

# UYARLAMALI BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ İLE SİSTEM KONTROLÜ

Servet TUNCER \* Yetkin TATAR\*\* Z. Hakan AKPOLAT\*

\*Fırat Üniversitesi Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü

\*\* Fırat Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

E-mail: [stuncer@firat.edu.tr](mailto:stuncer@firat.edu.tr), [vtatar@firat.edu.tr](mailto:vtatar@firat.edu.tr), [hakpolat@firat.edu.tr](mailto:hakpolat@firat.edu.tr)

## ÖZET

Bu çalışmada; yük ve referans noktası değişimine karşılık kendi kendini uyarlayabilen bir uyarlamalı bulanık mantık denetleyicinin (BMD) tasarımı yapılmıştır. Uyarlamalı BMD; sistem çıkışı ile referans giriş değeri arasındaki farka bağlı olarak giriş üyelik fonksiyonlarını en dik iniş metodunu kullanarak ayarlamaktadır. Böylece hatanın büyüklüğüne göre daha uygun bir denetim hareketi sağlanabilmektedir. Hata sıfır olduğunda başka bir deyişle sürekli duruma erişildiğinde üyelik fonksiyonlarının en son şekli korunarak adaptasyon devre dışı bırakılmaktadır.

Geliştirilen BMD'nin performansını test etmek için sadece atalet ve sürtünme momentine sahip olan bir dc motor sistemi ele alınarak, MATLAB ortamında benzetimi yapılmıştır. Benzetim sonuçlarından verilen farklı referans girişlerine karşılık sistem cevabının bu referans girişleri yüksek doğrulukla takip ettiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık Mantık Denetleyici

## 1.Giriş

Bulanık Mantık Denetleyiciler karmaşık ve lineer olmayan süreçler için yaygın olarak kullanılmaktadırlar. BMD'ler klasik denetleyicilere (PI, PD ve PID) kıyasla parametre değişimine daha az duyarlıdır ve sürecin matematiksel modeline ihtiyaç duymazlar.

Süreç denetim sistemlerinde klasik denetleyiciler gibi PI-tipi BMD'ler, PD-tipi BMD'ler ve PID-tipi BMD'ler dizayn edilmiştir. PI denetleyicilerde oransal denetleyicinin bağlı kararlılık avantajı ve integral denetleyicinin ofset eliminasyon yeteneği birleştirilmiştir. PI-tipi BMD'nin performansı lineer birinci dereceden sistemler için oldukça hoşnut edicidir. Fakat klasik PI denetleyiciler gibi PI-tipi BMD'nin performansı daha yüksek dereceden sistemler için ki bu sistemler büyük ölölü zamana sahip sistemlerdir, bunlarda büyük maksimum aşma ve aşırı osilasyon nedeniyle performansı düşük olmaktadır (örneğin; ölölü zamana sahip bir sistemin basamak cevabında birinci maksimum aşma çoğu uygulamalar

için çok büyük olabilir). PD-tipi BMD bu sistemleri sınırlandırmak için elverişlidir. Fakat PD-tipi BMD'ler ani yük değişimleri ve ölçüm gürültüsünün etkisi durumlarında tavsiye edilmez. PID-tipi BMD'lerde ise bir etkin kural tabanı oluşturma ve parametrelerin değerlerini ayarlama zorlukları nedeniyle seyrek olarak kullanılmaktadır [1].

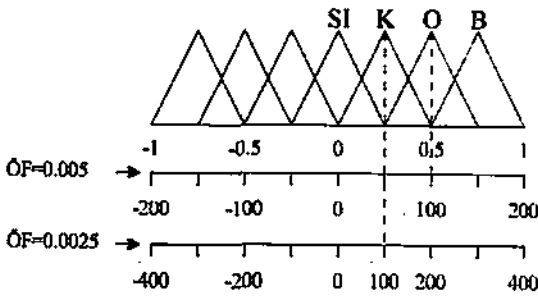
BMD'ler genellikle uzmanın bilgisinden türetilmiş sabit kurallara sahiptir. Giriş ve çıkış dilsel değişkenlerini oluşturan üyelik fonksiyonları ortak bir dilsel evren üzerinde tanımlanır. Bir BMD'nin başarılı bir dizaynı için giriş-çıkış ölçeklendirme faktörleri, üyelik fonksiyonlarının sayısı ve şeklinin seçilmesi ve durulaştırma metodunun tespiti oldukça önemlidir. Klasik denetleyiciler bir matematiksel modele dayanmasına karşılık bir BMD genellikle operatörün deneyimine ve bazen dizayn ediciye, araştırmacının deneyimine ve sezgisine bağlıdır [2].

