Farklı Bulanık Üyelik Fonksiyonları Kullanarak Sürekli Mıknatıslı DA Motorunun Hız Denetiminin Gerçeklenmesi

Ö. Akyazı[1], H. Zenk[2], A. S. Akpınar[3]

[1]Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Abdullah Kanca MYO, Trabzon/Türkiye, oakyazi@ktu.edu.tr
[2]Giresun Üniversitesi, Giresun Meslek Yüksekokulu, Giresun/Türkiye, hilmi.zenk@giresun.edu.tr
[3]Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon/Türkiye, akpinar@ktu.edu.tr

Permanent Magnet DC Motor Speed Control Using Different Fuzzy Membership Functions

***Abstract*—Parallel to the development of technology, application areas of electric motors have been increased. Today, different applications of the electric motors can meet every environment. Especially DC motors play an important role in servo systems that require precise speed control. In this study, speed control of a permanent magnet direct current (PMDM) motor is performed and the simulation results are compared. The Fuzzy Logic Controller Control (FLC) was used as controller. However, instead of membership function of a single species, different structures of FLC fuzzy membership functions is used for the performance comparison. The simulations were carried out in Matlab/Simulink providing opportunities for performance-enhancing simulation studies and analysis studies.**

Keywords—DC Motor (PMDM), Fuzzy Logic Controller (FLC), Membership Functions, Matlab/Simulink.

I. GİRİŞ

Doğru akım (DA) motorları elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinelerdir. Bugün endüstride en yaygın kullanılan hareket elemanlarıdır. Yıllar önce kontrol amacıyla kullanılan küçük servo motorların çoğu alternatif akım ile çalışıyordu. Alternatif akım motorlarının konum kontrolü ve doğrusal olmayan yapılarından dolayı incelenmeleri DA motorlara göre daha zordur [1]. Fakat diğer taraftan DA motorlarda fırça ve komütatörlerden dolayı bakımları daha zor ve maliyetlidir.

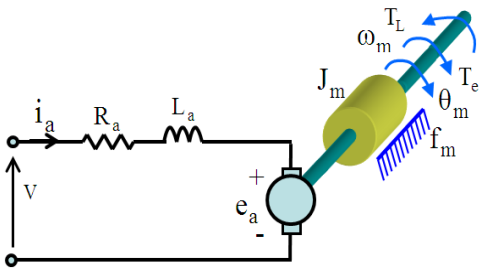
DA motor teknolojisi ve güç elektroniğindeki gelişmeler sayesinde günümüzde motorlarda hacim başına üretilen moment artmış ve kalıcı mıknatıs teknolojisinin gelişmesiyle fırça-komütatör bakım problemleri en aza indirilmiş ve böylelikle DA motorlarının uygulama alanları daha da genişlemiştir. Birçok uygulamada DA motorunun tercih edilmesinin sebebi diğer motorlara göre hızlarının farklı yöntemlerle rahatça kontrol edilebilme esnekliğine sahip olmasıdır [2,3]. Elektrikli tren, elektrikli ev aletleri, vinçler, yük asansörleri gibi birçok farklı uygulamalarda kullanılan DA motorlarının, istenen konum ve hıza sahip olması denetleyiciler ile sağlanabilir [4]. Yarı iletken teknolojisinin gelişmesi, birçok uygulamada kullanılan anahtarlama elemanlarının işlevleri ve türlerinde de gelişmelere olanak sağlamıştır. Özellikle DA-DA kıyıcılar, motorlarının hız denetiminde yaygın olarak kullanılmaktadır [5-7]. Günümüzde, DA motorlarında genellikle hız veya konum kontrolü yapılmakta, DA motor kontrol yöntemleri çeşitlilik göstermekte ve geleneksel denetleyiciler yanında BM gibi akıllı yöntemlerde DA motor denetiminde kullanılmaktadır [8-10]. BM, kavramsal olarak kolay anlaşılabilirdir. Bulanık akıl yürütmenin arkasındaki matematiksel kavramlar çok basittir. BM esnektir. BM, son zamanlarda yönetim, ekonomi, tıp ve süreç denetim sistemleri gibi çeşitli uygulama alanlarında çok geniş rağbet uyandırmaktadır [11]. Doğrusal olmayan sistemler, her zaman matematiksel olarak modellemek mümkün olmayabilir. BMD'nin matematiksel modele bağımlılığının olmaması, özellikle birçok karmaşık, belirsizlikleri olan, değişken parametrelere ve yük dağılımı olan sistemlerin denetiminde tercih sebebi olmaktadır. Bulanık mantık ya da bulanık dizi teoremi ilk defa L. A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır [12].

