Business Media,

[14] Haykin, S., (1999), Neural Networks: A Comprehensive Foundation, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.

[15] Jain, P., Nigam, M., (2013), Design of a model reference adaptive controller using modified MIT rule for a second order system, Advance in Electronic and Electric Engineering, 3, 477-484.

[16] Ding, Z., (2013), Nonlinear and adaptive control systems, IET,

[17] Narendra, K.S., Annaswamy, A.M., (2012), Stable adaptive systems, Courier Corporation,

[18] Patino, H.D., Liu, D., (2000), Neural network-based model reference adaptive control system, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 30, 198-204.

[19] Alkan, Ö., (2011), Zamanla değişen sistemlerin bulanık model referans adaptif kontrolü, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,

[20] Ozcalik, H.R., Yildiz, C., Danacı, M., Koca, Z., (2007), RBF based induction motor control with a good nonlinearity compensation, International Work-Conference on Artificial Neural Networks, Springer, pp. 878-886.

[21] Guo, L., Parsa, L., (2012), Model reference adaptive control of five-phase IPM motors based on neural network, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 59, 1500-1508.