

# FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORUN SAYISAL İŞARET İŞLEMCİ TABANLI KONUM DENETİMİ

**Çetin GENÇER\*, İsmail COŞKUN\*\***

\*Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, 23100, Elazığ

\*\*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, 06500/Teknikokullar/Ankara

Geliş Tarihi : 12.01.2005

## ÖZET

Fırçasız Doğru Akım Motorları (FSDAM) güç elektroniği ve kontrol teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak yüksek performanslı kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Anahtarlamalı kaynaktan beslenen bu motorlarda, salınım olmadan konum denetiminin yapılması arzu edilen bir durumdur. Bu çalışmada, yapısının basit olması nedeniyle bir oransal-türev (PD) denetleyici tasarlanarak, FSDAM'ın sayısal işaret işlemci tabanlı konum denetimi gerçekleştirilmiştir. Benzetim ve deney çalışmalarından tasarlanan denetleyicinin, salınımsız hızlı bir dinamik cevaba sahip olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler :** Fırçasız doğru akım motoru, PD denetleyici, Sayısal İşaret İşlemci

## POSITION CONTROL OF BRUSHLESS DC MOTOR BASED ON DIGITAL SIGNAL PROCESSING

### ABSTRACT

Brushless DC Motors (BLDC) have been used widely high performance control systems which are depended on to development of power electronic and control technology. In these motors to fed commutated supply, the control of position without oscilation has been required. In this study, position control of BLDC with digital signal processing has been implemented by a proportional-derivative (PD) controller because of its simple structure. It has been seen that the controller which is proposed from simulation and experimental studies, has a quick dynamic response with nonoscillation.

**Key Words :** Brushless DC motor, PI controller, Digital signal processing

## 1. GİRİŞ

FSDAM'lar, güç elektroniği ve kontrol teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak yüksek performanslı kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İmalat tekniklerindeki gelişmeler, moment-eylemsizlik oranı büyük ve zaman sabiti küçük motorların imalatını olanaklı hale getirmiştir. Bu motorlar küçük güçlü sürme sistemlerine ihtiyaç duyan robotikler, teyp tahriki, yazıcı ve disket sürücüsü, kelime işlemcisi gibi otomasyon

sistemlerinde ve uzay uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Thoegersen and Blaabjerg 2004).

FSDAM'ların hız ve konum denetimlerinde yapılarının basitliği ve bir çok endüstri uygulamalarında yeterli verimi karşılaması nedeniyle klasik denetleyicilerin kullanım alanları oldukça fazladır. Klasik denetleyicilerden olan PD denetleyicinin, oransal ve türev katsayılarının ayarlanması suretiyle istenilen performans sağlanabilir. PD denetleyici modern denetim

teknikleriyle karşılaştırıldığında, yapılarının basitliği ve maliyetlerinin düşük olması göze çarpan en önemli avantajlarıdır (Mrad and Deeb, 1999). Denetlenecek sistemin modeline ihtiyaç duyması ve en uygun kazanç değerlerinin deneme yanılma yöntemiyle belirlenmesi PD denetleyicilerin dezavantajlarıdır. Ancak bu denetleyiciler FSDAM'ların çok hassas denetim istenmeyen endüstriyel uygulamalarında rahatlıkla kullanılabilir. Çok hassas denetim istenen endüstri uygulamalarda ise modern denetim tekniklerinden olan Bulanık Mantık (BM), Yapay Sinir Ağları (YSA), Genetik Algoritma (GA) ve Sinirsel Bulanık Denetleyici (SBD)'ler klasik denetleyicilere göre daha iyi sonuçlar vermektedir (İbrahim and Levi, 2002).

Bu çalışmada FSDAM'ın dinamik modelinden yararlanarak vektör denetimi yapılarak gerçek zamanlı olarak konum denetimi gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmaları MATLAB/SIMULINK programı ile model dosyası hazırlanarak yapılmıştır. Deney çalışmaları için ise bir deney düzeneği hazırlanıp dSPACE 1104 denetleyici kartı kullanılarak gerçek zamanlı bir denetim sağlanmıştır.