Bulanık mantık temelli çalışmalar hızla artarken diğer taraftan da bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler, tasarlanan sistemlerin gerçeğine uygun bir biçimde dijital ortamda gerçeklenmesini imkân sağlamaktadır. Nesneye yönelik yazılımdaki ilerlemeler işlemleri daha da kolaylaştırmaktadır. Özellikle Matlab/Simulink programı kullanıcıya etkili grafik-etkileşim ara yüzü sunan yazılımların başında gelmektedir ve bunun yanında kullanıcılarına tasarladığı sistemin çok çabuk ve hata kaygısı taşımadan etkili bir şekilde sonuç vermesi, akademik çevrelerce de kabullenilmesini sağlamıştır [13-15].

II. SÜREKLİ MIKNATISLI DOĞRU AKIM MOTORU DİNAMİK MODELİ

Bir doğru akım motorunun endüvisinin elektrik devresi ve rotorun elektriksel devre şeması Şekil 1'de gösterilmiştir. Burada motor torku T_e, endüvi akımı i_a ile, endüvi

konstrüksiyon sabiti K_t çarpılarak ($T_e=K_t.i_a$) elde edilir. Endüvi gerilimi e_a ise, dönme hızı ω_m ve motor konstrüksiyon sabitinin Ke çarpılarak ($e_a=K_e.\omega_m$) bulunur. Motor milinin dönme hızı, konumun ω_m zamanla değişimi denklem (1) ile ifade edilir. Motorun mekanik ve elektriksel bileşenlerinden oluşan matematiksel ifadeler ise denklem (2) ve (3) ile belirtilmiştir[15].



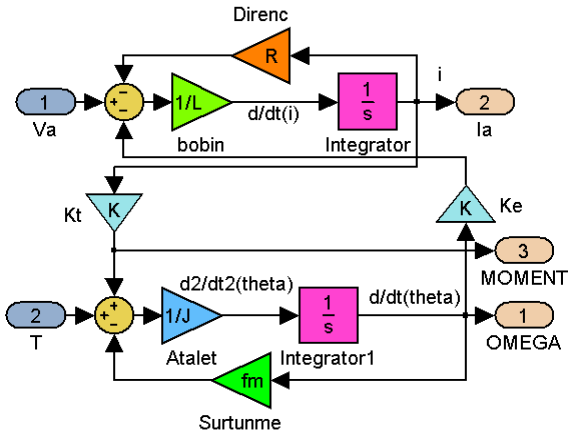
Şekil 1: SMDA motor eşdeğer devresi.

$$\frac{d\theta}{dt} = \dot{\theta} = \omega_m \tag{1}$$

$$J_m \frac{d\omega_m}{dt} = K_m.\phi.I_a - f_m.\omega_m - M_{load} \tag{2}$$

$$L_a \frac{di_a}{dt} = V - R_a.i_a - K_b.\phi.\omega_m \tag{3}$$

Denklem (2) ve (3) birçok matematiksel yöntem kullanılarak çözülebilir. Bu denklemler kullanılarak Şekil 2'de SMDA motorunun eşdeğer devresi Matlab/Simulink ortamında elde edilmiştir. Tasarımı yapılan motora ait sembol ve parametreleri Tablo 1'de verilmiştir[15].



Şekil 2: SMDA motorun Matlab/Simulink modeli

Tablo 1'de verilen değerler ile motorun karakteristik denklemlerine işaret akış diyagramını uygulayıp, daha sonra Mason Kazanç Formülünü kullanarak giriş gerilimi ile açısal hız arasındaki transfer fonksiyonu bulunabilir[15].