Otomatik kontrol altındaki çoğu pratik süreçler yüksek dereceden lineer olmayan sistemlerdir ve ölölü zamana sahiptirler. Bazen bu sistemlerin parametreleri zaman ile veya ortam şartlarındaki değişimler ile gelişigüzel olarak değişebilir ve kontrol hareketi kaçınılmaz olarak gecikir. Bu yüzden bir kontrol sisteminin dizaynı için kullanışlı bir teknikte ölölü zamanın da göz önünde tutulması gerekir. Bunlara ek olarak kontrol altındaki sistemde çalışma noktası değiştikçe denetleyicinin parametrelerinin değiştirilmesi zorunludur. Lineer sistemlerde bir denetleyici, çalışma noktasında veya sınırlandırılmış zaman periyodunda iyi performans verebilecek şekilde ayarlanır. Eğer çalışma noktası değişiyorsa denetleyicinin yeniden ayarlanmaya ihtiyacı vardır. Bu yeniden ayarlama gereksinimi, kendi kendini çalışma şartlarına göre otomatik olarak ayarlayabilen, uyarlamalı denetleyicileri ortaya çıkarmıştır [3].

Sistemi denetleyen BMD'nin parametreleri değiştirilemiyorsa bu denetleyici uyarlanamayan denetleyicidir. Eğer parametrelerden herhangi biri denetleyici kullanımda iken değiştirilebilirse, bu denetleyiciyi uyarlamalı BMD olarak tarif edilmektedir [3].

## 2.Uyarlamalı Denetleyicilerde Adaptasyon Mekanizması

Adaptasyon mekanizması, denetleyici performansını düzeltmek için, denetleyici parametrelerini süreç gözlemleyicisinin çıkışına bağlı olarak değiştirmelidir. BMD için adaptasyon mekanizması, parametrelerin ayarlanması durumuna göre sınıflandırılmaktadır. Bu parametreler; denetleyicinin ölçeklendirme faktörleri, kurallar ve üyelik fonksiyonlarının seçilmesini içerir. Ölçeklendirme faktörünün fonksiyonu klasik denetleyicilerdeki kazanç benzerdir ve kontrol sistemin kararlılığı ile doğrudan alakalıdır. O yüzden ölçeklendirme faktörü bir BMD'nin başarılı bir gerçekleştirilmesi için çok dikkatlice saptanmalıdır [4].



Şekil 1. Sayısal giriş değişkenleri için ölçeklendirme ayarı (ÖF; Ölçeklendirme Faktörü. SI: Sıfır, K: Küçük, O: Orta, B: Büyük).

Giriş değişkenlerinin gerçek değerleri belirli bir sayısal aralıkta verilmektedir (örneğin; (-200, 200)). Bu değişkenleri (-1,1) gibi sabit evrensel kümeye taşımak için ölçeklendirme ayarına gerek duyulur. Örneğin, ölçekleme faktörü 0.005 olarak alındığı takdirde, giriş evrensel kümesi bunu sağlayacaktır (şekil 1). Burada giriş için 100 değeri "orta" kümesini belirtir. Ölçekleme faktörünün değiştirilmesiyle giriş değerinin sınıfı da değişir. Örneğin, 100 değeri, 0.0025 ölçeklendirme faktörüyle şekil 1'deki en alt skalada görüldüğü gibi, şimdi "küçük" kümesine ait olacaktır. Bu değişim denetleyicinin girişteki hassasiyetini azaltır ve bu nedenle denetleyicinin kazancı da azalır. Bu şekilde ölçeklendirme faktörlerinin değiştirilmesi, standart PID kontrolördeki kazanç ayarına benzer.

