

UYARLAMALI AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ İLE DOĞRU AKIM MOTORLARININ HIZ DENETİMİ

Engin AVCI¹

enginavci@firat.edu.tr

Z. Hakan AKPOLAT²

hakpolat@firat.edu.tr

^{1,2}Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi
Elektronik Bilgisayar Eğitimi Bölümü
23119 Elazığ TÜRKİYE

Anahtar sözcükler: DA Motor Denetimi, bulanık çıkarım sistemi, ysa(yapay sinir ağları), PI denetleyici.

ÖZET

Yapay Sinir Ağlarının (YSA), hızlı eğitim algoritmalarını kolayca kullanma, bulanık mantığın insan bilgi ve tecrübesini denetleyiciye aktarma gibi avantajlarını bir arada kullanabilen uyarlamalı ağ temelli bulanık çıkarım sistemleri (ANFIS) ile denetim ilgi çekici bir denetim tekniği haline gelmiştir. Bu çalışmada, bir Doğru Akım (DA) motor sisteminin değişken parametrelerine karşı dayanıklı hız denetimi yapabilmek için 9 kurallı bir ANFIS (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System) denetleyici tasarlanmış ve bu denetleyicinin etkinliğini göstermek için doğrusal bir PI denetleyici ile denetim performansları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda parametre değişimlerine karşılık ANFIS denetleyicinin iyi (dayanıklı) bir denetim sağladığı ve PI denetleyicinin ise bozulan bir denetim performansı sağladığı belirlenmiştir.

1. GİRİŞ

Doğru akım (DA) motorları, bugün endüstride en yaygın kullanılan hareket elemanlarıdır. Günümüzde doğru akım motorlarının veriminin artırılması için çeşitli hız ve konum denetim yöntemleri kullanılmaktadır. Sağladıkları avantajlardan dolayı bulanık mantık ve yapay sinir ağları [1,2] DA motor hız denetiminde kullanılan yöntemlerden başlıcalarıdır. Bu çalışmada ise yapay sinir ağlarının öğrenme ve genelleme yeteneğini, bulanık denetimin ise değişken sistem parametrelerine karşı dayanıklı denetim özelliğini bir arada kullanan [3,4] uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) kullanılarak DA motorun çeşitli değişken parametrelerine karşı dayanıklı hız denetimi sağlanmaya çalışılacaktır. Ayrıca ANFIS kullanılarak yapılan parametre değişiklikleri PI doğrusal denetleyici kullanılarak da yapılacak ve bu iki denetleyicinin benzetim performansları karşılaştırılacaktır. Bu çalışmalarda kullanılacak PI doğrusal denetleyici seçilirken nominal parametre değerlerinde sistem cevabında aşma olmamasına, yükselme ve yerleşme zamanının ANFIS'le elde edilen sistem cevabının yükselme ve yerleşme

zamanına yakın değerlerde olmasına dikkat edilecektir.

2. DENETLENECEK SİSTEM

Doğru akım motoru, temelde elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren bir dönüştürücüdür [5]. Genelde bir doğru akım motoru manyetik akısı olan sargılar ya da kalıcı mıknatıslarla oluşturulur. Kalıcı mıknatıslı doğru akım motorlarının denetim sistemi çalışmalarında yaygın bir kullanım alanı vardır. Bu benzetim çalışmalarında kullanılacak DA motor modeli de kalıcı mıknatıslı türündendir. Bu DA motor modelinin kapalı çevrim denetim sistemi içerisindeki elektriksel dinamiği çok hızlıdır [5]. Bu nedenle yapılan benzetim çalışmalarında motorun elektriksel dinamiği ihmal edilmiştir. Sadece mekaniksel dinamiği ele alınmıştır. Buna göre Denklem 1, DA motorun açılma hızı ile momenti arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir.

$$T_m(t) = J \frac{dw_m(t)}{dt} + Bw_m(t) \quad (1)$$

Denklem 1'deki eşitliğin laplace dönüşümü alınırsa [6]

$$\frac{w_m(s)}{T_m(s)} = \frac{1}{Js + B} \quad (2)$$

elde edilir. Buradaki J = motor eylemsizliği ve B = viskoz sürtünme katsayısı olmak üzere, DA motor transfer fonksiyonu,

$$G(s) = \frac{1}{Js + B} \quad (3)$$

dir. Burada $K = 1/J$ ve $a = B/J$ olarak alınırsa,

$$G(s) = \frac{K}{s+a} \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir. Bu benzetim çalışmalarında denetlenecek sistem transfer fonksiyonu olarak Denklem 4'deki ifade ele alınacaktır.