Tablo 1: SMDA motorunun parametreleri

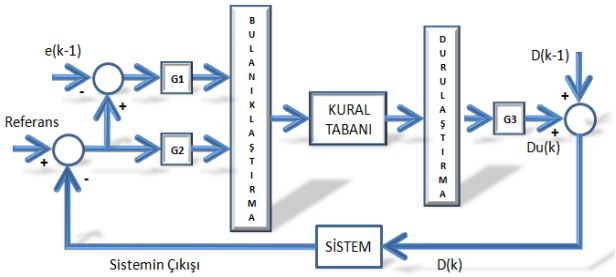
Sembol	Açıklama	Birim	Değer
R_a	Endüvi direnci	Ω	0,15
L_a	Endüvi indüktansı	H	0,003
J_m	Atalet momenti	kg.m^2	0,05
$K=K_t=K_e$	Motor sabiti	V.s/rad	0,2
f_m (b)	Sürtünme katsayısı	N.m.s/rad	0,02

Bu çalışmada SMDA motorunun hız denetimi gerçekleştirilerek benzetim sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Denetleyici olarak bulanık mantık denetleyici kullanılmıştır. Ancak burada tek bir tip üyelik fonksiyonlu bulanık mantık denetleyici yerine, üçgen, yamuk, gaussian, cauchy ve çan üyelik fonksiyonlarına sahip bulanık mantık denetleyici kullanılmış ve böylece üyelik tiplerinin sisteme olan etkileri incelenerek en uygun üyelik tipi ortaya çıkarılmıştır.

Bulanık mantık uygulamalarına birçok alanda rastlamak mümkündür. Otomatik kontrol sistemleri, bilgi sistemleri, görüntü tanımlama, optimizasyon, biyolojik süreç kontrolü, nükleer reaktör kontrolü, deprem mühendisliği ve savunma sanayi gibi endüstriyel ağırlıklı uygulamaların yanı sıra sosyal alanlara yönelik uygulamalar da bulunmaktadır[16,17].

III. BM DENETLEYİCİ

Bulanık Mantık (BM), diğer denetim yöntemlerindeki karmaşık işlemlere ve sistemin matematiksel modeline gerek duymadan denetim işlemini gerçekleştirmektedir. Günümüzde kontrol sistemi uygulamalarında bulanık mantık ile denetim önemli hale gelmiştir. Klasik sayısal (0,1) mantığının ötesine geçmiş bir yaklaşım olan bulanık mantık bu iki değer arasında çok seviyeli değerler üretilmesi sonucunda denetimin daha doğru kararlar üretmesini, böylece performansın ve verimin artmasını sağlamaktadır. Şekil 3'de bulanık mantık denetiminin temel blok yapısı görülmektedir.

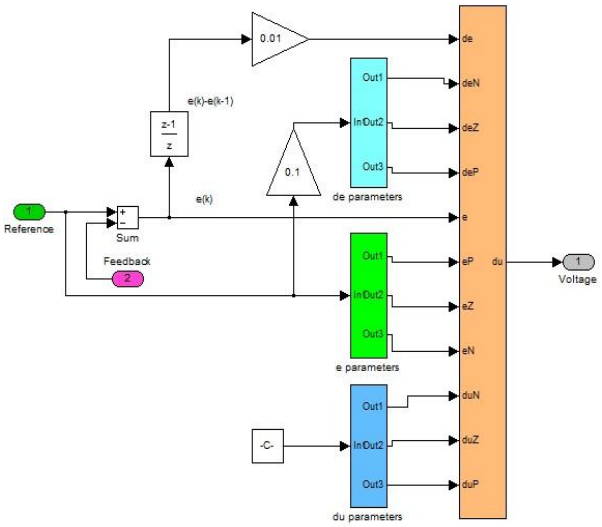


Şekil 3: Bulanık mantık denetiminin temel blok yapısı

Şekil 3'de gösterildiği gibi bulanık denetim mantığı temel olarak üç bileşenden oluşmaktadır. Bunlar bulanıklaştırıcı birim, kural tabanı birimi ve durulaştırıcı birimdir. Bulanıklaştırıcı birim, gelen kesin giriş bilgilerini bulanık hale getirme görevini yapmaktadır. Bulanıklaştırılan değerler kural tabanı birimine gönderilir. Kural tabanında veri tabanı ve dilsel denetim öğeleri bulunmaktadır. Kurallar işlendikten sonra bulanık sonuç işareti bir sonraki adımda çıkışa