Benzer bir ayarlama mekanizması, dilsel değerler vasıtasıyla bulanık kümelerin şekillerinin değiştirilmesidir. Bulanık küme tanımlamaları keyfi değildir yani tercihe bağlı yapılamaz. Fakat değişkenlerden alınan dilsel değerlerin anlamını yansıtabilecek şekilde seçilirler. Bu durum kümelerin şekilleri için kesinlikle doğrudur ve değişkenlerin anlamlarıyla fazla oynamadan küçük değişiklikler yapılabilmektedir. Bulanık küme tanımlamaları veya ölçekleme faktörlerini ayarlayabilen uyarlamalı

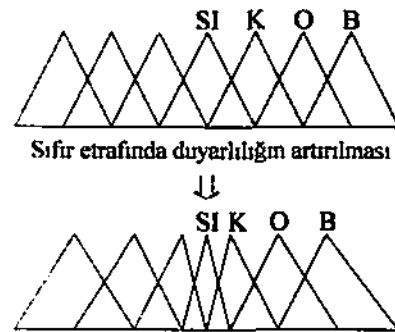
denetleyiciler, kendi kendini ayarlayabilen (self-tuning) denetleyici olarak adlandırılırlar(şekil 2).

Değiştirilebilen bir başka parametre kümesi, "Eğer-o halde" kurallarının kendisidir. Örneğin, kontrol altındaki sistemde i.kural aşağıdaki gibi değiştirilirse daha uygun denetim hareketi sağlanabilir.

Eğer "sıcaklık yüksek" ise o halde "soğutma orta" olmalıdır.

Eğer "sıcaklık yüksek" ise o halde "soğutma yüksek" olmalıdır.

Kuralları değiştirerek geliştirilen denetleyiciler kendi kendini organize edebilen (self-organizing) denetleyiciler olarak adlandırılırlar[ 3].



Şekil 2. Uyarlanmış bulanık kümeler

Bu çalışmada; üyelik fonksiyonlarının merkezlerini ve tanım aralıklarını süreç çıkışına bağlı olarak değiştiren uyarlamalı BMD'nin dizaynı üzerinde durulacaktır. Optimizasyon için en dik iniş metodu kullanılmıştır.

### 2.1. En dik iniş metodu

BMD kuralları *eğer-o halde* yapısından ibaret olup şu biçimde tanımlanmaktadır;

$$\text{Eğer } \chi_1 = LX_1^{(1)}(1) \text{ ve...ve } \chi_m = LX_m^{(i)} \text{ ise } o \text{ halde } u = LU^{(i)} \quad (1)$$

Burada  $\chi_1, \dots, \chi_m$  denetleyici giriş değişkenleri (süreç-durum değişkenleri),  $u$  denetleyici çıkış değişkenini,  $i$  kural sayısı,  $LX_1^{(1)}, \dots, LX_m^{(i)}$  kuralın varsayım kısmının dilsel değerleri ve  $LU^{(i)}$  ise kuralın sonuç kısmının dilsel değerini belirlemektedir.

Üyelik fonksiyonları, evrensel kümede  $a_{ij}$  tepe değeri ve  $b_{ij}$  olarak belirtilen bulanık küme tanım aralığı olarak alındığı takdirde, basit bir üçgen olarak şekil 3'deki gibi tanımlanır. Sayısal giriş değişkenleri için üyelik dereceleri ise aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

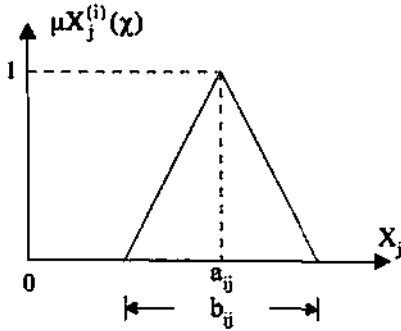
$$\mu_{X_j^{(i)}}(x) = 1 - \frac{2|x - a_{ij}|}{b_{ij}} \quad (2)$$

Burada  $x, x_j$  giriş değişkeninin  $X_j$  domenindeki bir kesin değerine karşılık gelmektedir. Yükseklik durulaştırma metodu kullanılarak bir kural kümesinden, bulanık olmayan kesin çıkış  $u^*$  şu şekilde elde edilir.

