

ANLIK GÜÇ TEORİSİ TABANLI BULANIK MANTIK DENETİMLİ PARALEL AKTİF GÜÇ FİLTRESİ İLE KOMPANZASYON

Şule ÖZDEMİR¹

Şule KUŞDOĞAN²

¹Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü İzmit

²Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü İzmit

¹e-posta: sozaslan@kou.edu.tr

²e-posta: kusdogan@kou.edu.tr

Anahtar sözcükler: Aktif Filtreler, Reaktif Güç Kompanzasyonu, Bulanık Mantık

ABSTRACT

In this paper, it is aimed the control of active power filter for suppression of harmonics and compensation of reactive power. In this study, the modelling and simulation of an active power filter (APF) carried out with power system toolbox of MATLAB/SIMULINK simulation program. The dynamic response of the fuzzy logic controlled APF has been obtained under both steady state and dynamically varying load conditions and, it is compared PI controller. The proposed fuzzy logic controller is found to be better than the conventional PI controller. The APF can solve problems of harmonic and reactive power simultaneously.

1. GİRİŞ

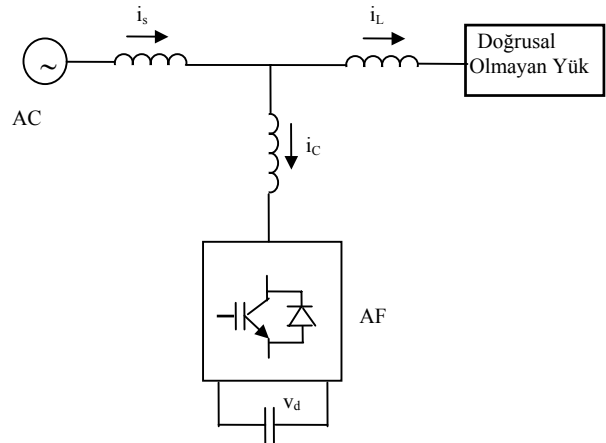
Güç sistemlerinde doğrultucular, motor sürücüleri, güç kaynakları ve ark ocakları gibi doğrusal olmayan yükler akım ve gerilim dalga şeklinde bozulmalara neden olurlar. Gerilimdeki bozulmanın miktarı şebeke empedansına ve çekilen harmonik akımın büyüklüğüne bağlıdır. Akım harmoniğinin artması veya rezonans durumunun oluşmasıyla birlikte gerilim tehlikeli bir şekilde artabilir. Bu sorunların giderilmesinde L-C pasif filtreler, rezonansa neden oldukları ve sadece ayarlandıkları harmonik frekansındaki akımları süzebilmelerinden dolayı yetersiz kalmaktadırlar. Alternatif akım güç sistemlerinde, tek fazlı ve üç fazlı doğrusal olmayan yüklerin harmonik ve reaktif güç kompanzasyonu için aktif güç filtreleri geliştirilmiştir. Aktif güç filtreleri pasif filtrelerin aksine oldukça geniş harmonik frekansları kapsamaktadır.

Bu çalışmada, harmonikleri azaltmak ve reaktif güç kompanzasyonunu gerçekleştirmek amacıyla paralel aktif güç filtresi için bulanık mantık denetimi önerilmektedir.

2. AKTİF GÜÇ FİLTRELERİ

Harmoniklerin azaltılmasında kullanılan pasif filtrelerin istenmeyen özellikleri ve yetersizlikleri karşısında, çoğunlukla güç elektroniği elemanlarının ürettiği harmonikler yine güç elektroniği elemanları kullanılarak azaltılmaktadır. Aktif güç filtrelerinin çalışması, AA sistemine yük harmonikleri ile aynı genlikte ve ters fazda harmonik akımı ilave etme prensibine dayanmaktadır. Şekil 1'de gerilim kaynaklı paralel aktif güç filtresi görülmektedir. Akım harmonikleri doğrusal olmayan yükler tarafından sisteme verildiğinden, paralel aktif filtre de yük tarafında kullanılır. Paralel aktif filtre, bağlantı noktasında doğrusal olmayan yük akımı harmonik ve/veya reaktif bileşenlerini yok etmek için karşı faza, eşit kompanze akımlar üretir [1].