yansıtılabilmek için durulaştırma birimine gönderilir. Burada kesin sonuçlar üretilir. Şekil 3'de *e(k)* hata işareti, *e(k-1)* bir örnekleme süresi içinde hatadaki değişimi ifade eder. G1, G2 ve G3 kazanç değerleridir. *Du(k)* durulaştırma birimi çıkışıdır ve bir önceki değeri olan *D(k-1)* ile toplanmak suretiyle *D(k)* elde edilerek sistemin girişine verilmiştir. Bu değişkenlere göre kural tabanı biriminde kural tablosu oluşturulur. Bulanık denetleyicide üyelik fonksiyonları temel bir yapıdır. Üyelik fonksiyonlarının seçimi tamamen keyfi olmakla birlikte üçgen, yamuk, sinüsoid, cauchy, çan, sigmoid, gaussian tiplerde olabilmektedir. Bu çalışmada üçgen, yamuk, gaussian, cauchy ve çan üyelik fonksiyonları kullanılmıştır[13-19].

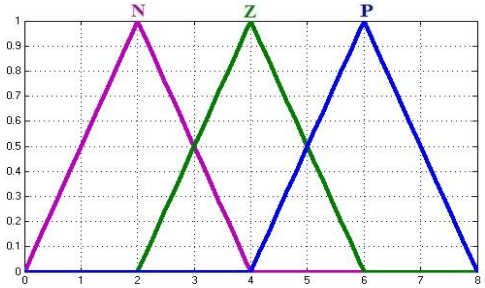
BMD modellenmesinde öncelikli olarak kontrol edilecek sistemin davranışı gözlenmelidir. Hata ve hatadaki değişimler göz önüne alınarak üyelik fonksiyonları, kural tablosu elde edilir. Şekil 4'de bulanık mantık denetiminin Simulink blok diyagramı görülmektedir.



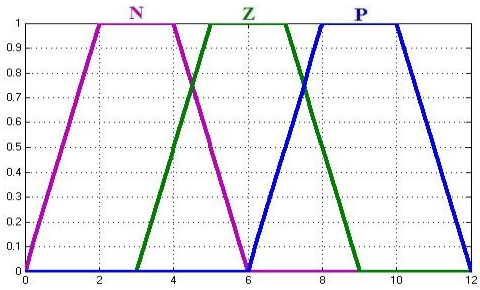
Şekil 4: BMD'nin Simulink blok diyagramı

A. *Üyelik Fonksiyonları*

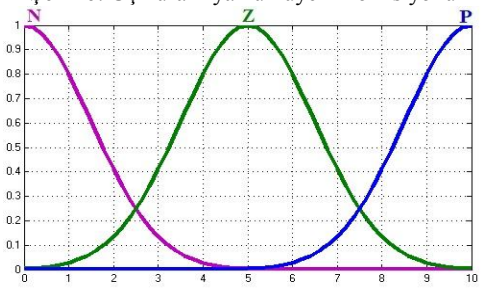
Bulanık mantık denetleyicide kullanılan üyelik fonksiyonları Şekil (5-9)'de gösterilmiştir. Bunlar sırasıyla üçgen, yamuk, gaussian, cauchy ve çan biçimli üyelik fonksiyonlarıdır.