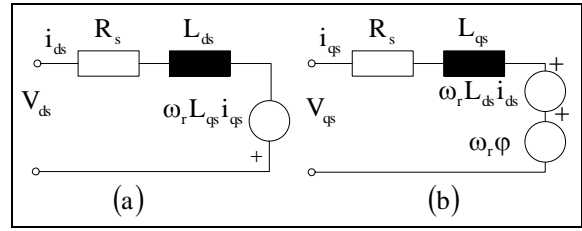
## 2. FSDAM'IN ROTOR REFERANS DÜZLEMİNDE MATEMATİKSEL MODELİ

Bu model, yabancı uyarımlı DA motor modeline benzemektedir ve motor denetim yapısı bu model kullanılarak gerçekleştirilir. Bu modelde, motora ait sabit düzlemdeki stator değişkenleri dönen rotor düzlemine aktarılır. Bu sayede, eşitliklerin derecesi indirgenerek çözümleri daha hızlı olur ve FSDAM'ın vektör denetimi gerçekleştirilebilir. Ancak bu modelde referans düzleminin hızının bilinmesi gereklidir (Pillay and Krishnan, 1989; Demirbaş ve Bal, 1997).

Şekil 1'de FSDAM'ın stator değişkenlerinin rotor referans düzlemine aktarılmış eşdeğer devresi görülmektedir. Burada akım ve gerilim eşitlikleri üç-fazdan iki-faza Park dönüşümü kullanılarak aktarılmaktadır. Şekil 1'den elde edilen FSDAM'ın rotor referans düzleminde stator gerilim eşitlikleri Eş. 1 ve Eş. 2'deki gibi elde edilebilir.

$$V_{ds} = R_s i_{ds} - \omega_r L_{qs} i_{qs} + L_{ds} \frac{d(i_{qs} + \varphi)}{dt} \quad (1)$$

$$V_{qs} = R_s i_{qs} + \omega_r L_{ds} i_{ds} + L_{qs} \frac{di_{qs}}{dt} + \omega_r \varphi \quad (2)$$



a) d-ekseni eşdeğer devresi; b) q-ekseni eşdeğer devresi

Şekil 1. Rotor referans düzleminde FSDAM modeli

$\frac{d}{dt} \varphi = 0$  olduğundan dolayı Eş. 1 ve Eş. 2 yeniden düzenlenirse Eş. 3 ve Eş. 4 elde edilir.

$$V_{ds} = R_s i_{ds} - \omega_r L_{qs} i_{qs} + L_{ds} \frac{di_{qs}}{dt} \quad (3)$$

$$V_{qs} = R_s i_{qs} + \omega_r L_{ds} i_{ds} + L_{qs} \frac{di_{qs}}{dt} + \omega_r \varphi \quad (4)$$

Eş. 3 ve Eş. 4 düzenlenerek durum-uzay formunda yazılacak olursa Eş. 5 elde edilir.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_{ds}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_{qs}} \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} V_{ds} \\ V_{qs} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R_s & 0 \\ 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} + \omega_r \begin{bmatrix} 0 & L_{qs} \\ L_{ds} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} - \frac{P\omega_r}{2} \begin{bmatrix} 0 \\ \varphi \end{bmatrix} \right\} \quad (5)$$

FSDAM'ın ürettiği elektromanyetik moment ise Eş. 6'daki gibi elde edilir.

$$T_e = 0.75P \left[ \varphi i_{qs} + (L_{ds} - L_{qs}) i_{qs} i_{ds} \right] \quad (6)$$

FSDAM'da rotor manyetik akısı sabit mıknatıs tarafından karşılandığından ve rotor direnci çok yüksek olduğundan dolayı akımın mıknatıslanma bileşeni  $i_{ds} = 0$  olur. Ayrıca mıknatısları rotor yüzeyine yerleştirilmiş olan motorlarda salınım dikkate alınmadığı için, d ve q eksenli endüktansları birbirine eşit olarak alınır. Buna göre motorun ürettiği elektromanyetik moment yeniden yazılacak olursa Eş. 7 elde edilir.