Aktif güç filtreleri dönüştürücü tipine, şekline ve faz sayısına göre sınıflandırılabilir. Dönüştürücü tipleri, akım kaynaklı evirici ve gerilim kaynaklı evirici tipindedir. Bağlantı şekillerine göre, şönt, seri veya her ikisini birleşimi olarak sınıflandırılır. Faz sayısına göre sınıflama ise, iki kablolu (tek fazlı), üç veya dört kablolu (üç fazlı nötrlü veya nötrsüz) sistemlerdir.



Şekil 1. Gerilim kaynaklı paralel aktif filtre

Aktif güç filtrelerinin kontrolü, zaman domeni ve frekans domeninde olmak üzere iki şekilde yapılır. Zaman domeni teknikleri, güç sisteminin akım ve gerilimlerinden anlık kompanzasyon sinyalleri üretilmesi temeline dayanır. Frekans domeni tekniğinde ise kompanzasyon sinyalleri güç sisteminin dalga şekillerinin Fourier analizi yapılarak elde edilir.

Bu çalışmada AGF'nin kontrolünde, zaman domeni tekniklerinden en çok kullanılan Anlık Güç Teorisi tabanlı Bulanık Denetim sistemi önerilmektedir.

3. ANLIK GÜÇ TEORİSİ

Anlık Güç Teorisi (AGT), Akagi tarafından 1983 yılında ileri sürülen bu teoride anlık reaktif güç cebirsel olarak hesaplanmakta ve dolayısıyla zamanda bir gecikmeye neden olmamaktadır. Anlık güç teorisi, AGF denetiminde kullanılan birçok yöntemden biridir. Bu teori aşağıdaki gibi özellikleri göstermektedir.

- Doğal olarak üç fazlı bir sistem teorisidir.
- Herhangi bir üç fazlı sisteme (hem akım hem gerilimde harmonikli veya harmoniksiz, dengeli veya dengesiz) uygulanabilir.
- Mükemmel bir dinamik tepki sağlayan anlık değerlere dayalıdır.
- Hesaplanması oldukça basittir (standart bir işlemci ile gerçekleştirilebilen yalnız cebrik ifadeler içerir).
- Sabit anlık kaynak gücü ve sinüsoidal kaynak akımı gibi iki farklı denetim stratejisine imkan verir.

3.1. Anlık Sanal Güç

a - b - c koordinatlarında a, b, c eksenleri birbirlerinden 120 şer derecelik bir mesafede olacak şekilde aynı düzlemde sabitlenir. Anlık uzay vektörleri v_a ve i_a a eksenine yerleştirilir. Genlikleri ve (+,-) yöndeki hareketleri zaman ile değişir. Aynı şekilde v_b ve i_b b eksenine, v_c ve i_c de c eksenine yerleştirilir. Bu uzay vektörleri kolayca α - β koordinatlarına dönüştürülür:

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

(1), (2) eşitliklerinde α ve β birbirine dik koordinatlardır. v_α ve i_α α ekseninde, v_β ve i_β β eksenindedir. Üç fazlı devredeki geleneksel anlık güç aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$p = v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta \quad (3)$$

p aslında aşağıdaki bilinen ifadeye eşittir:

$$p = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c \quad (4)$$

sanal eksen vektörüdür ve sağ el kuralına uygun olarak α - β koordinatlarında reel tabakaya diktir. v_α 'nın i_α 'ya ve v_β 'nin i_β 'ya paralel olduğu, ayrıca v_α 'nın i_β 'ya ve v_β 'nin i_α 'ya dik olduğu hesaba katılırsa, alışılmış güç p ve anlık sanal güç q aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (5)$$

