

# KOLAY TASARIMLI BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ İLE BİR FAZLI İNVERTÖR DENETİMİ

Hamit ERDEM<sup>1</sup>

Ömer DEPERLİOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Başkent Üniversitesi, T.B.M.Y.O., Elektronik Programı, Çay yolu, ANKARA

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, A.M.Y.O. Elektrik Programı, 03100 AFYON

<sup>1</sup>e-posta: [herdem@baskent.edu.tr](mailto:herdem@baskent.edu.tr)

<sup>2</sup>e-posta: [odeper@aku.edu.tr](mailto:odeper@aku.edu.tr)

*Anahtar sözcükler: Bulanık mantık kontrol, güç elektroniği, invertör denetimi*

## ABSTRACT

*A fuzzy logic controller is proposed as an alternative to control power inverters. In Fuzzy Logic Controller (FLC), the method allows easily to construct a set of membership functions, called shrinking-span membership functions (SSMFs). Membership functions grade has been scaled by shrinking factors ( $s_1, s_2$ ) in the fuzzifier and defuzzifier stage of FLC structure. The FLC use Mamdani type fuzzy controllers for the defuzzification strategy and inference operators. An implementation of fuzzy logic controller is also proposed and a PWM DC/AC inverter is used as a test system. Simulations results show a large improvement in the transient response when compared to a classical PI controller, confirming validity of the proposed approach.*

## 1. GİRİŞ

Fiziksel sistemlerin doğrusal özellik göstermemesi, ve zamana göre değişken olması ve bunların AA/AA bir sisteme yük olarak bağlanması durumunda, sistemden beklenen özellikleri yerine getirmesi güçleşmektedir. Zamanla değişen ve doğrusal olmayan bir sistemi, yükü içine alacak şekilde bir bütün olarak klasik yöntemlerle modellemek ve bu tip sistemleri klasik PI ya da PID gibi denetleyicilerle kontrol etmekte oldukça zordur. Bu nedenle bu çalışma ile AA/DA – DA/DA – DA/AA katlarından meydana gelen AA/AA konvertörün çıkışından, çıkışa bağlanacak yükün çalışma özelliklerine uygun büyüklüklerin optimum düzeyde ve minimum kayıpla elde edilebilmesini sağlamak amacıyla sistemde bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Konvertörlerde çıkış geriliminin genliği, frekansı ya da hem genliği hem de frekansı ayarlanırken genel olarak kontrol edici eviricideki dalga genişliğini (Darbe Genişlik Modülasyonu, DGM) ya da dalga boyunu (Frekans Modülasyonu, FM) değiştirmektedir. Bazı uygulamalar için bu iki

değerin aynı anda ve senkronize olarak değişimi de söz konusudur.

DGM eviricide, referans olarak belirlenen sinüs dalgasının frekans ve genliğine bağlı olarak elde edilen AA geriliminin frekans ve genliği değiştirilir. Teorik olarak eğer ayarlanabilir bir invertörün çıkış değerleri 230 V ve 50 Hz ise, bunun anlamı çıkıştaki gerilimin genliğinin 0 ile 230 V arasında ve frekansın da 0 ile 50 Hz arasında değiştiğini ifade etmesidir [1].

Konvertörlerin kontrolünde genelde analog ve sayısal yöntemler kullanılmıştır [2,3]. Bu yöntemlerde kontrol için öncelikle sistemin matematik modellenmesi oluşturulur. Bu modellemeye göre bir denetim algoritması seçilir, simüle edilir ve sisteme uygulanır. Her sistemin matematik modellenmesi kolaylıkla yapılamaz veya yapılan modelleme gerçek sistemin durumunu tam olarak ifade etmeyebilir. Özellikle doğrusal olmayan ve karmaşık sistemlerde matematik modelleme çok daha zor olur. Bu durum yukarıda açıklanan güç süreci için de geçerlidir. Karmaşık sistemlerin kontrolü için tam bir matematik modelleme yapmadan önerilen denetim yöntemi bulanık mantık ve diğer yapay zeka metotlarıdır.

Anahtarlama elemanları kullanan güç devrelerinde, anahtarların doğrusal olmaması ve zamanla değişen karakteristiklerinden dolayı gerçek modelleme yapılamaz. Bu sistemlerin matematik modeli olmaksızın kontrolünün sağlanması önemli bir çalışmadır [4].

