

Paralel aktif filtre uygulamalarında adaptif bulanık mantık kontrol yöntemlerinin uygulanması

Vehbi BÖLAT*, Seta BOĞOSYAN, Metin GÖKAŞAN

İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi, Kontrol ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Paralel Aktif Filtreler (PAF), lineer olmayan yüklerin üç fazlı alternatif akım (AA) güç sistemlerinde yarattığı harmonik akım, reaktif güç gibi elektrik enerji kalitesini bozan etkilerini azaltmada oldukça başarılıdır. PAF'nin yük akım kompanzasyon yeteneği, güç yapısında yer alan pasif elemanlar kadar, gerilim ve akım kontrol çevrimlerinde kullanılan kontrol yöntemlerine de bağlıdır. Bu çalışmada PAF sisteminin doğru akım (DA) gerilim kontrol çevriminde kullanılan farklı kontrolörlerin performansları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Klasik Bulanık Mantık temelli PI (BPI) kontrolörünün performansı, kontrol parametrelerinin adaptasyonu ile artırılabilir. Bu çalışmada, BPI kontrolörünün sadece çıkış ölçeklendirme katsayısının bir kazanç ayar mekanizması yardımıyla adaptasyonu incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Paralel aktif filtre, harmonik, güç faktörü, bulanık mantık.

Implementation of adaptive fuzzy logic based methods on parallel active filter systems

Abstract

Power Electronics based equipment characterised by non-linear and time varying operation are the common sources of current/voltage harmonics and reactive power in electric power systems. To reduce the effects of harmonic currents and reactive power, which significantly degrade the performance and efficiency of the electric power distribution system, three phase Parallel Active Filter (PAF) in which a Current Controlled, Voltage Source PWM IGBT power converter is the core element is connected in parallel with the non-linear load to compensate the load harmonic currents and reactive power drawn from the mains utility. In principle, PAF improves the electric power quality by drawing the same magnitude, but opposite phase harmonic and reactive current components consumed by the non-linear type power electronics loads and keeping the supply currents sinusoidal and in-phase with the related phase voltages. In this paper, classic and Adaptive Fuzzy Logic based PI controllers as well as linear PI controller are employed in the dc voltage control loop and their performances are compared. Two different adaptation methods for scaling factors of fuzzy controllers are studied. It has been found that self tuning adaptive fuzzy logic based controllers perform better than their classic fuzzy logic based counterparts in which input and output scaling factors are constant. Matlab 6.1 software package has been used in simulation studies.

Keywords: Parallel active filter, harmonic, power factor, fuzzy logic.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Vehbi BÖLAT. vbolat@eka.com.tr; Tel: (216) 499 37 40.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Üç fazlı AA güç dağıtım sistemlerinin enerji kalite problemlerinin çözümünde paralel aktif filtre temelli uygulamalar" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 12.01.2004 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 19.02.2004 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.08.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Günümüzde sanayiinin hızla gelişmesi ile birlikte kontrol edilebilir elektrik gücüne ve bu gücün işlendiği Güç Elektroniği Devrelerine olan gereksinim hızla artmıştır. AA/DA Motor Hız Kontrol Üniteleri, Kesintisiz Güç Kaynakları, Akü Şarj Üniteleri, Anahtarlama Modlu AA/DA Güç Kaynakları, Statik Gerilim Regülatörleri gibi cihazlar, besledikleri yükün ihtiyacı olan elektrik gücünü sağlayan önemli endüstriyel güç elektroniği uygulamalarıdır. AA güç dağıtım sistemleri ile giriş elektrik gücü kontrol edilen yükler arasında yer alan Güç Elektroniği Devreleri, çalışmalarını esnasında güç dağıtım sistemlerinin elektrik enerji kalitesini azaltacak yönde bir davranış sergilerler. Yükün ihtiyacı olan elektrik gücünü kontrol etmenin bedeli olan bu durum, aynı güç sistemindeki Ortak Kuplaj Noktasından (OKN) beslenen diğer tüketicileri de olumsuz yönde etkiler.

Uluslararası bir harmonik standardı olan IEEE 519, özellikle orta ve yüksek gerilim güç sistemlerinde Ortak Kuplaj Noktasından çekilen akım ve gerilim harmonik seviyeleri için belli kısıtlamalar getirmektedir.

Güç Elektroniği Devrelerinin AA güç dağıtım sisteminden harmonik akımların yanısıra çektiği reaktif güçler, yük akım dengesizlikleri gibi pratikte karşılaşılabilecek diğer hususlar da elektrik enerji kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle son 15 yılda sözü edilen problemler ve çözümleri üzerine akademik düzeyde önemli çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Singh vd., 1999). Aktif Filtre, bu araştırmalar sonucu ortaya çıkmış olan ve lineer olmayan davranış sergileyen yüklerin harmonik akımları ile reaktif gücünü kompanze etmek üzere tasarlanmış bir Güç Elektroniği Devresi uygulamasıdır. Yaygın olarak kullanılan yöntemlerde yük akım harmoniklerinin yok edilmesi, ancak, farklı harmonik frekanslara ayarlanmış seri bağlı L ve C elemanlarının kullanıldığı pasif filtrelerle mümkündür. Ancak bu filtreler sadece ayarlandıkları harmonikleri yok edebilir ve AA güç sisteminde yer alan diğer pasif L-C elemanlarla seri/paralel rezonansa girme riski taşırlar. Bu dezavantajların söz konusu olduğu pasif filtrelerden farklı