$$T_e = 0.75 \varphi i_{qs} \quad (7)$$

FSDAM'ın rotor referans düzlemi modeli, durum uzay formunda Eş. 8'deki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ \omega_r \\ \theta_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_{qs}} & -\omega_r \frac{L_{ds}}{L_{qs}} & -\frac{\phi}{L_{qs}} & 0 \\ \omega_r \frac{L_{qs}}{L_{ds}} & -\frac{R_s}{L_{ds}} & 0 & 0 \\ \frac{3P^2\phi}{8J} & 0 & -\frac{B}{J} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_q \\ i_d \\ \omega_r \\ \theta_r \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$+ \begin{bmatrix} \frac{1}{L_q} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_d} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{P}{2j} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_q \\ v_d \\ T_L \end{bmatrix}$$

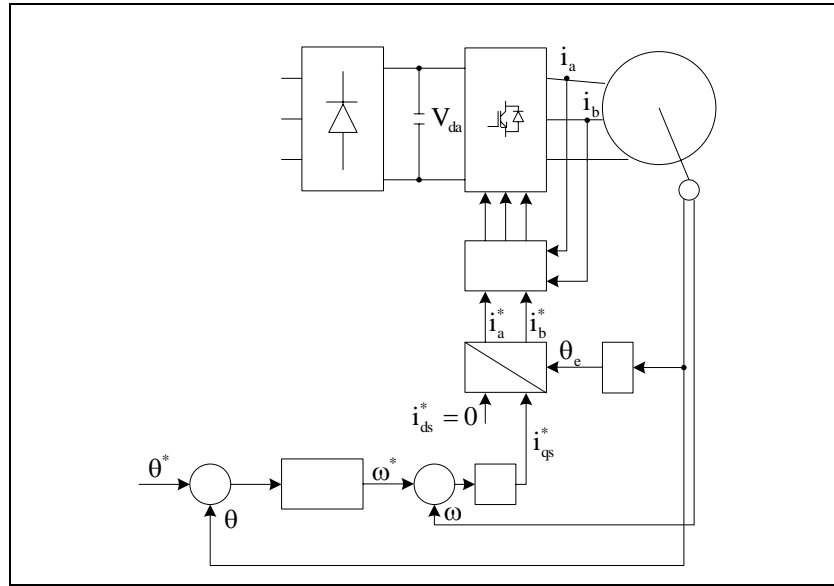
Motorun elektriksel açısal hızı ve konumu ise Eş. 9 ve Eş. 10'daki gibi bulunabilir.

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{(T_e - B\omega_r - T_y)}{j} \quad (9)$$

$$\frac{d\theta_r}{dt} = \omega_r \quad (10)$$

### 3. FSDAM'IN KONUM DENETİMİ

FSDAM'ın konum denetiminde, genellikle doğrusal sistemlere uygulanan geleneksel yöntemler, basitliği ve gerçekleştirme kolaylığı nedeni ile tercih edilen bir denetim yöntemidir. FSDAM'ın konum denetimi için tasarlanan denetim yapısı Şekil 2'de görülmektedir.