Karmaşık sistemlerin analizinde ve denetiminde bulanık mantık kümelerin kullanımı ile ilgili çalışmalar Zadeh tarafından sunulduktan sonra, Mamdani bu çalışmayı bulanık mantık denetleyicilerin tasarımına uygulamıştır.

DA/AA invertörlerin kontrolü daha çok invertörün çıkışına bağlanan yüke göre yapılmıştır. Farklı motorların kontrolü bulanık mantık ile yapılırken DA/AA konvertör kullanılmıştır. Bu çalışmaların çoğu motor kontrolü kapsamındadır. Bu çalışmalarda motora uygulanan gerilimden, faz akımından ve motorun hızından alınan örneğe göre BMD sağlanmıştır [5].

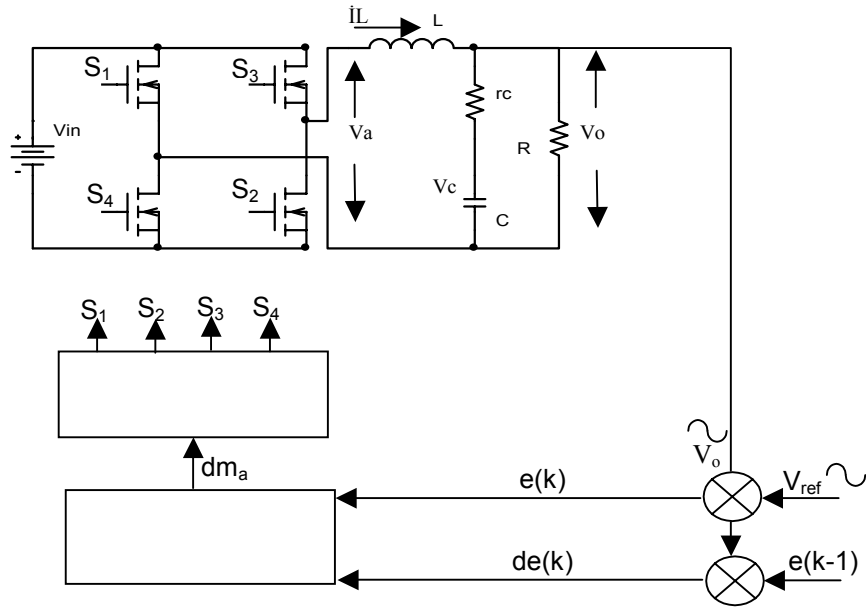
Diğer çalışmalarda ise DA/AA konvertörün kontrolü kesintisiz güç kaynakları kapsamında değerlendirilmiştir. Bu çalışmalarda konvertörün çıkışından alınan gerilim ve akım örneğine göre kontrol sağlanmıştır. Osterholtz 'un yaptığı simülasyon çalışmasında tek fazlı SDGM invertöre uygulamıştır ve sistemin davranışını değişken yük şartları altında değerlendirmiştir. BMD'nin değişken yüke göre daha etkin kontrol sağladığı kanaatine varılmıştır. Yapılan benzer bir çalışmada DA/AA invertöre simülasyon ortamında PI ve BMD uygulanmış ve eşit yük şartları altında BMD'nin başlangıç tepkisinin daha iyi olduğu ve sistemin daha çabuk kararlı duruma geldiği gözlenmiştir.

Bu çalışmada bulanık mantık denetleyici ile DGM invertör denetimi üzerinde durulmuştur. Aynı zamanda bulanık mantık denetleyicilerde oldukça güç olan ve bazen çok uzun zamanlar alabilen üyelik fonksiyonlarının düzenlenmesi işlemi, daralma faktörleri dediğimiz parametrelerin değiştirilmesi ile kolaylıkla elde edilebilmesi gösterilmiştir. Böylece bir kez oluşturulan BMD üzerinde sadece parametre değişikliği yaparak çok farklı sistemleri denetlemek mümkün olmaktadır.

