

3-FAZLI İNDÜKSİYON MOTORLARIN ÇEVİRİMİÇİ TANILAMASI

İslim ARIKAN¹ Gülay TOHUMOĞLU² Tolgay KARA³

¹GASKİ-SCADA, Elektrik-Elektronik Mühendisi 27500 Şehitkamil-Gaziantep

^{2,3}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi

Gaziantep Üniversitesi, 27310, Şehitkamil, Gaziantep

¹e-posta: islimarikan@gaski.gov.tr ²e-posta: g_tohumoglu@gantep.edu.tr
³e-posta: kara@gantep.edu.tr

Anahtar sözcükler: Sistem tanılaması, İndüksiyon motorların tanınması, RLS Metodu.

ABSTRACT

This paper deals with experimental on-line identification of three phase induction motors by means of Recursive Least Square Techniques. Studies are carried out by formulating the mathematical model using differential equations and experimental discrete-time identification using on-line plant input-output data. A Recursive Least-Squares Method is used to estimate the unknown parameters of the system. Discrete time data for the parameter identification are obtained experimentally from a set up constructed in the laboratory. For model validation, a Root-Mean-Square Error criterion is used.

1. GİRİŞ

Rotasyonlu elektrik makineleri dünya endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. İndüksiyon (Asenkron) motorlar, basit olması, sağlam bir iskelete sahip olması, kolay kurulabilmesi ve güvenilirliğinden dolayı başlı başına elektrik motorlarında önceliğe sahiptirler[1-3]. Günümüzde, sayısal işaret işleme teknolojisindeki avantajları ile indüksiyon motorların kontrol teknolojisi, gerçek zamanlı uygulamalarda memnuniyet yaratmaktadır [4].

Sistem tanınması giriş-çıkış verilerinin toplanmasında, birtakım tekniklerle parametrelerin işlenmesini içerir. Ölçülen veriler, matematik modellerle birlikte kullanılır. Parametre tanınması yüksek performanslı kontrol stratejilerindeki dinamik performansla, enerji verimliliğinde beklenen bir durumdur.

Bu çalışma, deneysel, çevrimiçi tanınması, 3 fazlı indüksiyon motorun Özyineli En Küçük Ortalama Kareler Metodunun (Recursive Least Square Method-

RLS) tekniği ile ilgilidir. Çalışmalar, diferansiyel denklemlerle ve deneysel ayrık - zaman tanınmalar kullanılarak, modellemelerle beraber, giriş-çıkış verileriyle yapılmıştır. RLS, sistem aktarım işlevinin bilinmeyen parametrelerin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

2. İNDÜKSİYON MOTOR MODELİ

Gerçek zamanlı tanınmalar için vektör kontrollü indüksiyon motorların (q,d,0) koordinatlarındaki genel denklemleri [3, 5, 6].

$$\omega_s = \omega_m + \frac{L_m}{\tau_r \Psi_{dr}} I_{qs} \quad (1)$$

$$\omega_r = \omega_s - \omega_m = \frac{L_m}{\tau_r \Psi_{dr}} I_{qs} \quad (2)$$

$$\dot{\Psi}_{dr} = -\frac{1}{\tau_r} \Psi_{dr} + \frac{L_m}{\tau_r} I_{ds} \quad (3)$$

$$\dot{I}_{ds} = \frac{\alpha}{\tau_r L_1} \Psi_{dr} - \frac{1}{\tau_1} I_{ds} + \omega_s I_{qs} + \frac{1}{L_1} V_{ds} \quad (4)$$

$$\dot{I}_{qs} = -\frac{\alpha}{L_1} \omega_m \Psi_{dr} - \omega_s I_{ds} - \frac{1}{\tau_1} I_{qs} + \frac{1}{L_1} V_{qs} \quad (5)$$

$$\dot{\omega}_m = \frac{1}{J} \left[\frac{L_m}{L_m + L_r} (\Psi_{dr} I_{qs}) - T_m \right] \quad (6)$$

$$L_1 = L_s - \alpha L_m \text{ ve } R_1 = R_s + \alpha^2 R_r$$

$$\alpha = \frac{L_m}{L_r} \quad \tau_r = \frac{L_r}{R_r} \quad \tau_1 = \frac{L_1}{R_1}$$

olarak tanımlanmıştır. Bu denklemlerde V_{qs}, V_{ds} ; q ve d eksenlerindeki stator gerilimleri, I_{qs}, I_{ds} ; q ve d eksenlerindeki stator akımları, Ψ_{dr} ; d eksenindeki rotor akısı, $\omega_m, \omega_r, \omega_s, R_s, R_r, L_s, L_r, L_m, J, T_m$ sırasıyla motor döner hızı, rotor açısal hızı, stator açısal hız, rotor direnci, stator direnci, rotor indüktansı, stator indüktansı, karşılıklı indüklenme, eylemsizlik, mekanik torku göstermektedir.