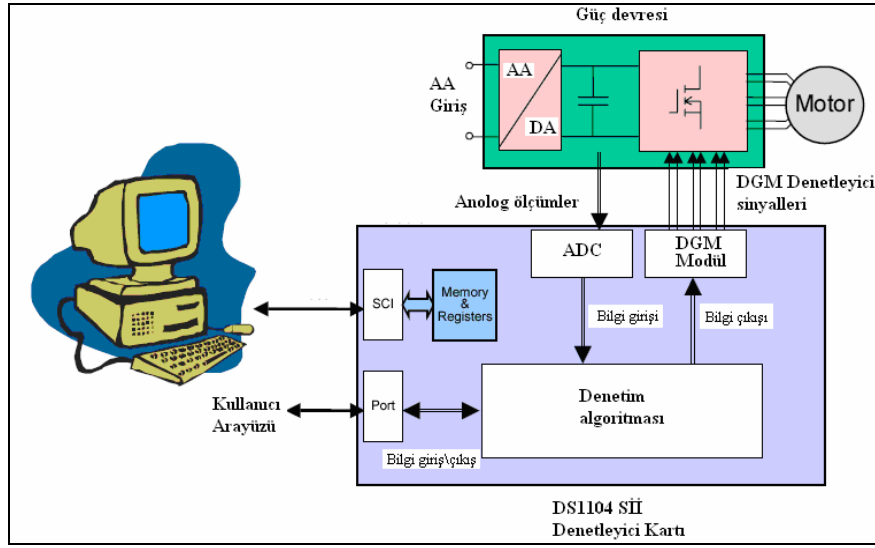


Şekil 2. FSDAM'ın sürme devresi ve denetim yapısı

Şekilden görüldüğü gibi karşılaştırıcının girişleri referans ve gerçek konum değerleridir. İki büyüklük arasındaki farktan bir e hata sinyali elde edilir. Elde edilen konum hatası PD konum denetleyicisinin girişine uygulanır. Denetleyici çıkışı referans hız değeridir. Referans ve gerçek hız değerleri bir karşılaştırıcıdan geçirilerek PI hız denetleyici girişine uygulanır. Denetleyici çıkışından referans  $i_{qs}^*$  akımı elde edilir. FSDAM'ın rotoru sabit mıknatıslı olduğu için akımın mıknatıslama bileşeni  $i_{ds}^*$  sıfır olarak alınmıştır. dq/abc dönüşümü

yapılarak referans faz akımları bulunur. Bu akımlar daha sonra bir akım denetleyiciden geçirilerek eviriciye uygulanır. Evirici çıkışları, FSDAM'ın stator faz sargılarını kontrollü bir şekilde besleyerek, hız ve konum denetiminin gerçekleştirilmesi sağlanır.

FSDAM'ın gerçek zamanlı konum denetimi için oluşturulan deney düzeneği Şekil 3'de görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi FSDAM sürme sistemi, güç devresi, motor, denetleyici kart ve bilgisayardan oluşmaktadır.

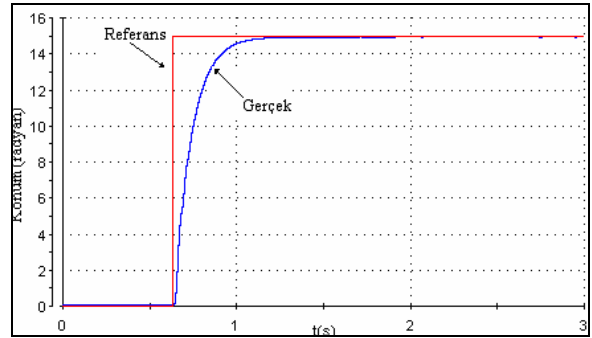


Şekil 3. FSDAM sürme sistemi deney düzeneği

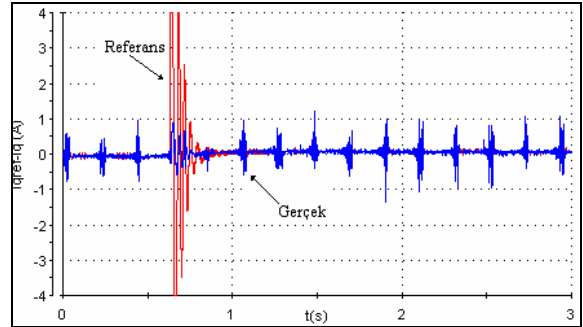
DS1104 denetleyici kartıyla birlikte kullanılan arayüz programı yardımıyla Matlab\Simulink'te model dosyaları oluşturulur. Bu dosyalar yardımıyla gerçek zamanlı olarak FSDAM'ın konum denetimi gerçekleştirilir. Yazılımda kullanılan bütün değişkenler arayüz programı sayesinde gerçek zamanlı olarak değiştirilebilir. Şekilde yazılım ve donanım birimleri birlikte verilmiştir. FSDAM'ın iki faz akımı LEM akım transduceri kullanılarak ölçülmüştür. Bu analog bilgiler sayısal bilgilere dönüştürülüp, yazılım içinde kullanılması sağlanmıştır. Motorun hız/konum bilgisi ise 2500 çözünürlüğe sahip bir enkoder yardımıyla ölçülmüştür.