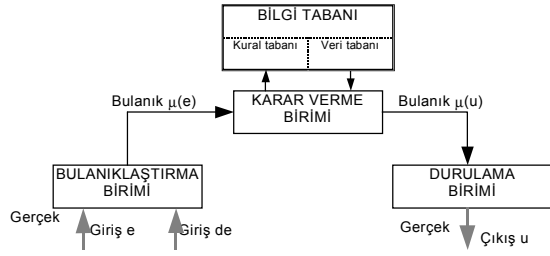
## 2. BİR FAZLI TAM KÖPRÜ DGM İNVERTÖR DENETİMİ

Şekil-1'de verilen DA/AA konvertöre invertör veya evirici de denir. Amaç, DA kaynaktan alınan enerjiyi kullanarak tekrar istenilen frekansta ve genlikte AA gerilim elde etmektir. Burada giriş gerilimi, şehir şebekesinden elde edilmiş olan DA gerilim, aküden, veya güneş pilinden de elde edilebilir. İdeal olarak bir invertörün çıkışından elde edilen sinyalin tam sinüsoidal olmasıdır, ama pratikte tam böyle olmaz ve bir takım harmonikler içerir. Oldukça sinüse yakın dalga şekli elde etmek için daha hızlı anahtarlama elemanı ve etkin anahtarlama metotları kullanılır. En önemli kullanım alanları ise kesintisiz güç kaynakları, AA motor hız kontrol devreleri v.b yerlerdir. Kullanım yerine göre bir fazlı veya üç fazlı olabilir. Bu konvertörlerde eğer giriş gerilimi sabit tutuluyor ise, gerilim kaynaklı invertör (VSI) eğer giriş akımı sabit ise akım kaynaklı invertör (CSI) olarak adlandırılır. Temel olarak bir DA kaynaktan AA gerilim elde etmek için akımın her yarım periyotta yön değiştirmesi gerekir. Bu işlem anahtarların belirli sıra ile açılıp kapanmasına bağlıdır.

Anahtarların açılıp-kapanma sırasının denetimi için BMD veya PI denetim yöntemlerinden biri kullanılabilir. Her iki denetim sisteminin de girişleri çıkış gerilimi ile başvuru gerilimi arasındaki fark olan hata ve hatanın türevidir. Şekil-1'de kara kutu olarak verilen ve DGM üreticini denetleyen BMD'in yapısı Şekil-2'de verilmiştir. BMD klasik Mamdani tip denetleyicidir. Sadece üyelik fonksiyonlarının yapılandırılması otomatik hale getirilmiştir.



Şekil-1. Bir Fazlı tam köprü DGM invertörün kapalı çevrim denetimi



Şekil-2 Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı

Sistem değişkenleri, denetlenen sistemden ölçülen hata  $e$  ve hatanın türevi  $de$  giriş değişkenleri ve invertör sistemini denetim için kullanılan  $u$  çıkış değişkeni olmak üzere iki çeşittir. Bulanıklaştırma birimi en son ölçülen verinin uygun dilsel değerlere dönüştürülmesini sağlar. Bulanık bilgi tabanı bilginin iki ana tipini kapsar: veri tabanı, her bir sistem değişkeninin değerleri gibi kullanılan bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarını tanımlar, kural tabanı ise giriş bulanık değerlerin, çıkış bulanık değerlerine tam olarak eşlenmesini temsil eder. Karar verme birimi BMD'nin özüdür ve arzu edilen denetim stratejisine erişmek için, yaklaşık çıkarım sağlaması ile insan gibi karar verme yeteneğine sahiptir. Durulama birimi ise karar verme biriminden gelen bulanık bilgileri, gerçek değerlere dönüştürerek, sistemin tanıyabileceği denetim hareketi haline gelmesini sağlar.

#### A- Daralan Aralıklı Üyelik Fonksiyonlu Bulanık Mantık Denetleyici

Bu kısımda bir fazlı tam dalga invertör için Daralan Aralıklı Üyelik Fonksiyonlu (DAÜF) BMD tasarımı yapılacaktır. BMD'de üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Çıkış bulanık kümesinin elde edilmesi için MIN operatörü, durulama ara birimi olarak ta ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır.