3.ÇALIŞMADA KULLANILAN ANFIS'in TEMEL YAPISI

ANFIS (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System)'in, yapısında hem yapay sinir ağları hem de bulanık mantık kullanılır [1,2]. Yapı bakımından ANFIS, bulanık çıkarım sistemindeki eğer-ise kuralları ve giriş çıkış bilgi çiftlerinden oluşur [3,4]. Ancak sistem eğitiminde ve denetiminde ysa öğrenme algoritmaları kullanılır. x ve y giriş, z ise çıkış olarak alınırsa temel kural yapısı şu şekilde yazılabilir:

$$\text{Eğer } x \text{ } A_1 \text{ ve } y \text{ } B_1 \text{ ise } f_1 = p_1x + q_1y + r_1 \quad (5)$$

dir (p ve q lineer çıkış parametreleridir). Bu çalışmada kullanılan ANFIS'in temel yapısı Şekil-1'de görülmektedir. Buradan da görüldüğü gibi kullanılan ANFIS yapısı 5 katmandan oluşmaktadır. 9 adet eğer-ise kuralı kullanılmıştır.

1.Katman: Bu katmandaki hücre sayısı, iki giriş ve bu iki girişin her birine üç üyelik fonksiyonu tanımlandığına göre altı adettir (i=6'dır). Buna göre,

$$\begin{aligned} O_{1,i} &= \mu_{A_i}(x), & i=1,2,3 \text{ için} \\ O_{1,i} &= \mu_{B_{i-3}}(y), & i=4,5,6 \text{ için} \end{aligned} \quad (6)$$

Burada x ve y girişlerdir. Bu katmanın çıkışı kuralların varsayım (eğer) kısımlarının üyelik fonksiyonlarına olan üyelik dereceleridir. Kullanılan üyelik fonksiyonu Denklem 7'de verilmiştir.

$$\mu_{A_i}(x), \mu_{B_{i-3}}(y) = \exp(-(|x_i - c_i|/a_i)^2) \quad (7)$$

2. Katman: Burada kuralların kesinlik dereceleri cebirsel çarpım kullanılarak bulunur (Denklem 8).

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) * \mu_{B_i}(y), \quad i=1,2,3,\dots,9 \quad (8)$$

3. Katman: Burada kuralların normalizasyon işlemi yapılmaktadır (Denklem 9).

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = w_i / (w_1 + w_2), \quad i=1,2,3,\dots,9 \quad (9)$$

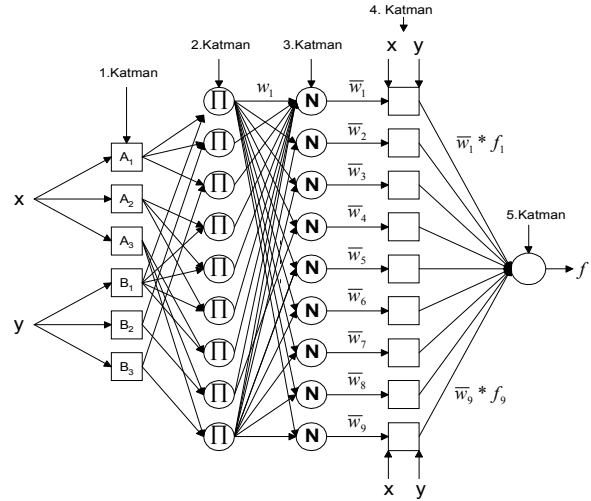
4. Katman: Bu katmanda normalize edilmiş her bir kural kendine ait çıkış fonksiyonu ile çarpılır (Denklem 10).

$$O_{4,i} = \bar{w}_i * f_i = w_i * (p_i x + q_i y + r_i) \quad (10)$$

Buradaki p,q ve r lineer parametreleri sonuç parametreleri olarak adlandırılır.