(5) eşitliğinde $v_\alpha i_\alpha$ ve $v_\beta i_\beta$ 'nin ortalama anlık güç olduğu açıktır. Çünkü bu ifadeler, aynı eksenlerdeki anlık gerilim ve anlık akımın bir ürünü olarak tanımlanır. Bu yüzden, üç fazlı devredeki gerçek güç p 'dir ve birimi [W]'dir. Bunun tersine, $v_\alpha i_\beta$ ve $v_\beta i_\alpha$ anlık güç değildir. Çünkü bunlar birbirine dik eksenlerde bulunan anlık gerilim ve anlık akımın ürünü olarak tanımlanmaktadır. Buna göre q , alışılmış elektrik birimi olarak nitelendirilemez. Böylece q 'yu yeni bir birim ile tanımlamak gereklidir. Çünkü birimi [W], [VA] veya [VAr] değildir. Bundan sonra, anlık sanal güçten alışılmış anlık gücü ayırmak için, alışılmış anlık güç p "anlık gerçek güç" olarak adlandırılacaktır.

3.2. Anlık Reaktif Güç

(5) eşitliği aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \quad (6)$$

(6) eşitliğindeki v_α ve v_β 'li determinant sıfır değildir.

Üç fazlı sinüsoidal bir devrede anlık gerçek güç ve anlık sanal gücün her ikisinin sabit olduğu açıktır. Anlık gerçek güç, alışılmış reaktif gücün her faz için üç katına tesadüf eder. Buna ek olarak anlık sanal güç, her fazdaki reaktif gücün sayısal olarak üç katına eşittir. Bununla birlikte anlık sanal güç; ortalama değer kavramına dayalı alışılmış reaktif güçten tanım ve fiziksel anlam olarak oldukça farklıdır.

3.3. Denetim Stratejisi

Bu bölümde açıklanan anlık reaktif güç kompensatörü kaynak tarafındaki anlık reaktif gücü yok eder. p_c daima sıfır olduğu için, kompensatör enerji depolama elemanı olmaksızın sadece anahtarlama elemanlarını içermektedir. (6) nolu eşitlikten α - β koordinatlarındaki kompanze edilmiş anlık akımlar $i_{c\alpha}$ ve $i_{c\beta}$ aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ -q \end{bmatrix} \quad (7)$$

4. AGF'NİN AGT TABANLI DENETİMİ

Şekil 1'de tek hat bir AGF sistem düzenlemesi görülmektedir. Denetim devresi, harmonik akım hesaplama devresi, DA kondansatör gerilim denetimi ve gerilim kaynaklı evirici akım denetimi devresinden oluşmaktadır. Harmonik akım hesaplama devresi üç alt hesaplama devresine bölünmüştür. p_L ve q_L hesaplama devresinde, üç fazlı gerilimler ve üç fazlı yük akımları aşağıdaki eşitlikler ile d - q birbirine dik koordinatlara dönüştürülür.

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \sqrt{2/3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} i_{Ld} \\ i_{Lq} \end{bmatrix} = \sqrt{2/3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \\ i_{Lc} \end{bmatrix} \quad (9)$$

p_L anlık gerçek güç ve q_L anlık sanal güç aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\begin{bmatrix} p_L \\ q_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_d & v_q \\ -v_q & v_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{Ld} \\ i_{Lq} \end{bmatrix} \quad (10)$$

p_L ve q_L değerleri karşılıklı olarak iki anlık gerçek ve sanal güce ayrılmaktadır.

$$p_L = \bar{p}_L + \tilde{p}_L \quad (11)$$

$$q_L = \bar{q}_L + \tilde{q}_L \quad (12)$$

\bar{p}_L ve \bar{q}_L yük akımının temel bileşenine karşılık gelen DA bileşenleridir. \tilde{p}_L ve \tilde{q}_L ise harmonik akımın AA bileşenine karşılık gelmektedir. Harmonik kompanzasyonu için kullanılan AGF'de, p^* ve q^* aşağıdaki gibidir.

$$p^* = \tilde{p}_L, \quad q^* = \tilde{q}_L \quad (13)$$

p^* ve q^* için hesaplama devresi aynı veya farklı kesim frekanslı iki adet yüksek geçiren filtreden meydana gelir. Yüksek geçiren filtrenin tasarımı hem geçici durum hem de kararlı hal durumlarındaki kompanzasyon performansına etkisi fazladır. i_{ca} , i_{cb} , i_{cc} hesaplama devresinde aşağıdaki eşitlikler kullanılmaktadır.