Temel olarak, DAÜF-BMD giriş çıkış ilişkisi Eş. 1'deki gibi tanımlanabilir [6].

$$y^* = D \left( A \left( \prod_{j=1}^j \left( F \left( M \left( x_j^*, A_{l,j} \right) \right), B_j(y) \right) \right) \right) \quad (1)$$

Eşitlikte  $y^*$  en son denetim hareketini,  $D$  durulama operatörü ağırlık merkezini,  $A$  Max veya toplam operatörünü,  $I$  Min veya ürün gibi bir t-norm işlemini,  $F$  Mamdani tip BMD'deki Min işlemini,  $M$  ise en son değer için üyelik derecesini, belirli bir üyelik fonksiyonuna eşleme işlemini,  $j$  ise toplam dilsel etiket sayısını temsil eder.

Bütün dilsel giriş değişkenleri  $m_1=m_2=\dots=m_l=m$  şeklinde aynı dilsel değişken sayısına sahiptir. Basit

kural eşlemesiyle  $m_y = \sum_{i=1}^l m_i = I_m$  elde edilir, buradan çıkış üyelik fonksiyonlarının sayısı  $M_y=2m_y+1=I_m+1$  şeklindedir.  $I_m$  dilsel etiketlerdir. Üçgen DAÜF için Eş. 2'deki gibi bir aralık hedeflenir.

$$A_{(i,L_i)}^\beta = A \left( x_i; \frac{(1+\beta)A_{(i,L_{i-1})}^* + (1-\beta)A_{(i,L_i)}^*}{2}, A_{(i,L_i)}^* \right), \left( \frac{(1-\beta)A_{(i,L_i)}^* + (1+\beta)A_{(i,L_{i+1})}^*}{2} \right)$$

(2)

Burada  $\beta$  üst üste binme oranıdır ve  $\beta$  için  $[0,1]$  uygun aralıktır.  $\beta$  yükseldikçe üst üste binme oranı da tek düze olarak yükselir. Eşitlikte  $A_{(i,L_i)}^*$ ,  $A_{(i,L_i)}^*(x_i)$  in ana değeridir ve Eş. 3'deki gibi elde edilir. Her iki eşitlikte de  $L_i$  üyelik fonksiyonları indisidir ve  $L_i \in I_m$ 'dir.

$$A_{(i,L_i)}^* = \frac{L_i}{m_i} s_i^{m_i - |L_i|} \quad (3)$$

Eşitliklerde  $s_i \in [0, 1]$  aralığında olup, giriş dilsel değişkeni  $x_i$  için azalma faktörüdür,  $L_i$  dilsel etiketlere karşılık gelen dilsel değişkendir. Daha sonra üçgen üyelik fonksiyonları giriş ve çıkış değişkenlerinin her ikisi için de  $\beta=1$  seçilerek Eş. 4'deki gibi elde edilebilir.

$$A_{(i,L_i)}(x_i) = A_{(i,L_i)}^\beta(x_i) \Big|_{\beta=1} = \begin{cases} \frac{x_i - A_{(i,L_{i-1})}^*}{A_{(i,L_i)}^* - A_{(i,L_{i-1})}^*}, A_{(i,L_{i-1})}^* \leq x_i \leq A_{(i,L_i)}^* \text{ için} \\ \frac{A_{(i,L_{i+1})}^* - x_i}{A_{(i,L_{i+1})}^* - A_{(i,L_i)}^*}, A_{(i,L_i)}^* \leq x_i \leq A_{(i,L_{i+1})}^* \text{ için} \\ 0, \text{ di ğ er durumlar.} \end{cases} \quad (4)$$

$$= \wedge (x_i; A_{(i,L_{i-1})}^*, A_{(i,L_i)}^*, A_{(i,L_{i+1})}^*)$$

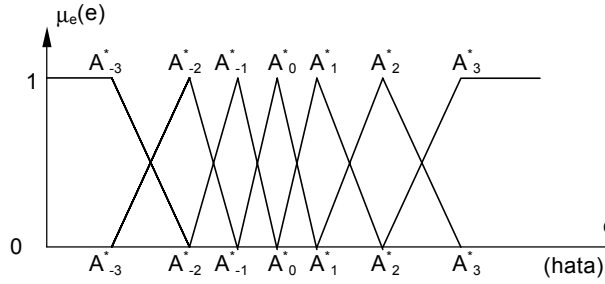
$\beta=0$  için DAÜF'de üst üste binme yoktur.  $\beta=1$  için DAÜF'de üst üste binme oranı tamdır.  $\beta$  uygulamalardaki üyelik fonksiyonlarına uygun olarak değişik değerlerde seçilebilir. Eş. 4'de  $x_i$  dilsel giriş değişkenidir.