5. Katman: 4. Katman çıkışlarının toplanarak ANFIS çıkışının sayısal değerinin bulunduğu kısımdır.

$$O_{5,i} = \text{toplam çıkış} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (11)$$



Şekil-1. Kullanılan 2 girişli 9 kuralı ANFIS yapısı

4. PI DENETLEYİCİNİN YAPISI

Bir PI doğrusal denetleyici, oransal ve integral alıcı kısımlardan oluşur. PI denetleyici denetim sistemlerinde genellikle kalıcı durum hatalarını en aza indirmek için kullanılır. Ancak sıfırı uygun bir yerde seçilirse sönüm hatalarını da azaltabilir [5]. Genel olarak sürekli zamanda bir PI denetleyici transfer fonksiyonu Denklem 12'deki gibi ifade edilebilir:

$$Gc(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (12)$$

dir. Burada K_p oransal kazanç ve K_i ise integral kazancıdır. Denklem 12'de $K_p = K_k$ ve $K_i / K_p = a_k$ olarak alınırsa

$$Gc(s) = \frac{K_k (s + a_k)}{s} \quad (13)$$

olur. Burada K_k 'ya denetleyici kazancı ve a_k 'ya ise denetleyici sıfırı adı verilir. Ayrık zamanda bir PI

denetleyici transfer fonksiyonu Denklem 14'deki gibi ifade edilir:

$$G_c(z) = \frac{K_r(z - a_r)}{z - 1} \quad (14)$$

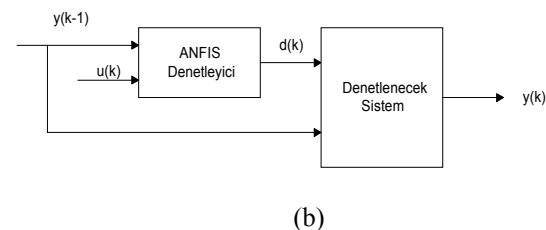
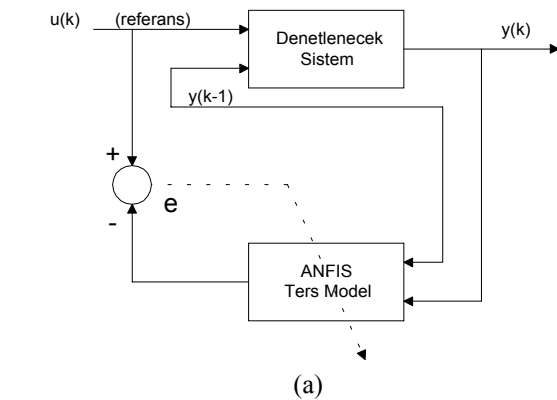
Denklem 14'deki K_r , ayrık zamandaki denetleyici kazancını, a_r ise ayrık zamandaki denetleyici sıfırını temsil etmektedir. Benzetim çalışmasında kullanılan PI doğrusal denetleyicisi denetlenecek DA motor sistemi kullanılarak bu sistemin parametreleri olan $K = 1/J$ ve $a = B/J$ 'nin değişimlerine karşı iyi cevap verebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu PI denetleyicinin transfer fonksiyonu Denklem (15)'de verilmiştir. Buradaki PI'nin K_i (integral kazancı)=0.0045 ve K_p (oransal kazancı)= $4.5 \cdot 10^{-4}$ olarak alınmıştır. Bu değerler benzetim çalışmaları boyunca sabit tutulmuştur.

$$G_c(z) = \frac{0.0045(z - 0.1)}{z - 1} \quad (15)$$

PI doğrusal denetleyici seçilirken nominal parametre değerlerinde sistem cevabında aşma olmamasına, yükselme ve yerleşme zamanının ANFIS'le elde edilen sistem cevabının yükselme ve yerleşme zamanına yakın değerlerde olmasına dikkat edilmiştir.

