

T Ü R K İ Y E ' D E V E D Ü N Y A D A

OTOMASYON

AYLIK ELEKTRİK ELEKTRONİK MAKİNA BİLGİSAYAR DERGİSİ

Mart 2007
112498 2007/03
Fiyatı: 3 YTL



AS-Interface Otomasyon Çözümü
Üretim Süreçlerinde Veri Ambarları
İTÜ Endüstriyel Otomasyon Laboratuvarı
Kumanda Devreleri İçin Bir Tasarım Yöntemi

WIN Fuarları Kazandırır...

Türkiye ve Avrasya bölgesi imalat endüstrisinin 3 lider uzmanlık fuarı WIN fuarları 2. fazı çatısı altında birarada...

OTOMASYON'07 ELECTROTECH'07 HYDRAULIC & PNEUMATIC'07

14. Endüstriyel Otomasyon Fuarı 8. Enerji, Elektrik ve Elektronik Teknolojileri Fuarı 4. Akışkan Gücü Teknolojileri Fuarı



08-11 Mart 2007

Perşembe → Pazar
Tüyap Fuar ve Kongre Merkezi
Beylikdüzü-İstanbul

BİLESİM 20.
YAYINCILIK A.Ş. YIL



Bulanık Mantık Denetleyici: Matlab/Simulink Ortamı İçin Bir Modelleme

İsmail H. Altaş

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik
Mühendisliği Bölümü
ihaltas@altas.org
http://www.altas.org

Özet

Bulanık Mantık Denetleyici (BMD)'nin Matlab/Simulink ortamında, sadece basit aritmetik operatörler kullanılarak nasıl gerçekleştirildiği bu çalışmada verilmektedir. Matlab Fuzzy Logic Toolbox'dan bağımsız olarak tamamen basit bloklarla gerçekleştirilen bu BM denetleyici, sunduğu açık blok modellerle bu konuda çalışma yapan ve bulanık mantık denetleyicinin nasıl işlediğini öğrenmek isteyenlere yol gösterici nitelikte bir yapıya sahiptir.

Geliştirilen BMD blok model farklı sistemlere kolayca adapte edilebilir özellikte olup, kullanıcıya tasarım konusunda zaman kazandırabileceği gibi, blok model içeriğine girerek değişiklik yapma olanağı da sunmaktadır. Burada açıklanan BMD Simulink modeli tamamıyla yazar tarafından geliştirilmiş olup, kullanılması halinde atıfta bulunulması, şekil veya metinlerden alıntı yapılması durumunda ise yazardan özel izin alınması gerekmektedir.

1. Giriş

Bulanık mantık tabanlı denetleyiciler konusundaki çalışmalar hızla artarken, bilgisayar yazılımı dünyasındaki gelişmeler bir çok konuda olduğu gibi bulanık mantık (BM) denetleyicilerin modellenmesini de farklı bir boyuta ta-

şımış bulunmaktadır. Öyle ki artık kod yazmaya dayalı yazılımlar yerini nesneye dayalı yazılımlara bırakmış ve geliştirilen grafik etkileşimli kullanıcı arayüzleri sayesinde sistem modelleme ve denetleyici tasarlama daha kolay ve etkin hale gelmiştir.

Matlab/Simulink kullanıcıya grafik etkileşim arayüzü sunan yazılımlardan biri olarak oldukça sık kullanılan ve akademik ortamlarda kabul gören bir yazılım. Özellikle tasarım yapacak olan araştırmacılara sistem geliştirme ve simülasyonunu yapma konusunda zaman kazandırıcı bir özelliğe sahip.

Ancak sadece Simulink kütüphanesinde bulunan hazır blok modellerle çalışmak, ve bu modelleri gözü kapalı kullanmak o konuda eğitim görenler için pek olumlu sayılabacak bir durum değil. Bununla beraber Matlab/Simulink kullanıcıya kendi modelini ve model kütüphanesini geliştirme olanağı da sunmaktadır. Bu çalışma, Simulink'in bu kullanıcı dostu olanağından faydalanıp sadece temel aritmetik operatörleri kullanılarak bir Bulanık Mantık Denetleyicinin nasıl gerçekleştirildiğini göstermektedir. Bulanık denetleyici aşamaları adım adım verilmekte ve yapılan örnek simülasyonlarla da çalışmanın doğruluğu klasik PI denetleyicilerle kıyaslanmak suretiyle doğrulanmaktadır.