Benzer şekilde çıkış dilsel değişkeni  $y$  için  $B$  çıkışı Eş. 5'deki gibi yazılabilir. Burada  $B_i^*$ 'in değeri Eş. 6'daki gibi yazılabilir.

$$B_1(y) = \wedge (y; B_{i-1}^*, B_i^*, B_{i+1}^*) \quad (5)$$

$$B_i^* = \frac{L}{m_i} s_i^{m_i - |L|}, L \in I_{m_i} \equiv \{0, \pm 1, \dots, \pm I_m\} \quad (6)$$

Aynı dilsel değişkene özel uygulama işlemleri için, çeşitli azalma faktörleri uygulayarak farklı üyelik fonksiyonları elde edilerek, içlerinden en uygun olanı seçilebilir. Eğer daralma faktörü  $s=1$  seçilirse eşit aralıklı üyelik fonksiyonları elde edilir. Bu nedenle klasik üyelik fonksiyonları, daralan aralıklı üyelik fonksiyonlarının özel durumudur. Sonuçta oluşan üyelik fonksiyonları, dilsel değişkenlerin sayısı  $m=3$ , daralma faktörü  $s=0.7$ , üst üste binme oranı  $\beta=1$  olmak üzere Şekil-3'de gösterilmiştir.



Şekil-3 Daralan aralıklı üyelik fonksiyonları.

Elde edilen üyelik fonksiyonları için kural tabanı direkt olarak oluşturulabilir. Sistemin kural tabanı indeks temsili yöntemi ile Çizelge-1'deki gibi gösterilebilir. Burada iki girişli, tek çıkışlı,  $m_1=m_2=3$  olan bir sistem için basit kural eşlemesi verilmiştir. İlişkilerin önerilmesinden her dilsel etiket i'ye karşılık gelen dilsel değişken  $L_i$  açıkça tanımlanabilir. Bütün dilsel değişkenler için söylem evrenleri  $[-1, 1]$  aralığıyla sınırlıdır.

Çizelge-1. İndeks yöntemi ile basit kural eşleme

$e/de$	-3	-2	-1	0	1	2	3
3	0	1	2	3	4	5	6
2	-1	0	1	2	3	4	5
1	-2	-1	0	1	2	3	4
0	-3	-2	-1	0	1	2	3
-1	-4	-3	-2	-1	0	1	2
-2	-5	-4	-3	-2	-1	0	1
-3	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0

Kuralların çizelgedeki gibi eşlenmesinden sonra sayısal değerler isimlendirilebilir. Sayısal değerlerin "0→Sıfır, 1→Pozitif küçük, 2→pozitif orta, ..., -3→negatif büyük" şeklinde isimlendirilmesi ile köşegen olmayan kural tabanı kabul edilebilir. Bu işlem bir çok araştırmacı tarafından kabul görmüştür [7].

Eş. 4 ve 5'de üyelik fonksiyonları tanımlanan DAÜF-BMD için F ve I için uygun operatörler seçilir. A toplam ( $\Sigma$ ) operatörü olarak seçilir ve ağırlık merkezi yöntemi durulama için kullanılabilir. Yeni giriş değerleri  $x_i$ 'ler verilir, sonra en son denetim hareketi  $y^*$  Eş. 7 ve Eş. 8'den faydalanarak hesaplanabilir.

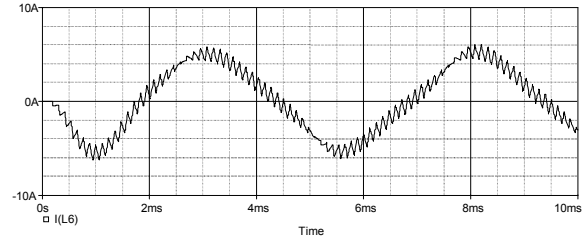
$$y_{(L)} = \frac{\sum_{L=-m_y}^{m_y} c_L s_L \Phi}{\sum_{L=-m_y}^{m_y} s_L \Phi} \quad (7)$$