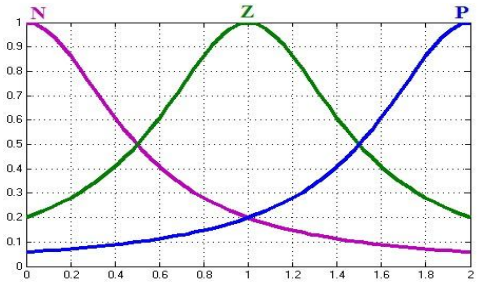
Şekil 5: Üç kurallı üçgen üyelik fonksiyonu



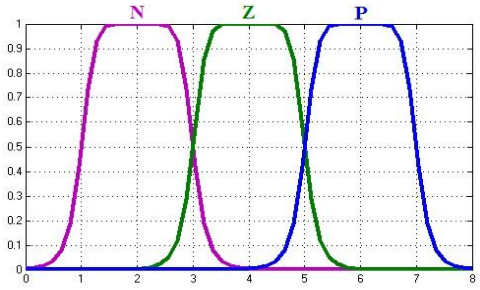
Şekil 6: Üç kurallı yamuk üyelik fonksiyonu



Şekil 7: Üç kurallı gaussian üyelik fonksiyonu



Şekil 8: Üç kurallı cauchy üyelik fonksiyonu



Şekil 9: Üç kurallı çan üyelik fonksiyonu

Bu fonksiyonlar için kullanılan bağıntılar denklem (4-8)'de verilmektedir.

$$A_{\Delta} = \max\left(\min\left(\frac{x-x_1}{x_T-x_1}, \frac{x_2-x}{x_2-x_T}\right), 0\right) \qquad \text{(Üçgen için)} \qquad (4)$$

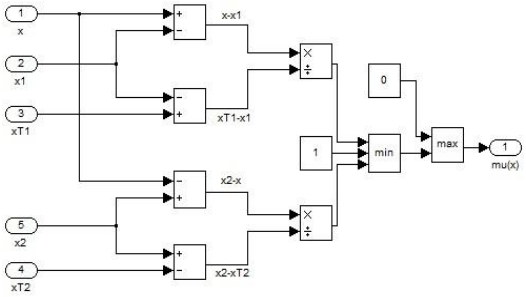
$$A_{Y} = \max\left(\min\left(\frac{x-x_1}{x_{T1}-x_1}, 1, \frac{x_2-x}{x_2-x_{T2}}\right), 0\right) \qquad \text{(Yamuk için)} \qquad (5)$$

$$A_G = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-x_T}{w}\right)^2} \qquad \text{(Gaussian için)} \qquad (6)$$

$$A_C = \frac{1}{1+\left(\frac{x-x_T}{d}\right)^{2m}} \qquad \text{(Cauchy için)} \qquad (7)$$

$$A_Z = \frac{1}{1 + \left|\frac{x - x_T}{d}\right|^{2m}} \qquad \text{(Çan için)} \qquad (8)$$

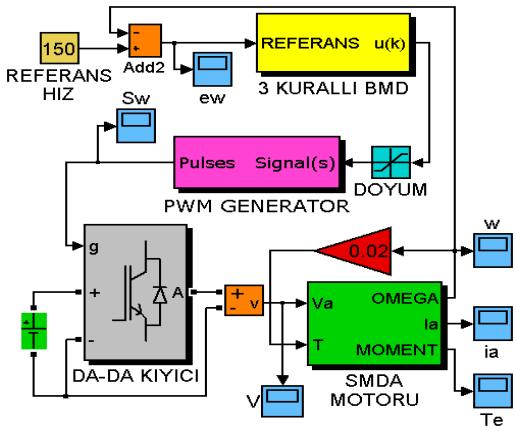
Denklemler kullanılarak her bir kesin değişken uzayında tanımlı negatif (N), sıfır (Z) ve pozitif (P) bulanık üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Ayrıca bu denklemler yardımıyla her bir üyelik fonksiyonu Matlab/Simulink'de ayrı ayrı modellenmiştir. Örnek olarak Simulink'de oluşturulan yamuk üyelik fonksiyonu modeli Şekil 10'da gösterilmektedir.