2. Bulanık İşlemci ve Karar Verme Mekanizması

Bulanık mantık denetleyici (BMD)'nin tasarımı ile ilgili ayrıntılı bilgi yazarın daha önce Otomasyon Dergisi'nin 2006 Ağustos ve Eylül sayılarında yer alan makalelerinde verilmiştir. Dolayısıyla aynı ve benzer konular burada tekrarlanmadan doğrudan bulanık denetleyicinin nasıl işlediği açıklanacak ve arkasından da Matlab/Simulink ortamında modellenmesi verilecektir.

BMD genel yapısıyla üç kısımdan oluşur. Bunlar sırasıyla kesin değerlerin bulanık değerlere dönüştürüldüğü "bulanıklaştırma" aşaması, bulanık değerlerin bulanık kurallarla işlendiği "kural işleme ve karar verme" aşaması ve son olarak da bulanık sonucun kesin sayıya dönüştürüldüğü "durulaştırma" aşaması. Genellikle iki boyutlu bir giriş uzayı BMD için yeterlidir. Kontrol hatası $e(k)$ ve bu hatanın bir örnekleme süresindeki değişimi $\dot{e}(k)$ bu iki boyutlu giriş uzayının temel elemanlarıdır. Bulanıklaştırma işlemi ile bulanıklaştırılmış verilerin kural tablosundaki etkin kurallarla etkileşimi Şekil 1'de şematik olarak gösterilmektedir. Burada k örnekleme anındaki $e(k)$ ve $\dot{e}(k)$ değerlerinin e - \dot{e} düzleminde e ve \dot{e} uzaylarında tanımlı bulanık alt kümelerle haritalanması ve sonrasında da etkin kuralların tetiklenerek sonuçlandırma mekanizmasına gönderilen üyelik değerlerinin belirlenmesi gösterilmektedir. Kullanılan üçgen yapıları üyelik fonksiyonlarının yapısına göre her k örnekleme anı için e ve \dot{e} uzaylarının her birinde en fazla iki bulanık alt küme sıfırdan farklı üyeliğe sahip olmaktadır. Dolayısıyla her k örnekleme anında en fazla dört kural aktif durumda iken di-

ğer kurallar etkisizdir.

Şekil 1'de e - \dot{e} düzleminde yer alan $(e(k), \dot{e}(k))=(0.3, -0.01)$ noktası e ve \dot{e} uzayında ise NS ve ZZ bulanık kümeleri ile kesilmektedir. Yani sadece bu kümelerde üyelik değerine sahiptir. Diğer kümelerde herhangi bir üyeliği yoktur. Dolayısıyla diğer kümelerle ilgili kurallar etkisizken, sıfırdan farklı üyeliğe sahip bu dört bulanık küme ile ilgili kurallar etkin kurallardır. Bu dört etkin kural aşağıdaki gibi yazılabilir:

Kural 7 (R7): if e is PS and \dot{e} is NS then Δu is ZZ

Kural 8 (R8): if e is PS and \dot{e} is ZZ then Δu is PS

Kural12 (R12):if e is ZZ and \dot{e} is NS then Δu is NS

Kural13 (R13): if e is ZZ and \dot{e} is ZZ then Δu is Z

Şekil 1'de ve bu etkin kurallarda kullanılan kısaltmaların anlamları şöyledir. NB: negatif büyük, NS: negatif küçük, ZZ: sıfır, PS: pozitif küçük ve PB: pozitif büyük.

$e(k)=0.3$ değerinin PS ve ZZ bulanık kümelerindeki üyelik değerleri sırasıyla $\mu_{ps}(e)=0.7$ ve $\mu_{zz}(e)=0.3$ dür. Benzer şekilde $\dot{e}(k)=-0.01$ değerinin ZZ ve NS bulanık kümelerindeki üyelik derecesi de sırasıyla $\mu_{ns}(\dot{e})=0.8$ ve $\mu_{zz}(\dot{e})=0.2$ dir. Bu üyelik derecelerinin elde edilmesinde üçgen üyelik fonksiyonunu temsil eden (1) denklemi kullanılabilir.

$$\mu(x) = \max \left[\min \left(\frac{x-x_1}{x_2-x_1}, \frac{x_3-x}{x_3-x_2} \right), 0 \right] \quad (1)$$

Üyelik değerleri elde edildikten sonra min işlemi kullanılarak her bir aktif kuralın Δu sonuç uzayındaki etkisini belirleyen üyelik dereceleri belirlenebilir.