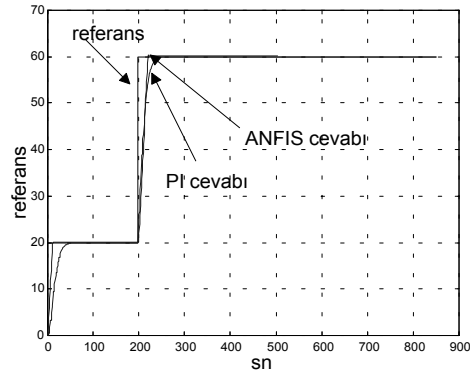
5. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada ilk önce Şekil 2.a'daki blok diyagram kullanılarak denetlenecek sistemin ANFIS ters modeli çıkarılmış ve böylece ANFIS'in eğitim safhası gerçekleştirilmiştir.



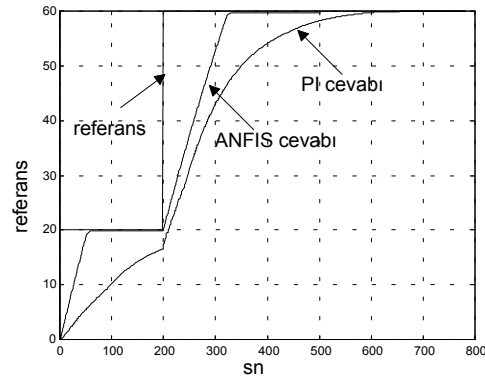
Şekil 2. Kullanılan 9 kurallı ANFIS'in Ters model (a) ve denetim bloğu (b)

Daha sonra ise Şekil 2.b'de de görüldüğü gibi elde edilen bu ters model denetleyici şeklinde kullanılıp ANFIS'in genelleme işlemi yapılmıştır. Sistem parametrelerinin nominal değerleri için yani $K = 1/J = 100$ ve $a = B/J = 2$ ($J = 0.01 \text{ kgm}^2$ ve $B = 0.02 \text{ Nms/rad}$) için bulunan benzetim sonuçları aşağıda Şekil 2'de gösterilmiştir. Ayrıca bütün benzetim çalışmalarında denetleyici çıkışını sınırlamak için +/- 15 değerinde saturasyon fonksiyonu kullanılmıştır.



Şekil-3. $K=100$ ve $a=2$ nominal parametre değerlerinde ANFIS denetleyici ve PI denetleyici kullanılarak bulunan sistem cevapları.

Denetleyicinin sıfırı olan a sabitken K değeri 100 değerinden 55 değerine düşünceye kadar PI'nin cevabında fazla bir bozulma olmadığı görülmüştür.

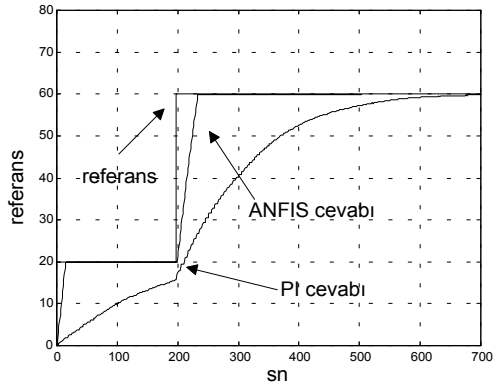


Şekil-4. $K=20$ ve $a=2$ parametre değerleri için ANFIS ve PI denetleyici ile bulunan sistem cevaplarının karşılaştırılması.

Şekil-4'den de görüldüğü gibi K parametresinin 20 ve a parametresinin 2 değeri için ANFIS, PI denetleyiciden daha iyi kabul edilebilecek bir cevap vermektedir. Çünkü kazanç azalınca PI'nin sistem cevabı yavaşlamakta ancak ANFIS'in ki ise fazla bir değişim göstermemektedir.

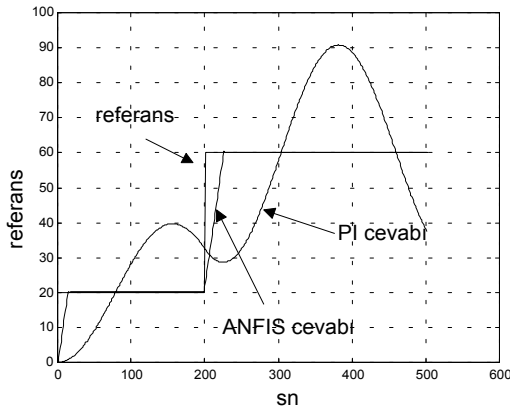
Şekil-5'den de görüldüğü gibi K parametresinin 100 ve a parametresinin 8 değeri için ANFIS, PI

denetleyiciden daha iyi kabul edilebilecek bir cevap vermektedir.