Sistemin 4. ve 5. denklemlerinde belirtilen $\omega_s I_{qs}$ ve $\omega_s I_{ds}$ parametreleri $\omega_s = 0$ seçilerek I_{qs} ve I_{ds} arasında etkileşim ortadan kaldırılmıştır ve indüksiyon motorunun denklemleri

$$\dot{\omega}_m = A_1 I_{qs} - \frac{1}{J} T_m \quad (7)$$

$$\dot{I}_{qs} = -B_1 \omega_m - C I_{qs} + \frac{1}{L_1} V_{qs} \quad (8)$$

bağıntılarıyla tanımlanmıştır.

İlk koşulları sıfır alınarak ve Laplace değişkenini s ile göstererek (7) ve (8) denklemlerinin Laplace dönüşümü alınarak

$$\omega_m = \frac{A}{s^2 + Bs + C} V_{qs} - \frac{Ds + E}{s^2 + Bs + C} T_m \quad (9)$$

bulunur. A, B, C, D, E sabit değerleri, sistem parametreleri ile ilgilidir.

3. SAYISAL TANILAMA

Sistem tanılması dört temel adımdan oluşur:

1. Verilerin toplanması 2. En iyi aday modelin seçilmesi 3. Model parametrelerinin hesaplanması 4. Modelin doğrulanması

RLS kolay uygulanabilmesi ve parametreleri yakınsama hızından dolayı, gerçek sistemlere uygulanması tavsiye edilir.

Bu çalışmada, indüksiyon motorların hız ve voltaj arasındaki modellemesinde ARX model kullanılmıştır. ARX model [7]

$$y(t) = \frac{B}{A} u(t) + \frac{1}{A} e(t) \quad (10)$$

$$A = 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_{n_a} z^{-n_a}$$

$$B = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_{n_b} z^{-n_b}$$

olarak tanımlanır.

$b_0, b_1, \dots, b_{n_b}, a_1, a_2, \dots, a_{n_a}$ aktarım işlevi parametreleridir.

RLS algoritması aşağıdaki şekilde özetlenebilir [7]:

1. Yeni giriş - çıkış ölçümleri kullanılarak veri vektörü $\psi(t)$ oluşturulur.
2. $\varepsilon(t)$ kullanarak hata modeli hesaplanır.
$$\varepsilon(t) = y(t) - \psi^T(t) \hat{\theta}(t-1) \quad (11)$$
3. Ortak değişim matrisi (covariance matrix) hesaplanır.

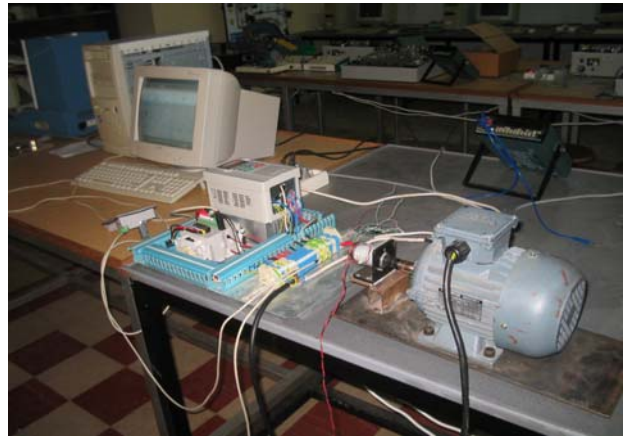
$$P(t) = P(t-1) - \frac{P(t-1)\psi(t)\psi^T(t)P(t-1)}{\lambda + \psi^T(t)P(t-1)\psi(t)} \quad (12)$$

$$P(t) = \frac{P(t)}{\lambda} \quad (13)$$

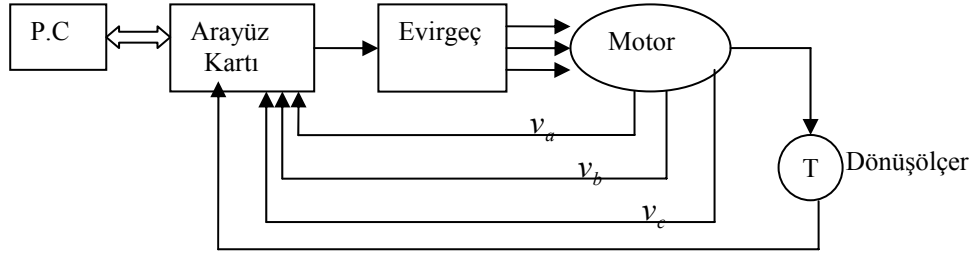
4. $K(t) = P(t)\psi(t)$ denklemleri kullanılarak $\hat{\theta}(t)$ parametreleri güncellenir.
$$\hat{\theta}(t) \quad (14)$$
5. Yeni ölçüm için adım 1'e gidilir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Sistem tanılması, 0.75kW, 220V, 2750 rpm bir indüksiyon motoru için uygulandı. Deneysel setin görünüşü Şekil-1'de ve blok yapısı da Şekil-2'de sunulmuştur.