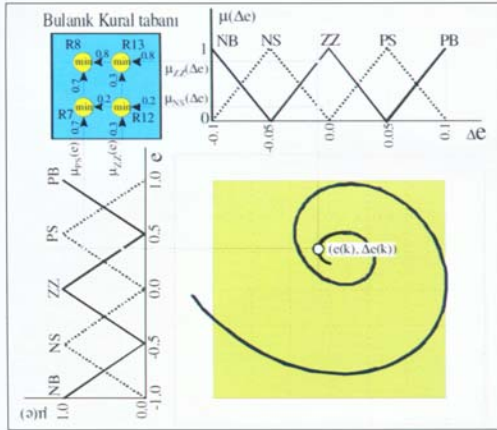
$$\mu_{R7}(\Delta u) = \min(\mu_{PS}(e), \mu_{NS}(\dot{e})) = \min(0.7, 0.2) = 0.2 \quad (2)$$

$$\mu_{R8}(\Delta u) = \min(\mu_{PS}(e), \mu_{ZZ}(\dot{e})) = \min(0.7, 0.8) = 0.7 \quad (3)$$

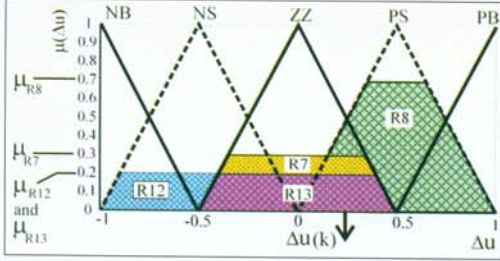
$$\mu_{R12}(\Delta u) = \min(\mu_{ZZ}(e), \mu_{NS}(\dot{e})) = \min(0.3, 0.2) = 0.2 \quad (4)$$

$$\mu_{R13}(\Delta u) = \min(\mu_{ZZ}(e), \mu_{ZZ}(\dot{e})) = \min(0.3, 0.8) = 0.3 \quad (5)$$

Bu işlem sonucunda elde edilen Δu çıkış uzayında tanımlı kurallarının etkinliği Şekil 2'de μ_{R7} , μ_{R8} , μ_{R12} , and μ_{R13} üyelik dereceleri ile gösterilmektedir. Bu üyelik dereceleri Δu çıkış uzayındaki kuralların ağırlık katsayıları olarak düşünülebilir. Etkin kuralların ağırlıklı kesin değer ortalaması kesin çıkış olarak alınabilir. Ancak bu durulaştırma işlemi için (6) bağıntısı ile verilen ve etkin alanların ağırlık merkezinin alındığı alanların merkezi yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1. Bulanık sonuçlandırma işleminin şematik gösterimi.



Şekil 2. Bulanık sonuçlandırmanın beş bulanık alt kümeye bölünmüş Δu çıkış uzayındaki kümelerle ağırlıklı dağılımı.

$$\Delta U_R(k) = \frac{\sum_{i=7,8,12,13} \mu_{R_i}(\Delta u_R) \Delta u_R(R_i)}{\sum_{i=1}^4 \mu_i(uV_R)} \quad (6)$$

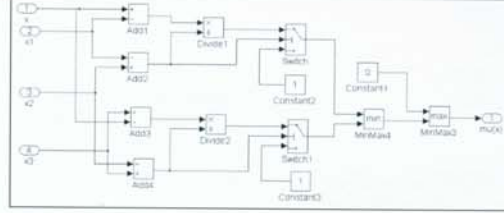
Alanların merkezi yöntemi Şekil 2’de verilen etkin sonuç kümeleri ve üyelik değerleri için uygulanırsa söz konusu k örnekleme anı için üretilen denetim işareti değişimi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\Delta U_R(k) = \frac{0.2(0.0) + 0.7(0.5) + 0.2(-0.5) + 0.3(0.0)}{0.2 + 0.7 + 0.2 + 0.3} = \frac{0.25}{1.4} = 0.17857 \quad (7)$$

Buradaki $\Delta u(R_i)$ değeri kesin φu uzayında ilgili bulanık kümenin maksimum üyelik değerine karşılık gelen kesin Δu değeridir. Yani R_i kuralını temsil eden bulanık kümede maksimum üyeliğe sahip olan Δu değeridir. Örneğin Şekil 2’de gösterildiği gibi 12 numaralı kural için çıkış uzayındaki bulanık küme NS ve bu kümede maksimum üyeliğe sahip olan φu değeri de -0.5 dir.