$$\begin{bmatrix} i_{ca}^* \\ i_{cb}^* \\ i_{cc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{2/3} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_d & v_q \\ -v_q & v_d \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p^* \\ q^* \end{bmatrix} \quad (14)$$

Anlık sıfır dizi güç eşitlik (15)'de, anlık gerçek güç eşitlik (16)'de, anlık kompleks güç eşitlik (17)'de verilmektedir. Bu çalışmada, üç fazlı 3 telli bir sistem kullanıldığı için eşitlik (15) kullanılmamaktadır.

$$p_0 = v_0 \cdot i_0 \quad (15)$$

$$p = v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta \quad (16)$$

$$q = v_\alpha i_\alpha - v_\beta i_\beta \quad (17)$$

α - β koordinatlarındaki referans kompanzasyon akımlarını hesaplamak için, (5) numaralı eşitlik evirilir, ve kompanse edilecek güçler ($\tilde{p} - \bar{p}_0$ ve q) kullanılır.

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha}^* \\ i_{c\beta}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{e_\alpha^2 + e_\beta^2} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p} - \bar{p}_0 \\ q \end{bmatrix} \quad (18)$$

a - b - c koordinatlarında referans kompanzasyon akımları sağlamak için dönüşümün tersi uygulanır. Böylece aşağıda görüldüğü gibi üç fazlı referans akımlar hesaplanarak, bir histerezis karşılaştırıcıda AGF gerçek akımları ile karşılaştırılarak kompanzasyon anahtarlamaya sinyalleri üretilir.

$$\begin{bmatrix} i_{ca}^* \\ i_{cb}^* \\ i_{cc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1 & 0 \\ 1/\sqrt{2} & -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ 1/\sqrt{2} & -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{c0}^* \\ i_{c\alpha}^* \\ i_{c\beta}^* \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$i_{cn}^* = -(i_{ca}^* + i_{cb}^* + i_{cc}^*) \quad (20)$$

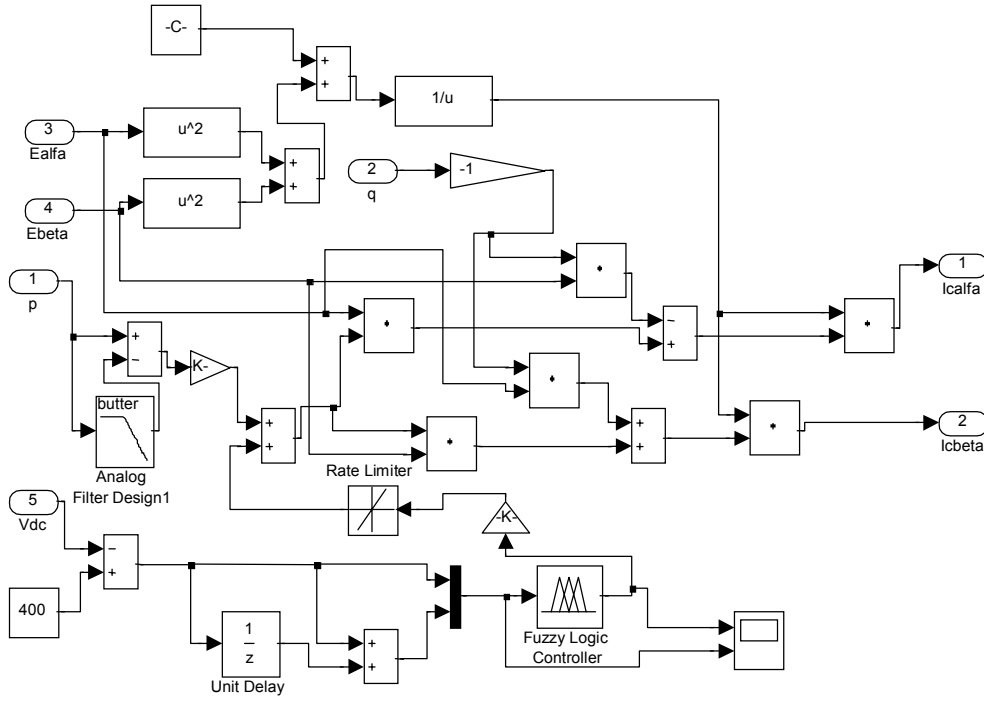
4. AGF'NİN AGT TABANLI BULANIK DENETİMİ

Bulanık denetim temel olarak doğrusal olmayan ve yapısı gereği doğal bir kontrol yöntemidir. Denetim parametrelerinin değişiminin söz konusu olduğu durumlarda oldukça iyi bir dinamik performans sağlar.