olarak, sürekli anahtarlama yapan ve dolayısıyla aktif bir çalışma sergileyen, statik yarı iletken güç elemanlarıyla gerçekleştirilmiş Aktif Filtreler, lineer olmayan yükün harmonik ve reaktif akım ihtiyacını karşılayacak şekilde sinüzoidal olmayan akımlar üreten, kontrollü akım kaynaklarıdır. Aktif Filtrelerin performansını, güç devresinde kullanılan aktif/pasif elemanların uygun seçilmesi ile birlikte, yük akım harmoniklerini yok edecek filtre kompanzasyon akımlarının oluşturulma şekli ve Aktif Filtredeki anahtarlama elemanlarının anahtarlama anlarını belirleyen akım kontrol yöntemi belirler. Mükemmel bir kompanzasyon için Aktif Filtrenin, üretilen referans akımlarını gecikmesiz ve hatasız olarak izlemesi beklenir. Yük akım kompanzasyonu amacıyla günümüzde en yaygın kullanılan Aktif Filtre tipi, lineer olmayan yük ile üç fazlı AA gerilim kaynağı arasına paralel bağlanan Paralel Aktif Filtrelerdir.

Üç fazlı Paralel Aktif Filtre sistemini, akım kontrollü, Darbe Genişlik Modülasyon yöntemiyle anahtarlama yapan gerilim kaynaklı IGBT güç dönüştürücüsü, dönüştürücünün girişinde yer alan ve enerji depolama amacıyla kullanılan DA kondansatörü ve dönüştürücünün AA yanında bulunan, dönüştürücüsünün çıkışındaki Darbe Genişlik Modülasyonlu gerilim dalga şeklini kompanzasyon akımına çeviren filtre endüktansları oluşturur. Paralel Aktif Filtreler yükün sadece reaktif ve harmonik güç ihtiyacını karşılayacak şekilde çalıştırdıklarından, dönüştürücü kayıpları ile endüktans ve kondansatörün eşdeğer direnç kayıpları dışında aktif güç tüketmezler. Bu nedenle söz konusu kayıplar karşılanacak şekilde DA kondansatör ortalama gerilimi öngörülen referans değerine eşit olacak şekilde kontrol edildiği sürece kaynak, yük ve Paralel Aktif Filtre arasındaki aktif güç dengesi korunmuş olur. Yük akım kompanzasyonunun hızlı bir şekilde gerçekleşmesi gereken durumlarda, DA gerilim regülasyon hızı önem kazanmaktadır.

DA kondansatör geriliminin regülasyonunda lineer PI kontrolörlerin kullanımı en yaygın uygulanan yöntemdir (Akagi vd., 1986; Bhattacharya vd., 1999; Chen ve Lin, 1996). Bununla beraber bulanık mantık temelli PI kontrolörleri kullanan