3. BMD’nin Matlab/Simulink Ortamı İçin Modellenmesi

Önceki kısımlarda açıklandığı gibi, bulanık üyelik fonksiyonları BMD’nin temel elemanları ve modellemede mutlaka bulunması gerekir. Bir çok uygulamada üçgen, yamuk, çan, Gaussian, sigmoid, ve sinusoid yapısına sahip üyelik fonksiyonu kullanıldığını görmek mümkün. Burada yapılan modellemede, önceki kısımlarda olduğu gibi (1) bağıntısı ile verilen üçgen yapılı üyelik fonksiyonları kullanılmış ve Simulink ortamında Şekil 3’deki gibi modellenmiştir. Burada x üyelik derecesi belirlenecek olan kesin sayıyı, x_1 , x_2 , ve x_3 ise üçgen üyelik fonksiyonunun ilgili kesin uzaydaki yerini temsil eden parametreleri-



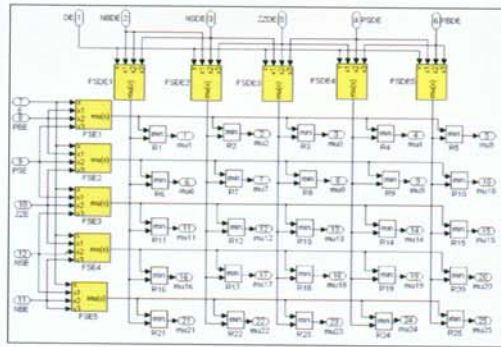
Şekil 3. Üçgen üyelik fonksiyonunun Simulink ortamındaki modeli.

dir. Şöyle ki x_2 üçgenin tepe noktasına karşılık gelen kesin değer, x_1 tepenin sol tarafındaki kenarın yerini temsil eden kesin değer ve x_3 ’de tepenin sağ tarafında kalan kenarın yerini temsil eden kesin sayıdır.

Önceki kısımda verilen sayısal örnekten de anlaşılacağı gibi bulanık sonuçlandırma mekanizması

$$\text{If } e \text{ is } A \text{ and } \Delta e \text{ is } B \text{ then } \Delta u \text{ is } C. \quad (8)$$

sözle ifadeyle temsil edilmektedir. Buradaki “and” bağlacı “min” Boolean operatörüne karşılık gelmektedir. A, B, and C parametreleri ise NB, NS, ZZ, PS, ve PB bulanık alt kümelerine karşılık gelmektedir. Denklem (8) de verilen ifadenin (e is A and Δe is B) kısmı giriş uzayını temsil etmektedir. Dolayısıyla giriş uzayından gelen üyelik değerlerinin minimumları alınarak her kural için gerekli ağırlık katsayısı belirlenir. Bu ifadede e is A ve Δe is B ifadeleri bulanıklaştırmayı temsil eden ifadelerdir. Dolayısıyla (e is A and Δe is B) ifadesi hem bulanıklaştırmayı, hem de ilgili kural için gerekli ağırlık katsayısının belirlenmesini temsil etmektedir. Bu işlemin 25 kurallı bir BMD için Simulink’de yapılan modellenmesi Şekil 4’de verilmektedir.



Şekil 4. If e is A and Δe is B then Δu is C ifadesinin Simulink modeli.

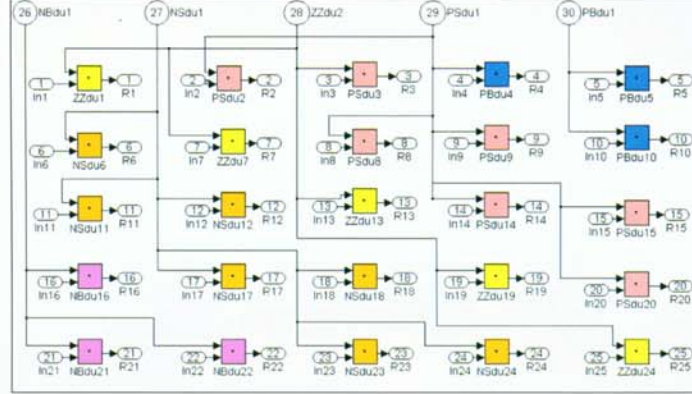
Şekil 4'de $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_{25}$ şeklinde gösterilen çıkış uçları 25 kuralı BMD'de Δu çıkış uzayında tanımlı her bir çıkışa karşılık gelen bulanık kümenin ağırlık katsayısıdır. Denklem (6) da verilen Alanların Merkezi Yöntemi'nin pay kısmında yer alan ifadeye göre bu ağırlık katsayıları ilgili üyelik fonksiyonunda maksimum üyeliğe sahip kesin sayı ile çarpılmaktadır. Bu işlemi temsil eden Simulink modeli Şekil 5 deki gibi elde edilebilir.