$$\Phi_L = \sum \left( \prod_{L=1}^L A_{(i,L)}(x_i^*) \right) \quad (8)$$

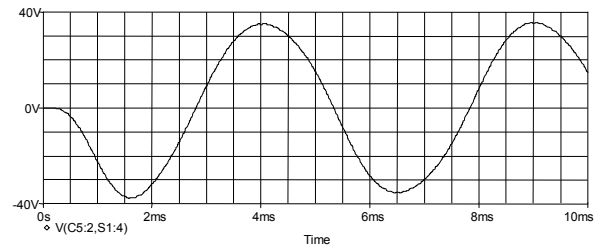
Burada  $c_L$  ve  $s_L$  çıkış dilsel değişkeni  $y$ 'in  $L$ . üyelik fonksiyonunun merkezi veya alanıdır.  $\theta_L$   $y$ 'in  $L$ . bulanık kümesine eşit olan bulanık kümelerin bütün kurallarının ateşleme kuvvetlerinin toplamıdır.

### 3. BULANIK MANTIK DENETİMLİ DA/AA İNVERTÖR

Burada AA/DA katından elde edilen DA gerilim DA/AA invertörün girişine verilir. Kontrol işlemi ise tamamen invertöre yönelik olacaktır. Şekil 1'de konvertörün kontrolü için basit bir kapalı devre verilmiştir. DA/AA konvertörün açık döngü çalışması için öncelikle PSPICE'te analiz yapılmıştır. Devreden alınan akım ve gerilim dalga şekilleri sırasıyla Şekil-4 ve Şekil-5'de verilmiştir. Simülasyon için:  $f_{sin} = 200$  Hz,  $m_f = 21$ ,  $f_{tri} = 21$ .  $f_{sin}$ ,  $m_a = 0.6$  olarak alınmıştır.



Şekil-4 Devrenin yük akımı



Şekil-5. Devrenin çıkışındaki filtre edilmiş gerilim

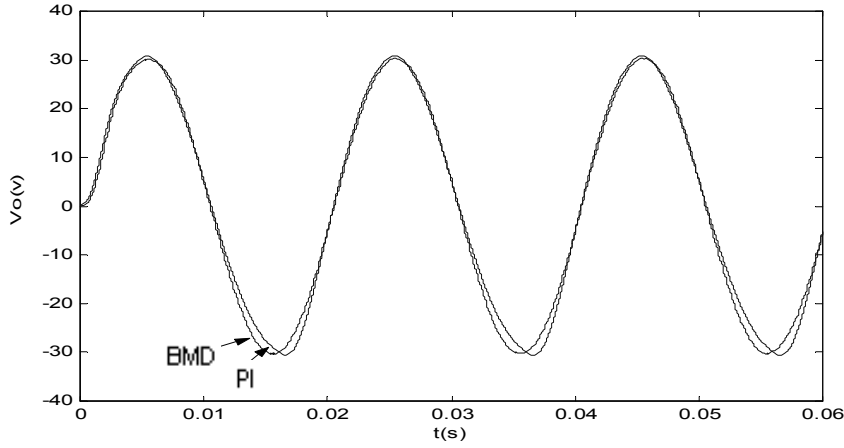
PSPICE'ta simülasyonu yapılan devrenin durum denklemleri kullanılarak C++'ta yazılan programla kapalı çevrim denetimi yapılmıştır. Konvertörün kapalı döngü çalışmasında BMD ve PI ayrı ayrı uygulanmış ve yük değişimine göre sistemin tepkisi ve regülasyonu incelenmiştir. Bu çalışmada aşağıdaki değerler kullanılmıştır.