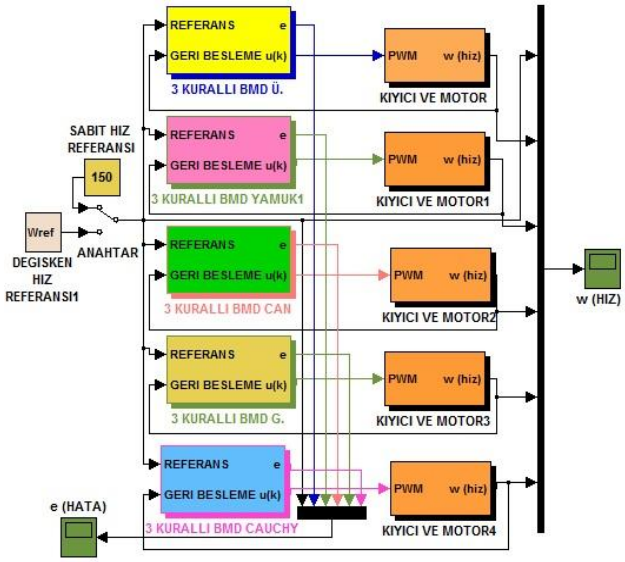
Şekil 10: Yamuk üyelik fonksiyonu Simulink modeli

IV. TASARLANAN SİSTEM

Yukarıda anlatılan denetleyiciye uygun parametreler seçilerek sabit referans hız değeri için Matlab/Simulink'de oluşturulan tek bir üyelik fonksiyonuna ait sistem modeli Şekil 11'da ve bütün üyelik fonksiyonlarını içeren sistem modeli ise Şekil 12'da gösterilmiştir.



Şekil 11: Tek bir üyelik fonksiyonuna ait sistemin MATLAB/Simulink modeli[15]



Şekil 12. Bütün üyelik fonksiyonlarını içeren sistemin MATLAB/Simulink modeli

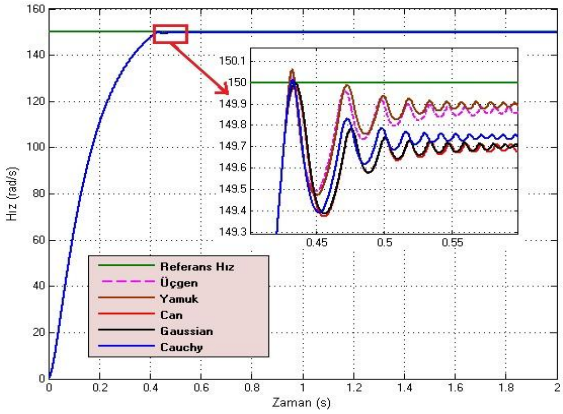
BM denetleme modelleri için kullanılan kurallar Tablo 2'de gösterilmiş olup giriş değişkenleri, hata *(e)* ve hatanın bir örnekleme süresindeki değişimi *(de)* olacak şekilde belirtilmiştir. Giriş değişkeni için üç etiketli üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Kullanılan dilsel etiketler negatif (N), sıfır (Z) ve pozitif (P) olarak ifade edilmiştir.

Tablo 2: BMD için kural tablosu

Δu		e		
		N	Z	P
de	N	N	N	Z
	Z	N	Z	P
	P	Z	P	P

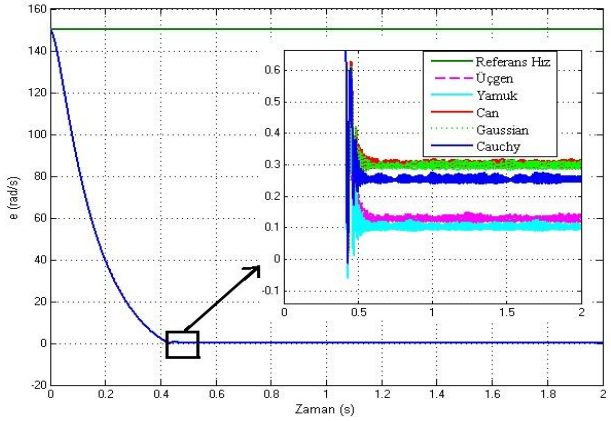
V. BENZETİM SONUÇLARI

Tasarlanan BMD dokuz kurallı bir kural tablosu kullanılmış ve beş farklı üyelik fonksiyonunun etkisi elde edilmiştir. Matlab/Simulink'de oluşturulan sistemin 150 rad/s sabit hız değerine göre çıkışları Şekil 13'de gösterilmiştir.