Denklem (6) ile verilen durulaştırma yöntemi alanların merkezine göre paydaki çarpımların toplamının Şekil 3'de elde edilen kural ağırlık katsayılarını temsil eden üyelik derecelerinin toplamına bölünmesi gerekmektedir. Bu işlem Şekil 6'daki gibi gerçekleştirilebilir.

Şekil 6'da verilen Fuzzification isimli blok Şekil 4 ile gerçekleştirilen işlemleri temsil eden bir alt-blok, Fuzzy Rules isimli blok ise Şekil 5'de açıklanan işlemleri temsil eden alt-bloktur. Şekil 6 da ayrıca bir alt-blok haline dönüştürülerek Şekil 7'de verilen Fuzzy Reasoning isimli blokla temsil edilmiştir. Şekil 7 ayrıca BMD için gerekli verilerin nasıl girileceğini de göstermektedir.

4. Bir Uygulama Örneği

Simulink ortamı için geliştirilen BMD'nin performansı, sürekli miktatsız bir doğru akım motorunun hız kontrolü için uygulanmış ve yapılan simülasyon çalışması aynı sistemin PID denetleyici ile yapılan simülasyonuyla karşılaştırılmıştır. Söz konusu hız kontrol sisteminin simülasyon modeli Şekil 8'de verilmektedir. Burada BMD'yi temsil eden blok



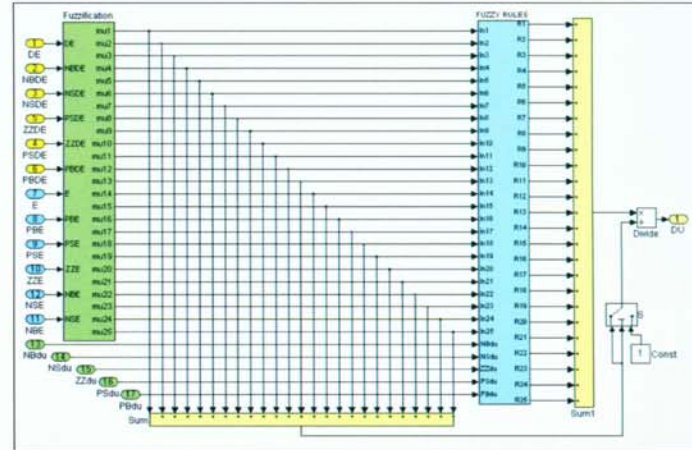
Şekil 5. Alanların merkezi yönteminin payındaki çarpma işlemi.

FLC ile temsil edilmiştir. PID denetleyici kullanılacağı zaman FLC bloğu yerine PID bloğu koymak yeterlidir. Doğru gerilim kısıyıcıyı temsil eden DC-DC Chopper ve sürekli miktatsız doğru akım motorunu temsil eden PMDC Motor blokları ilgili elemanların Simulink modellerini içermektedirler. Bunların modellenmesi bu makalenin dışında tutulduğundan ayrıca verilmemiştir.

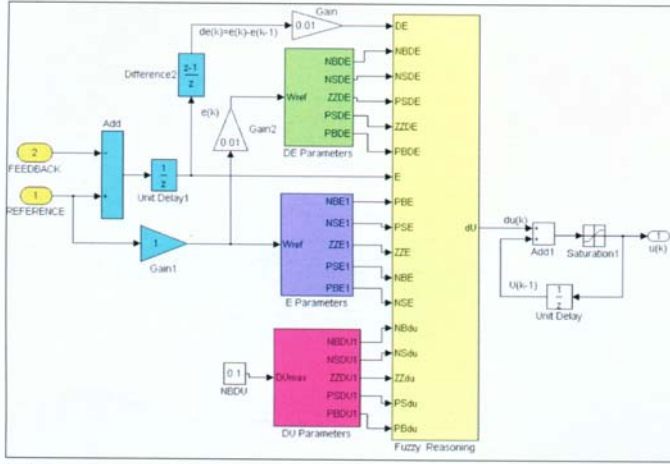
Sürekli miktatsız bir doğru akım

motorunun hız kontrolü için yapılan simülasyonda, simülasyon sürerken referans hız girişi basamak şeklinde artırılmış, sonra da eski değerine geri düşürülerek denetleyicinin performansı gözlenmiştir.