Şekil-1 Deney setinden bir görünüş



Şekil-2 Deney seti yapısı

Sistemde, stator voltajı giriş sinyali, motor hızı çıkış sinyali olarak ölçüldü ve bu veriler PC'deki MATLAB yazılımıyla arayüz olarak kullanılan data kartı (ADVANTECH PCL-1800, 330kHz hızında, 12 bit yüksek hız A/D çevirici, 2,5 µsn dönüştürme hızı) ile bilgisayara aktarıldı (Pentium III 733 MHz hız, 256 MB RAM). Çıkış hızı dönüşölçerden (0-10V), giriş voltajı evirgeç çıkışından ölçüldü ve qd koordinatlarına dönüştürüldü. Giriş sinyali olarak sinuzoidal sinyali ve ayrıca beyaz gürültü (white noise) sinyali eklendi. Ölçülen değerler RLS algoritması [8] uygulandı. Ölçülen giriş - çıkış değerleri kullanılarak, yeni giriş çıkış değerleri elde edildi. Modelin doğrulanması için En Küçük Ortalama Kareler (MSE) kullanıldı [9].

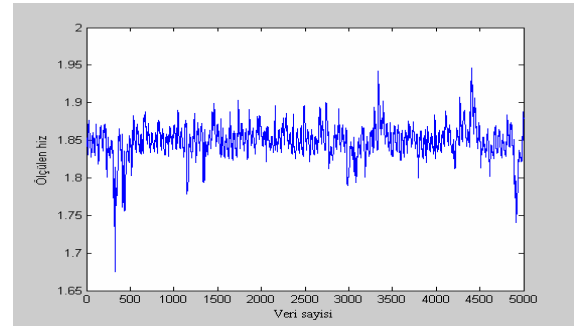
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [(y(k) - \hat{y}(k))]^2$$

$\hat{y}(k)$ tahmin edilen çıkış, $y(k)$ ölçülen çıkış ve N toplam veri sayısıdır.

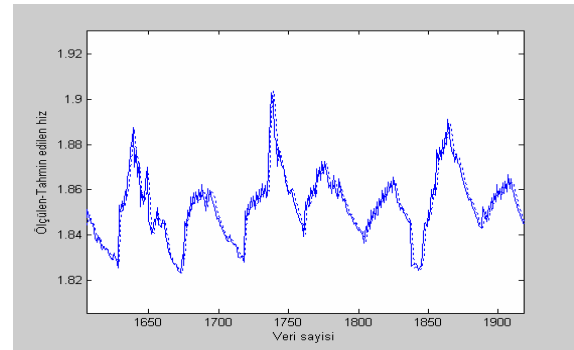
2. derece denklemin tahmin edilen parametreleri Tablo-1'de ve 10 Hz'e beyaz gürültü eklenerek ölçülen hız ve tahmin edilen hız, sırasıyla Şekil-3'de ve Şekil 4'de sunulmuştur.

Table-1 Motorun farklı frekanslardaki tahmin edilen parametreleri

Input frequency(Hz)	\hat{b}_0	\hat{a}_1	\hat{a}_2
10	-0.0116	0.9299	0.0685
20	-0.0117	0.9208	0.0688
30	-0.0115	0.9976	0.0006
50	-0.2696	0.9244	0.0760
80	-0.2147	0.9570	0.0414