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \cdot u_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (3)$$

Burada  $\mu_i$ , giriş değişkenlerinin üyelik derecelerinin çarpımından oluşmaktadır.

$$\mu_i = \mu_{X_1^{(i)}}(x_1) \cdot \mu_{X_2^{(i)}}(x_2) \cdot \dots \cdot \mu_{X_m^{(i)}}(x_m) \quad (4)$$



Şekil 3. Üçgensel bulanık küme

Bulanık denetleyici, yukarıda tanımlanan bağıntıları kullanarak istenen çıkış ile sistem çıkışı arasındaki hatayı küçültmek için uygun denetim hareketi sağlar. Bu yöntemde yapılan; bir amaç fonksiyonu olan  $E$ 'nin minimize edilmesidir.  $E$  şu şekilde verilir;

$$E(k) = \frac{1}{2} (y_{ref}(k) - y(k))^2 \quad (5)$$

Burada;  $k$  örnekleme sayısı,  $y_{ref}$  istenen çıkış değeri ve  $y$  ise sistem çıkışıdır. Bu bir yineleme algoritmasıdır, her yinelemeyle  $E$ 'nin değeri düşürülmeye çalışılır. Gerçekte, amaç fonksiyonun tüm noktaları, negatif gradient vektörünün yönünde çok hızlı bir şekilde azalır. En dik iniş metodu için geçerli olan bağıntılar aşağıda verilmiştir [5].

$$a_{ij}(t+1) = a_{ij}(t) - K_a \frac{\partial E}{\partial a_{ij}} \quad (6)$$

$$b_{ij}(t+1) = b_{ij}(t) - K_b \frac{\partial E}{\partial b_{ij}} \quad (7)$$

$$u_{ij}(t+1) = u_{ij}(t) - K_u \frac{\partial E}{\partial u_{ij}} \quad (8)$$

$i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$ . Burada  $K_a, K_b$  ve  $K_u$  sabittirler. Bu parametreler optimizasyon işlemine göre ayarlanır. Amaç fonksiyonu  $E$ 'nin yerel bir minimum noktası bulununcaya kadar iterasyon devam ettirilir.

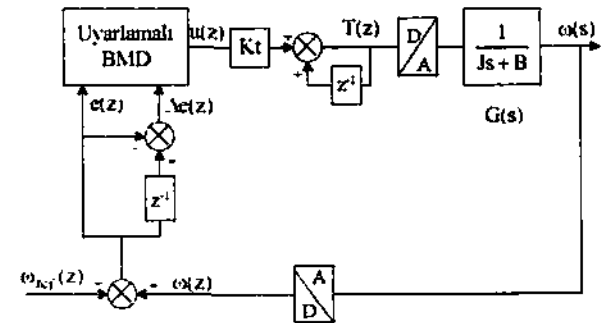
## 2.2 Ayarlama İşlemi

BMD'nin kuralları süreç hakkındaki deneyimlerinden türetilir. Başlangıçta  $a_{ij}$  ve  $b_{ij}$  parametreleri giriş domeni üzerinde uygun dağıtılarak üyelik fonksiyonları tanımlanır. Optimizasyon işlemi aşağıdaki gibidir.

1. Her bir çıkarım kuralı için (2), (3) ve (4) denklemleri yardımıyla  $\mu_i$ 'nin üyelik değeri ve denetleyicinin çıkışı  $u$  hesaplanır.
2.  $u_i$ 'nin gerçek değerinin ayarı (8) denklemi kullanılarak yeniden düzenlenir.
3.  $a_{ij}$  ve  $b_{ij}$  parametreleri yeni  $u_i$  ve  $\mu_i$  değerleri (6) ve (7) denklemleri ile bulunur.
4. Amaç fonksiyonu  $E$ , (5) denklemi ile hesaplanır.
5.  $|E(k) - E(k-1)|$  hata değişimi yeterince küçükse optimizasyon tamamlanır. Aksi takdirde 1. adımdan itibaren tekrarlanır.

Bu ayarlama  $a_{ij}, b_{ij}$  ve  $u_i$ 'nin değerlerini her çevrimde değiştirmektedir.

## 3. Geliştirilen Denetleyici ile Sistem Kontrolü



Şekil 4. BMD ile kapalı-çevrim sistem kontrolü

Geliştirilen denetleyicinin performansını test etmek için şekil 4'te gösterildiği gibi sadece atalet momenti  $J$  ve sürtünme momenti  $B$ 'den oluşan bir dc motor sisteminin hız kontrolü incelenmiştir (akım kontrolü ihmal ediliyor). Uyarlamalı BMD hız referans değeri ile sistem çıkışı arasındaki farka bağlı

olarak  $a_{ij}$  ve  $b_{ij}$  parametrelerini yukarıda açıklanan adaptasyon mekanizmasına göre sürekli olarak değiştirmektedir. Referans değeri yakalandığında (hız hatası yaklaşık olarak sıfır olduğunda) ise adaptasyon devreden çıkacak ve en son  $a_{ij}$  ve  $b_{ij}$ 'ye göre sistem kontrollü devam edecektir. Eğer bir referans noktası değiştirilir veya ani bir yük bindirildiği takdirde adaptasyon mekanizması tekrar devreye girecektir.