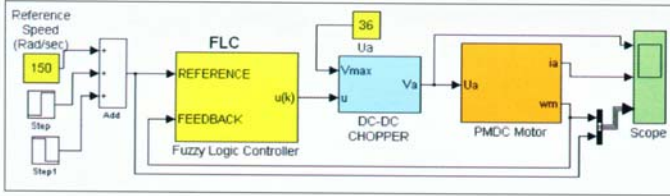
Benzer işlem PID denetleyici ile de yapılarak sonuçlar Şekil 9'da verilmiştir. Her ne kadar PID daha hızlı bir tepke veriyor gibi görünse de her iki denetleyicinin referans değeri yakalama ve izleme performansı aynıdır.



Şekil 6. Durulaştırma işleminin Simulink modeli.



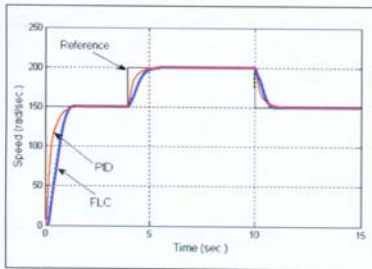
Şekil 7. Parametre ve değişken girişleri ile BMD.



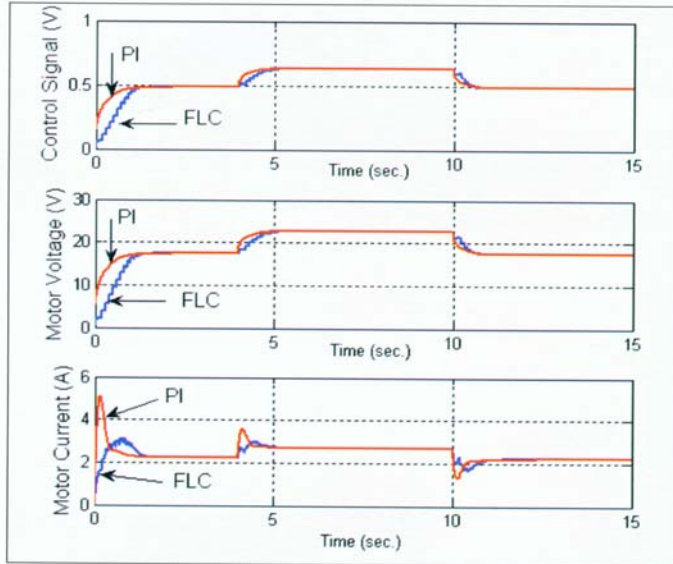
Şekil 8. Bir uygulama örneği olarak DA motoru hız denetimi.

Her iki denetleyici ile elde edilen kontrol işareti, motora uygulanan gerilim değeri ve motor akımı Şekil 10'da verilmektedir.

Burada dikkat çeken önemli noktalardan biri, BMD kullanıldığında motor akımının yol alma sırasındaki başlangıç değerinin PID



Şekil 9. BMD ve PID ile elde edilen hız tepkeleri.



Şekil 10. Kontrol işareti, motora uygulanan gerilim değeri ve motor akımının BMD ve PID ile elde edilen tepkeleri.

ile elde edilen değer yarısı kadar küçülmesidir.

5. Değerlendirme

Bulanık Mantık tabanlı denetleyicinin Matlab/Simulink ortamında modellenmesi bu makalede ele alınmıştır.

BMD modellemesi adım adım açıklanmış ve sonunda bir alt bloğa dönüştürülerek uygulanacağı sistemle birleştirilmiştir.

Geliştirilen BMD blok modeli Simulink ortamında yapılacak denetleyici simülasyonlarında basit bir blok olarak denetim sistemi ile birleştirip, kullanılabilir.

BMD modelinin iç yapısı kullanıcı erişimine açık olup, gerektiğinde parametre değişiklikleri yapılabilir.