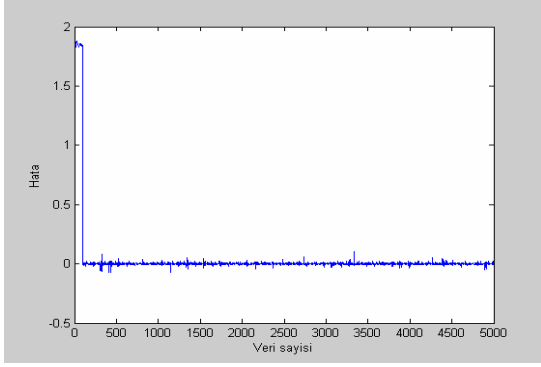


Şekil-3 Ölçülen hız

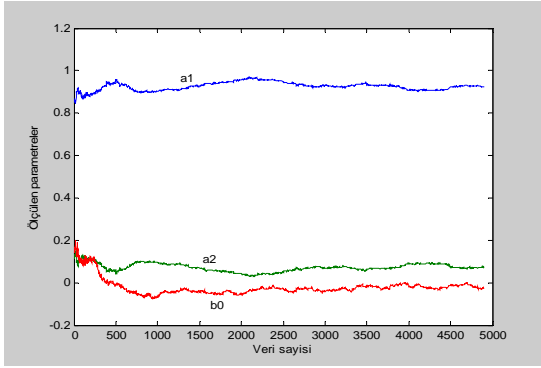


Şekil-4 Ölçülen ve tahmin edilen hız

Ölçülen ve tahmin edilen hız arasındaki hata Şekil-5'de verilirken, Şekil-6'da motor parametreleri b_0 , a_1 , a_2 gösterilmektedir.



Şekil-5 Ölçülen ve tahmin edilen hız arasındaki hata



Şekil-6 Motor parametreleri

Sisteme beyaz gürültü ilave edildiğinde elde edilen tahmini parametreler ve modelin doğrulanması için En Küçük Ortalama Kareler (MSE) Tablo-2'de belirtilmiştir.

Tablo-2 10Hz ve beyaz gürültüde motorun tahmini parametreleri ve MSE

Frekans (Hz)	\hat{b}_0	\hat{a}_1	\hat{a}_2	MSE
10 Hz + Beyaz gürültü	-0.0246	0.9241	0.0742	2.3364e-004

RLS metodu farklı dereceli aktarım işlevi için denenmiştir ve MSE Tablo-3'de sunulmuştur.

Tablo-3 Farklı derecelerde MSE değerleri

2 nd -order model	3 rd -order model	4 th -order model	5 th -order model	6 th -order model
2.3364 * e-004	2.3021* e-004	2.2948* e-004	2.2927* e-004	2.2871 * e-004

3. SONUÇ

Bu çalışmada, parametre tanılaması induksiyon motorları üzerinde denenmiştir. RLS metodu pratik olarak denenmiştir. Sistem önerilen metodla deneysel olarak çalıştırılmıştır. Sonuçlarla, parametreler bulunmuştur. Ayrıca MATLAB'da benzetim yapılmıştır. 2. derece fonksiyonun uygun olduğu gözlenmiş, derece arttıkça RMS değerlerinde büyük ölçüde değişimler olmamıştır.

Motor farklı frekanslarda çalıştırılmış ve parametrelerin değişimi gözlemlenmiştir. Yüksek akı seviyesinde indüktansın doyuma ulaşmasından ve ısıdan direncin yükselmesinden dolayı, ayrıca rotor akısının sabit tutulmasının zorluğundan kaynaklanan vektör kontrolünün doğrusallığının bozulması neticesinde, farklı frekanslarda parametrelerin değişimleri gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Prof.Dr.Kemal Sarıoğlu. *Elektrik Makinalarının Temelleri. Asenkron Makinalar*
- [2] Rakesh Prekh, *AC Induction Motor Fundamentals*, Microchip Technology Inc.
- [3] Chee-Mun Ong. *Dynamic Simulation of Electric Machinery Using Matlab/Simulink*. Prentice Hall, 1998.
- [4] Jui-Jung Liu, I-Chung Kung, and Hui-Cheng Chao. *Speed Estimation of Induction Motor Using a Nonlinear Identification Techniques*, Proc. Nati. Sci. Coun. ROC(A) Vol.25, No.2, 2001. pp. 107-114
- [5] F. Alonge, F. D'Ippolito, F. M. Raimondi. *Least Squares and Genetic Algorithms for Parameter Identification of Induction Motors*, Control Engineering Practise 9(2001) 647 -657
- [6] Mohamed Ouali, Mohamed B.A. Kamoun. *Field Oriented Control Induction Machine and Control by Sliding Mode*, Simulation Practice and Theory 5 (1997) 121-136
- [7] E.Wellstead, M.B.Zarrop (1991). *Self-Tuning Systems Control and Signal Processing*
- [8] KARA, Tolgay, *Adaptive Control of Nonlinear Systems Control and Signal Processing Systems with Applications*, PhD Thesis, 2005
- [9] Faber, M. N (1999). *Estimating the Uncertainty in Estimates of Root Mean Square Error of Prediction: Application to Determining the Size of an Adequat Test Set in Multivariable Calibration*. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 49(1) 79-89