AGF'nin bulanık denetiminde AGT tabanlı bir bulanık denetim sistemi kullanılmaktadır. DA taraf kondansatör gerilimi etkisi bulanık denetleyici üzerinden uygulanmaktadır. Bulanık mantık tabanlı denetleyicinin girişleri, farklı dilsel değişkenler ve bunlara karşılık gelen Şekil 3'deki üyelik fonksiyonları ile sınıflandırılmaktadır. Hata sinyallerinin işaretine (pozitif ya da negatif) ve aralığa (büyük, orta, küçük

ve sıfır) bağlı olarak bulanık denetleyici dilsel kural tabanlı tablodan uygun çıkışları belirlemektedir. Kontrol algoritmasını oluşturan bulanık kurallar Tablo 1'de verilmektedir. Kontrol sinyalleri, kural tablosu ve bulanık üyelik fonksiyonları kullanılarak hesaplanmaktadır

AGF'nin AGT tabanlı bulanık mantık denetimi simülasyon blok diyagramı Şekil 2'de verilmektedir. Simülasyon çalışmaları Matlab-Simulink paket programında Power Systems ve Fuzzy Logic Toolboxlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

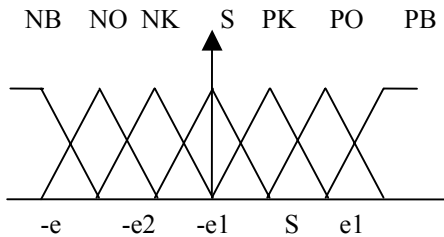


Şekil 2. AGF'nin AGT tabanlı bulanık mantık denetimi simülasyon blok diyagramı.

Kondansatör geriliminin referans değeri ile kondansatör geriliminin ölçülen değeri karşılaştırılmakta, hata ve hata değişimi değerleri bulanık denetleyici girişine uygulanmaktadır. Bulanık denetleyici çıkışı ise anlık güç teorisi ile hesaplanan p anlık aktif güç değerine eklenerek toplanmaktadır. Şekil 4'de anlık güç teorisi tabanlı bulanık denetimli GSVK'nın, yük değişmesi durumunda kaynak gerilimi, yük akımı, kaynak akımı ve kompanzator akımı dalga şekilleri görülmektedir. 40 ms sonunda 40 ohmluk yük 20 ohm yapıldığında yük değişimine bulanık denetleyicinin cevabı oldukça iyidir. Şekil 5'de ise aynı parametrelere sahip PI denetimli AGF'nin dalga şekilleri görülmektedir[5].

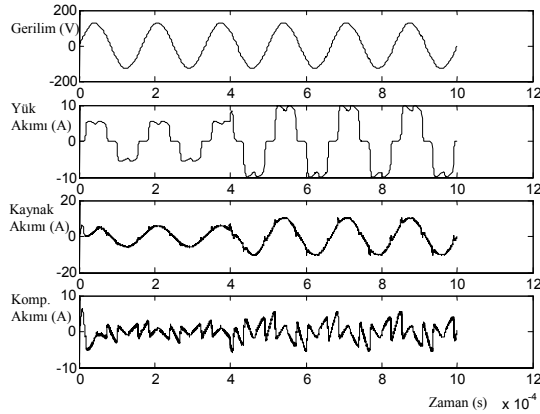
Tablo 1. Bulanık kural tablosu.