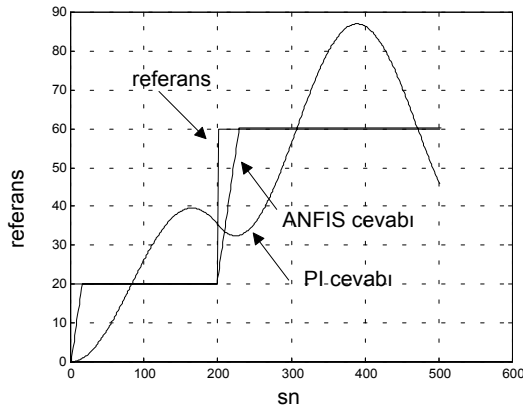


Şekil-5. $K=100$ ve $a=8$ parametre değerleri için ANFIS ve PI denetleyici ile bulunan sistem cevaplarının karşılaştırılması.

Şekil-6'dan da görüldüğü gibi K parametresinin 100 ve a parametresinin 0.2 değeri için ANFIS, PI denetleyiciden daha iyi kabul edilebilecek bir cevap vermektedir.



Şekil-6. $K=100$ ve $a=0.2$ parametre değerleri için ANFIS ve PI denetleyici ile bulunan sistem cevaplarının karşılaştırılması.



Şekil-7. $K=90$ ve $a=0.2$ parametre değerleri için ANFIS ve PI denetleyici ile bulunan sistem cevaplarının karşılaştırılması.

Şekil-7'den de görüldüğü gibi K parametresinin 90 ve a parametresinin 0.2 değeri için ANFIS, PI denetleyiciden daha iyi kabul edilebilecek bir cevap vermektedir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışma ilerde bu alanda yapılacak olan gerçek uygulamalara bir temel oluşturmak amacıyla bilgisayar ortamında benzetim yoluyla yapılmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada bir DA motor sistemi ele alınmış ve bu sistemin $K = 1/J$ ve $a = B/J$ parametreleri belirli oranlarda değiştirilmiştir. Bu parametre değişimlerine karşı 9 kurallı bir ANFIS denetleyici ile bir PI doğrusal denetleyici sıra ile test edilmiş ve yapılan bu benzetim çalışmaları sonucu 9 kurallı ANFIS denetleyicinin, PI doğrusal denetleyiciye oranla parametre değişimlerinde daha iyi kabul edilebilecek sonuçlar verdiği görülmüştür (Şekil 4-5-6-7). Böylece bu tür fiziksel sistemlerin belirli aralıklardaki parametre değişimlerine karşı dayanıklı denetiminde ANFIS'in PI denetleyiciye karşı üstün bir performans gösterebileceği söylenebilir. Bu çalışmada kullanılan PI doğrusal denetleyici belirlenirken sistem nominal parametre değerlerinde iken sistem cevabında aşma olmaması, yükselme zamanı ve yerleşme zamanının ANFIS denetleyici kullanılarak bulunan sistem cevabınıninkine yakın olması kriterleri göz önünde bulundurulmuştur.

7. KAYNAKLAR

- [1] Kosko, B., 1991, Neural Networks and Fuzzy Systems, A Dynamical Systems Approach, Englewood Cliffs., NJ: Prentice Hall.
- [2] Jang, J. S. R., Sun, C. T., 1995, "Neuro-Fuzzy Modeling and Control", proceedings of the IEEE, vol. 83, No. 3.
- [3] Jang, J. S. R., May. 1993, "ANFIS: Adaptive network-based fuzzy inference systems", IEEE Trans. Syst., Man. and Cybern., vol. 23, pp. 665-685.
- [4] Franklin, G. F., Powell, J. D. and Workman, M. L., 1990, Digital Control of Dynamic Systems, Addison Wesley, s.130-132.
- [5] Kuo, B. C. , Çeviri: Bir, A., 1999, Otomatik Kontrol Sistemleri, Literatür Yayınları:35, s.186-187
- [6] Krishnan, R., 2001, Electric Motor Drives Modeling, Analysis and Control, Prentice Hall.