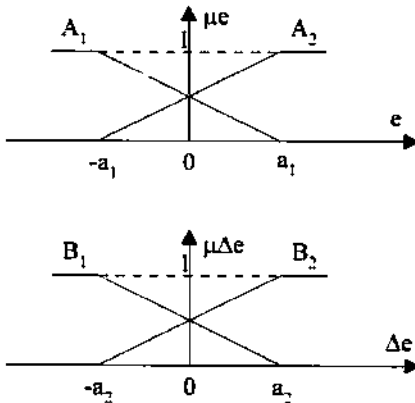
Uyarlamalı BMD için giriş değişkenleri;  $e(z)$  olarak belirtilen hız hatası ve  $\Delta e(z)$  olarak belirtilen hız hatasının değişimidir (şekil 4).  $e(z)$ ,  $\Delta e(z)$  ve motor tarafından geliştirilen moment  $T(z)$ , aşağıda belirtildiği gibi ifade edilir;

$$e(z) = \omega_{ref}(z) - \omega(z) \quad (9)$$

$$\Delta e(z) = e(z) - z^{-1}.e(z) \quad (10)$$

$$T(z) = Kt.u(z) + z^{-1}.T(z) \quad (11)$$

$e(z)$  ve  $\Delta e(z)$  için üyelik fonksiyonları şekil 5'te verilmiştir. Bu çalışmada, denetleyicinin çıkışının fonksiyonlar ile temsil eden sugeno-tipi bulanık denetleyici kullanılmıştır. Bu denetleyici tipi için geçerli olan kural tabanı Tablo I'de görülmektedir. Tabloda  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3$  ve  $u_4$  ile gösterilen fonksiyonların tespitinde PI-benzeri BMD yapısı kullanılmıştır [6].



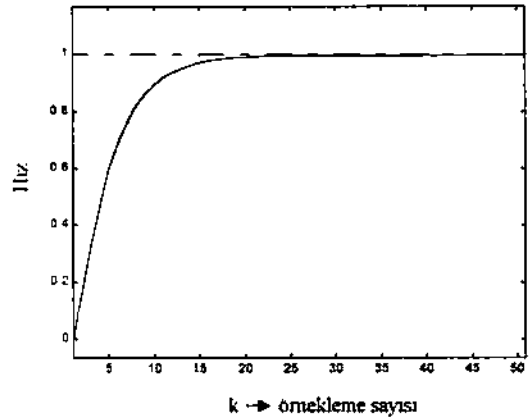
Şekil 5.  $e(z)$  ve  $\Delta e(z)$  için üyelik fonksiyonları.

Tablo I. Kural tabanı ve çıkış fonksiyonları

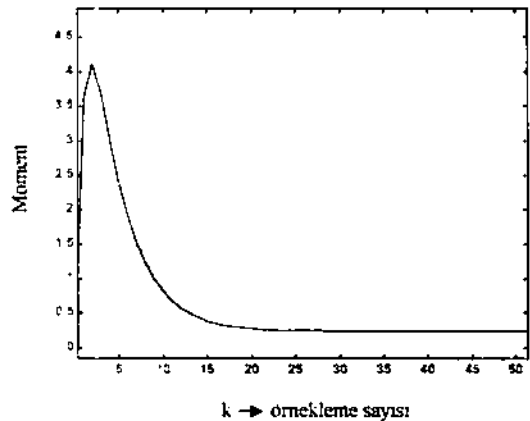
		Hata ( $e$ )		
		$A_1$	$A_2$	
Hata değişimi ( $\Delta e$ )	$B_1$	$u_1$	$u_2$	$u_1 = -a_1.k_i - a_2.k_p$
	$B_2$	$u_3$	$u_4$	$u_2 = a_1.k_i - a_2.k_p$
				$u_3 = -a_1.k_i + a_2.k_p$
				$u_4 = a_1.k_i + a_2.k_p$