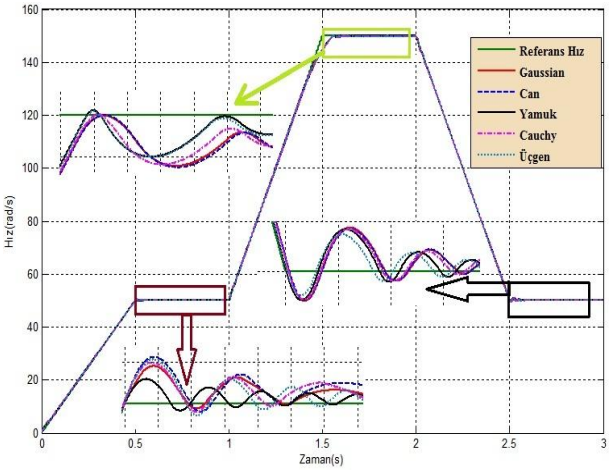
Şekil 13: Hızın zamanla değişimi (wref=150 rad/s)

Sabit referans hız değerine göre hızdaki hatanın zamanla değişimi Şekil 14'de görülmektedir.



Şekil 14: Hızdaki hatanın zamanla değişimi (wref=150 rad/s)

Şekil 13 ve Şekil 14 incelendiğinde yamuk biçimli üyelik fonksiyonunda aşmanın fazla ancak sürekli durum hatasınız en az olduğu görülmektedir. Üçgen biçimli üyelik fonksiyonunda ise aşmanın yamuk biçimli üyelik fonksiyonuna göre daha az olduğu ancak sürekli durum hatasının daha fazla olduğu gözlenmektedir. Gaussian ve cauchy biçimli üyelik fonksiyonları ile elde edilen sonuçlar ise ara değere sahip hatanın olduğu görülmektedir. En kötü sonucu çan biçimli üyelik fonksiyonu verdiği anlaşılmaktadır. Değişken hız değeri için Matlab/Simulink'de oluşturulan sistemin çıkışları Şekil 15'de gösterilmiştir.



Şekil 15: Değişken hız durumunda sistem çıkışları

Şekil 15 incelendiğinde bütün üyelik fonksiyon tiplerinin referans hız değişimini takip ettiği ancak referanslara ulaşımda ve aşmada hataların olduğu görülmektedir. Bu bakımdan en iyi sonucu yamuk biçimli üyelik fonksiyonu verdiği görülmektedir. Üçgen biçimli üyelik fonksiyonunda hatanın yamuk biçimli üyelik fonksiyonuna göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Gaussian ve cauchy biçimli üyelik fonksiyonları ile elde edilen sonuçlar ise ara değere sahip hatanın olduğu görülmektedir. Değişken hız durumunda da en kötü sonucu yine çan biçimli üyelik fonksiyonu verdiği görülmektedir.

VI. SONUÇLAR

Bu çalışmada SMDA motorunun hız denetimi sabit ve değişken hız durumlarına göre kontrolü BMD ile gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık denetleyici içerisinde değişik üyelik fonksiyonları (üçgen, yamuk, gaussian, cauchy, çan) kullanılarak sistemin çıkışı incelenmiş ve üyelik fonksiyonu karşılaştırmaları yapılmıştır.

Benzetim sonuçları incelendiğinde hatanın en fazla çan üyelik fonksiyonun da meydana geldiği, cauchy ve gaussian üyelik fonksiyonlarında hatanın orta seviyelerde olduğu görülmektedir. Üçgen ve yamuk biçimli üyelik fonksiyonları çıkışları birbirine çok yakın olsa da yamuk üyelik fonksiyonunda hatanın daha az olduğu anlaşılmaktadır. Sonuç olarak bu sistem için simülasyonda yamuk üyelik fonksiyonu en iyi sonuçları vermektedir.