$$V_{in} = 60 \text{ V DA}, \quad C = 150 \mu\text{F}$$

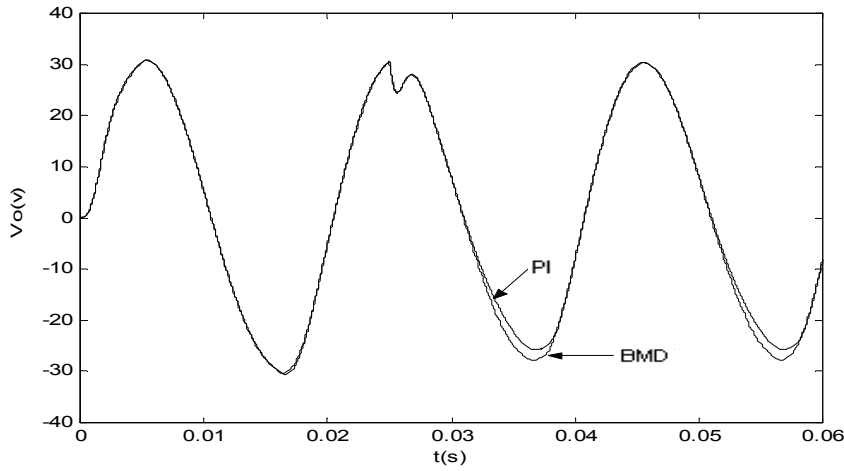
$$V_{ref} = 30 \text{ V sinüsoidal}, \quad L = 1 \text{ mH}, \quad R = 4 \Omega$$

DA/AA invertör için BMD uygulamasında kural tablosu oluşturmak için bir önceki Çizelge-1'den yararlanılmıştır. Burada yarı iletken anahtarların darbeleme oranı  $m_a$  kullanılmış ve değeri 1 ile -1 arasında değiştirilmiştir.

Şekil 6'da her iki kontrol metodu için sistemin çıkış dalga şekli verilmiştir, görüldüğü gibi burada her iki kontrol metodundan benzer sonuçlar elde edilmiştir. İnvörtör çalışmasında 25 ms iken bir yük değişimi yapılmıştır. Şekil-7'de yük değişimi esnasındaki invertör çıkışı görülmektedir. Yük değişimine karşın BMD'nın tepkisi 0.03 ve 0.04 saniye arasında PI'dan daha iyi olduğu görülmektedir.



Şekil-6 Çıkış geriliminin dalga şekli



Şekil-7. Yük değişiminde çıkış geriliminin tepkisi

### 3. SONUÇ

Bu uygulamada hem daha güçlü bir bulanık denetleyici elde edilmiş, hem de çok zaman kaybına neden olan üyelik fonksiyonlarının ayarlanması işlemini kolaylıkla elde edebilme imkanı sağlanmıştır. Kullanıcı isterse üyelik fonksiyonlarının parametrelerini değiştirerek uygulamaları için en etkin denetleyiciyi kurabilmektedir. Yapılan uygulamalarda, aynı bir fazlı tam dalga invertör için her iki denetleyici de elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde DAÜF BMD'in PI denetleyiciye göre %10 daha hızlı bir şekilde kararlı duruma geçtiği ve özellikle yük değişimlerine karşı daha etkin ve daha hassas olduğu görülmüştür.

### KAYNAKLAR

- [1] Papadopoulos, C., Antonakopoulos, T., Pressas, S.; Makios, V, A variable frequency controller for three phase DC/AC inverters, ISIE '95. PROCEEDINGS OF THE IEEE, Volume.1, pp. 227 -231, 1995.
- [2] Low, K. S, A digital control technique for a single-phase PWM inverter, **Industrial Electronics, IEEE Transactions on**, Volume. 45, Issue.4, Aug. Page. 672 -674, 1998.
- [3] Low, K. S, A DSP-based variable AC power source, INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, IEEE TRANSACTIONS ON, Volume.47, Issue. 4, Aug., pp. 992 -996, 1998.
- [4] Sung-hoe Huh, Gwi-Tae Park, An adaptive fuzzy controller for power converters, FUZZ-IEEE '99. IEEE INTERNATIONAL, Volume. 1, pp. 434 -439, 1999.
- [5] Mir, S.A., Zinger, D.S., Elbuluk, M.E, Fuzzy controller for inverter fed induction machines, INDUSTRY APPLICATIONS, IEEE TRANSACTIONS ON, Volume. 30 No.1, Jan.-Feb, pp 235-242, 1994.
- [6] Chien, C.-L., Hsieh, C.-T, User-friendly design method for fuzzy logic controller, IEE PRO.-CONTROL THEORY APP., Vol. 143, No: 4, July, pp. 358-366, 1996.
- [7] Galichet, S., Foulloy, L, Fuzzy controllers: synthesis and equivalencies, IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS, Vol. 3, No:2, May, pp. 140-148, 1995.