Yukarıda bahsedilen kontrol stratejisini gerçekleştirmek için MATLAB paket programı kullanılarak  $J=0.1$ ,  $B=1$  ve moment sabiti  $Kt=4.17$  olarak alınan bir sistem için benzetimi yapılmıştır. Şekil 6'da birim basamak referans girişine karşılık sistem cevabı ve şekil 7'de ise motor tarafından geliştirilen moment görülmektedir. Referans noktası değişimine göre sistem cevabı şekil 8'de verilmiştir. Burada sırasıyla 1, 1.2 ve 0.8 referans girişleri belli aralıklarla sisteme uygulanmıştır. Son olarak ani yük değişimine göre sistem cevabı incelenmiştir (şekil 9). Bu amaçla başlangıçta yüküzsüz durumda olan sisteme  $k=36$ . örnekte 0.2 Nm'lik ani bir yük sisteme bindirilmektedir.

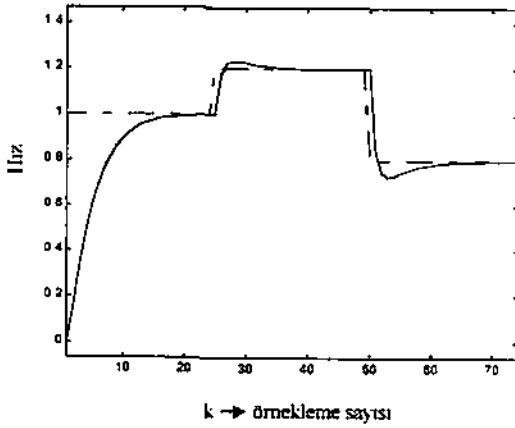
Benzetim sonuçlarından görüleceği üzere; verilen referans girişleri ve ani yük değişimleri durumlarında sistem çıkışının referans değerini yüksek doğrulukla takip etmektedir.



Şekil 6. Birim basamak giriş için sistem cevabı.

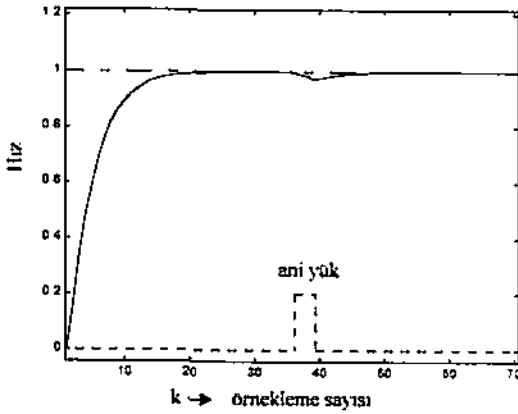


Şekil 7. Birim basamak giriş için motor tarafından geliştirilen moment.



--- Referans değeri. — İstenen çıkış değeri

**Şekil 8.** Referans noktası değişimine göre sistem cevabı.



--- Referans değeri. — İstenen çıkış değeri.  
— Yük momenti

**Şekil 9.**  $k=36$ 'da 0.2 Nm.'lik ani bir yük bindirildiği durumda sistem cevabı.

## Kaynaklar

[1]. Rajani K. Mudi., Nikhil R. Pal., "A Robust Self Tuning Scheme for PI and PD-Type Fuzzy Controllers", IEEE Tran. on Fuzzy Systems., Vol.7., No. 1., pp. 2-16., 1999.

[2]. Terano T., Asai K., Sugeno M., Fuzzy Systems Theory and Its Applications., 1992

[3]. Driankov D., Hellendorn H., Reinfrank M., An Introduction to Fuzzy Control. Springer-Verlag Berlin Heidelberg., 1996

[4]. Jian-Xin X., Yang-Ming P., Chen L., Chang-Chieh., "Tuning and Analysis of a Fuzzy PI Controller Based on Gain and Phase Margins"

[5]. Li-Xin W., Adaptive Fuzzy Systems and Control., Prentice Hall., 1994.

[6]. Akpolat Z.H., "Applications of Fuzzy Sliding Mode Control and Electronic Load Emulation to the Robust Control of Motor Drivers", University of Nottingham . Phd thesis, 1999.

[7]. MATLAB 5.0 User Guide