KAYNAKLAR

[1] Flores, J.L. ve Ramirez, H.S., DC Motor Velocity Control Through a DC-to-DC Power Converter, 43rd IEEE Conference on Decision and Control, Bahamas, pp. 5297-5302, 2004.

[2] Awad, A.S., Mohamed, E.A., Negm, M.M., Said, A.I., Speed Control of DC Motor Drives Based on Efficient Utilitization of Energy and Optimal Performance, CIRED 97 Conference Publication No. 438, IEE, pp. 5.22.1-5.22.5, 1997

[3] G. Bal, *"Doğru akım makinaları ve Sürücüleri,"* Seçkin Yayıncılık, 2001.

[4] S. Aydemir, S. Sezen ve H.M. Ertunç, "Fuzzy logic speed control of a DC motor", Proc. of the 4th Power Electronics and Motion Control Conference, 766–771, 2004.

[5] M.A. Akcayol, A. Cetin, Ç. Elmas, "An educational tool for fuzzy logic-controlled BDCM," *Education IEEE Transactions on*, Volume 45, Issue 1, 33–42, Feb. 2002.

[6] Ç. Elmas, *Bulanık Mantık Denetleyiciler*, Seçkin Yayıncılık, 2003.

[7] L.A. Zadeh, "Fuzzy Logic," *IEEE Computer Society*, Cilt:21, No:4, 83–93, 1988.

[8] El-Samahy, A.A., Speed Control of DC Motor Using Adaptive Variable Structure Control, Power Electronics Specialists Conference, Vol.3, pp.1118-1123, 2000.

[9] Cheung, J.Y.M, Cheng, K.W.E., Kamal, A.S., Motor Speed Control by Using a Fuzzy Logic Model Reference Adaptive Controller, 6th International Conference on Power Electronics and Variable Speed Drives, pp.430-435, 1996

[10] Taheri, A., Tarihi, M.R, Adaptive Position Control of Three Degrees Freedom Platform, 2006 1st IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, pp. 1-5, 2006.

[11] Feng, G., A Survey on Analysis and Design of Model-Based Fuzzy Control Systems, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 14, No. 5, pp. 676-697, 2006.

[12] Tipsuwan, Y., Chow, M.Y., "Fuzzy Logic Microcontroller Implementation for DC Motor Speed Control," IEEE, 1999.

[13] İ.H. Altaş, "Bulanık Mantık: Bulanık Denetim", Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, Sayı 64, s:76–81,1999.

[14] İ.H. Altaş, "Bulanık Mantık Denetleyici: Matlab/Simulink Ortamı için Bir Modelleme*", Otomasyon Dergisi,* Bileşim Yayınları, Mart 2007, Sayfalar: 58-62.

[15] Hilmi Zenk, İsmail H. Altaş, Farklı Kural Tabanlı Bulanık Mantık Denetleyicilerle DA Motorunu Denetlerken Performanslarının Kıyaslanması, TOK'10 Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 21-23 Eylül 2010, Gebze, Türkiye.

[16] İ. H. Altaş., "Bulanık Mantık : Bulanıklılık Kavramı", *Enerji Elektrik Elektromekanik-3e*, Temmuz 1999, Sayı 62, syf 80-85, Bileşim Yayıncılık A.Ş., İstanbul

[17] E. Özkop, I. H. Altas, A. S. Akpınar, Bulanık Mantık Denetleyicili Güç Sistem Uygulaması, ELECO'2004, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 8-12 Aralık 2004, Bursa, Sayfalar 272-276

[18] K. Yanmaz, İ.H. Altaş, *STATCOM için Bulanık Mantık Denetleyici*, ELECO'2008 5. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 51–54, 2008

[19] D. Ramot, M. Friedman, G. Langholz, , A. Kandel, "Complex Fuzzy Logic", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 11, No. 4, pp. 450–461, 2003.