		Referans akım değişimi						
		NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
H	NB	NB	NB	NO	NO	NK	NK	NK
	NO	NB	NO	NK	NK	NK	NK	PK
A	NK	NO	NK	NK	S	S	NK	PK
	S	NK	NK	NK	S	PK	PK	PO
T	PK	NK	PK	S	S	PK	PK	PO
	PO	PK	PK	PK	PK	PK	PO	PB
A	PB	PK	PK	PK	PO	PO	PB	PB

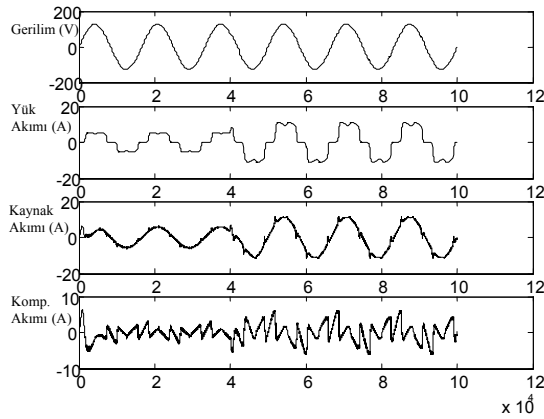


Hata sinvalleri

Şekil 3. Bulanık değişkenlerin üyelik fonksiyonları.



Şekil 4. Bulanık denetimli AGF'nin yük değişmesi durumundaki akım gerilim değişimleri.



Şekil 5. PI denetimli AGF'nin yük değişmesi durumundaki akım ve gerilim değişimleri.

Önerilen bulanık mantık denetimli AGF performansı yük ve şebeke tarafı akım toplam harmonik bozunumu oranları ile karşılaştırılmaktadır. Bulanık denetimli AGF ile kaynak akımının toplam harmonik bozunumu %28'den yük değişiminden önce %6.6, yük değişiminden sonra % 7.2 değerine inerken, PI denetimli AGF ile bu oran yük değişiminden önce %6.7, yük değişiminden sonra % 8.5'dir. Görüldüğü gibi bulanık denetim ile toplam harmonik bozunumu, özellikle yük değişiminden sonra PI denetime göre daha iyidir.

5. SONUÇ

Paralel aktif güç filtreleri genel olarak akım harmoniklerini azaltmak, reaktif güç kompanzasyonunu sağlamak ve sistem dengesizliklerini önlemek amacıyla kullanılır. Pasif filtrelerde karşılaşılan bir çok sorun, aktif güç filtrelerin uygulamada kullanılmasıyla ortadan kalkmıştır.

AGF, AA sisteme yükün harmonik akımlarıyla aynı büyüklük ve ters fazda harmonik akımlar vermek suretiyle yük akımının harmonik ve reaktif bileşenlerini yok ederek, kaynaktan çekilen akımın

geçici ve kararlı hal durumlarında bile sinüzoidal olmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada, doğrusal olmayan yük harmoniklerinin ve sistem güç faktörünün düzeltilmesi için kullanılan AGF'nin denetim simülasyonları MATLAB paket programı içinde yer alan SIMULINK Power System Toolbox programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Önerilen bulanık mantık denetimli aktif güç filtresinin performansı, PI denetimli aktif güç filtresine göre daha iyidir.

KAYNAKLAR

- [1] Singh, B.; Al-Haddad K.; Chandra, A., A Review of Active Filters for Power Quality Improvement, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, Vol. 46, No.5, October, pp. 133-138, 1999.
- [2] Akagi, H., New Trends in Active Filters for Power Conditioning, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, Vol.5, No.3, pp. 1312-1322, 1996.
- [3] El-Habrouk, M., Darwish, M. K., Mehta, P., Active Power Filters: A Review, IEE PROC-ELECTR. POWER APPL. Vol. 147, No. 5 pp. 403-413, 2000.
- [4] El-Habrouk, M., Darwish, M. K., Mehta, P., A Survey of Active Filters and Reactive Power Compensation Techniques. IEE POWER ELECTRONICS AND VARIABLE SPEED DRIVERS, Conference Publication No. 475, pp.7-12 2000.
- [5] Özdemir Ş., Reaktif Güç Kompanzasyonu Ve Harmonik Azaltımında Kullanılan Kompanzatorün Bulanık Mantık Denetimiyle Analizi Ve Simülasyonu, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., 2003.