#### 4. DENEY SONUÇLARI

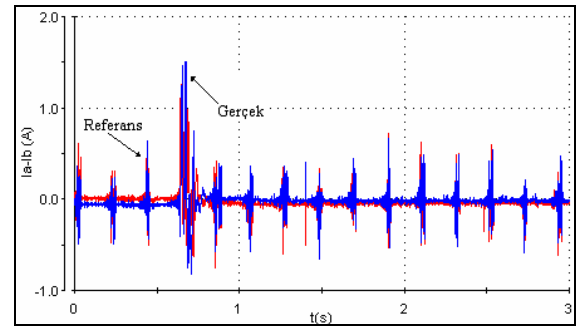
FSDAM'ın PD denetleyici ile konum denetimi için elde edilen deneysel sonuçlar, sabit referans konum değerleri için Şekil 4'de görülmektedir. Şekilden sırasıyla motorun verilen referans konumu izleme başarımı, denetleyici akımının referans akıma göre değişimi ve motorun iki faz eğrisi görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi yaklaşık 0.5 saniyelik bir yerleşme süresi sonunda gerçek konum referans konumu yakalamaktadır. Deney sonuçlarından aşım ve sürekli durum hatasının oluşmadığı görülmektedir. Buradan; FSDAM'ın hassas konum denetimi gerektirmeyen endüstriyel uygulamalarında, geleneksel denetleyicilerin rahatlıkla kullanılabileceği söylenebilir.



a) Motor konumu



b) Denetim akımı



c) Faz akımları

Şekil 4. Geleneksel PD denetleyicinin adım referans konum cevabı deney sonuçları

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada FSDAM'ın PD denetleyici ile konum denetimi gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Denetleyicinin uygun oransal ve türev kazanç değerleri deneme yanılma metodu ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan PD denetleyicinin FSDAM'ın konum denetiminde iyi sonuçlar verdiği ve endüstri uygulamalarında rahatlıkla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Ancak, FSDAM'ın daha hassas konum denetimlerinde modern uzman denetim teknikleri, oransal ve türev kazanç değerlerinin belirlenmesinde etkin bir rol oynayabilir. Bu nedenle modern uzman denetim teknikleri kullanılarak FSDAM'ın konum denetimine ilişkin çalışmalar yapılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

Demirbaş, Ş. ve Bal, G. 1997. Fırçasız Doğru Akım Motorlarında Pozisyon Kontrolü, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10 (4): 455-469.

İbrahim, Z. and Levi, E. 2002. A Comparative Analysis of Fuzzy Logic and PI Speed Control in High-performance AC Drives Using Experimental Approach, Transactions on Industrial Electronics, 38, 5, 1210-1218.

Mrad, F. and Deeb, G. 1999. Experimental Comparative Analysis of Conventional, Fuzzy Logic and Adaptive Fuzzy Logic Controllers, IEEE Industry Applications Conference, Thirty-Fourth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 1999. 1, 664-673.

Pillay, P. and Krishnan, R. 1989. Modeling, Simulation and Analysis of Permanent-magnet Motor Drives, Part I: The Permanent-magnet Synchronous Motor Drive, IEEE Transactions on Industry Applications, 25 (2), 265-273.

Thoegersen, P. and Blaabjerg, F. 2004. Adjustable Speed Drives in the Next Decade: Future Steps in Industry and Academia, Taylor & Francis Inc. Electric Power Components and Systems, (32), 13-31.