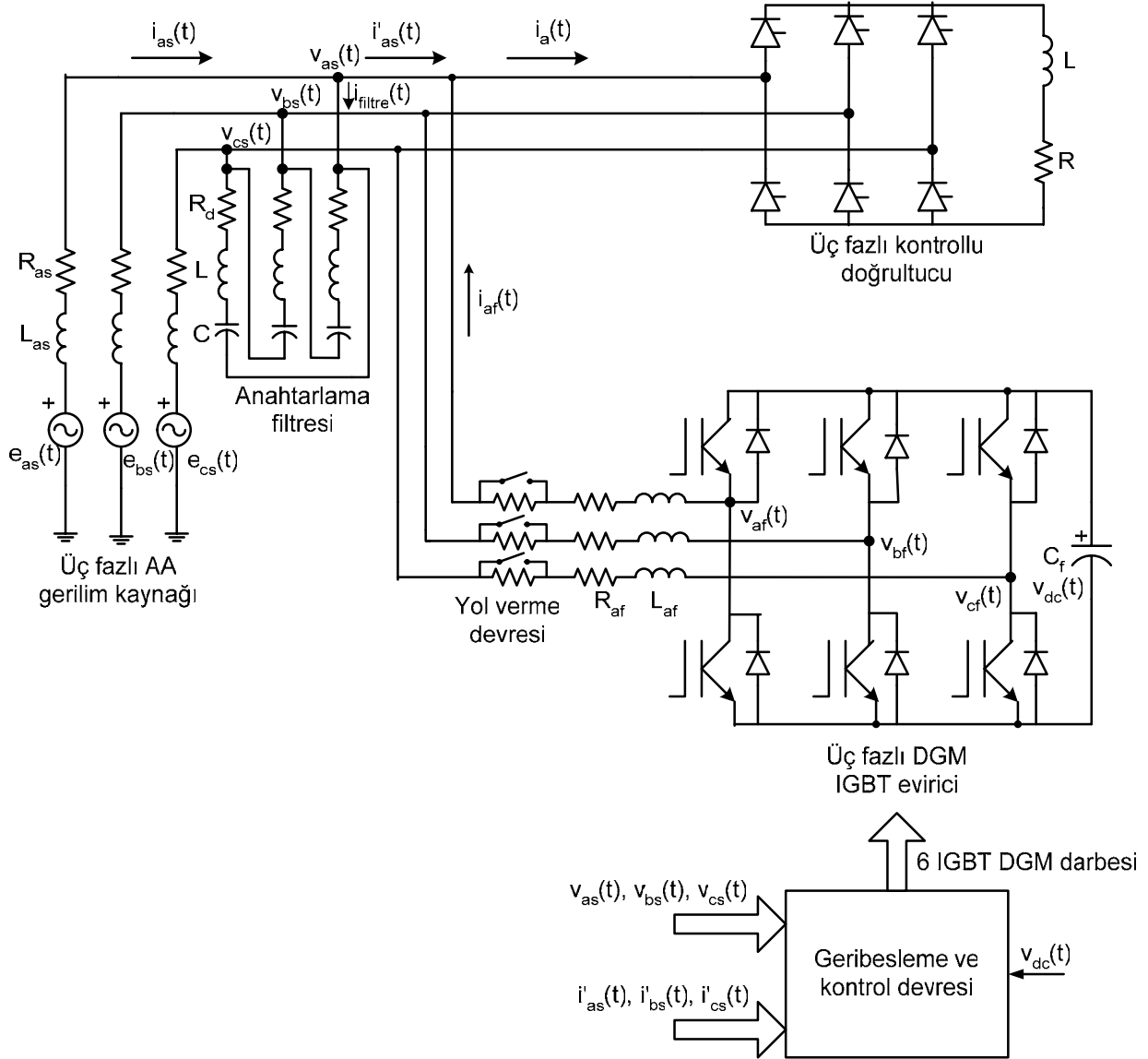
uygulamalar da mevcuttur (Singh vd., 2000a, 2000b; Dixon vd., 1997).

Bu çalışmada Paralel Aktif Filtrenin gerilim kontrol çevriminde sırasıyla klasik lineer PI kontrolörü, standart Bulanık Mantık temelli PI (BPI) kontrolörü ve iki farklı yapıda Adaptif Bulanık Mantık Temelli PI (ABPI) kontrolörü kullanılmıştır. BPI kontrolörünün kullanıldığı sınırlı sayıda çalışma yayınlanmış olmakla beraber, BPI kontrolörünün giriş ve çıkış ölçeklendirme katsayılarının adaptasyonu ile Paralel Aktif Filtre sisteminin DA gerilim hatası ve hata değişimine göre sadece çıkış ölçeklendirme katsayısının dinamik adaptasyonu ilk kez bu

çalışmada incelenmiştir. Kendini ayarlayabilir (self-tuning) adaptif bulanık mantık temelli kontrolörde kullanılan kazanç ayar mekanizması, kontrolör kazancını sürekli ve dinamik olarak ayarlar. Özellikle hızlı ve sürekli yük değişiminin söz konusu olduğu ark fırınları, kaynak makineleri gibi endüstriyel uygulamalarda yük akım harmoniklerinin kompanzasyonu, akım çevrimi kadar gerilim çevriminin de hızlı olmasını zorunlu kılar.

Paralel Aktif Filtre kontrol yapısı

Bu çalışmada incelenen Paralel Aktif Filtre, yük ve AA gerilim kaynağından oluşan devrenin prensip şeması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. PAF sistem şeması

Lineer olmayan yük olarak çıkışında seri bağlı R-L elemanlarının yer aldığı üç fazlı kontrollu doğrultucu kullanılmıştır. Paralel Aktif Filtre sistem şemasında yer alan anahtarlama filtresi, eviricinin anahtarlanması sonucu oluşan yüksek frekanslı harmonik akımların AA gerilim kaynağından çekilmesini önler, OKN gerilimine ilişkin toplam harmonik bozulum değerini azaltır. Paralel Aktif Filtre’de yer alan IGBT elemanlarının uygun sürücü işaretlerini oluşturmak için kurulan kontrol devresi Şekil 2’de verilmiştir. Kontrol devresi şu elemanlardan oluşur: Sinüs Dalga üretici, İç Akım Kontrol Çevrimi ve Dış Gerilim Kontrol Çevrimi.

DA kondansatör gerilimi, sürekli çalışma sırasında eviricinin ve DA kondansatörünün aktif güç kayıplarını karşılayacak, geçici çalışma sırasında ise söz konusu kayıpların yanısıra güç sisteminin enerji dengesini koruyacak şekilde gerilim kontrol çevrimi tarafından regüle edilir. Gerilim kontrol çevrimi, artan veya azalan yük akım değişimlerinde, AA kaynak akımını yükün aktif güç gereksinimini karşılayacak yönde

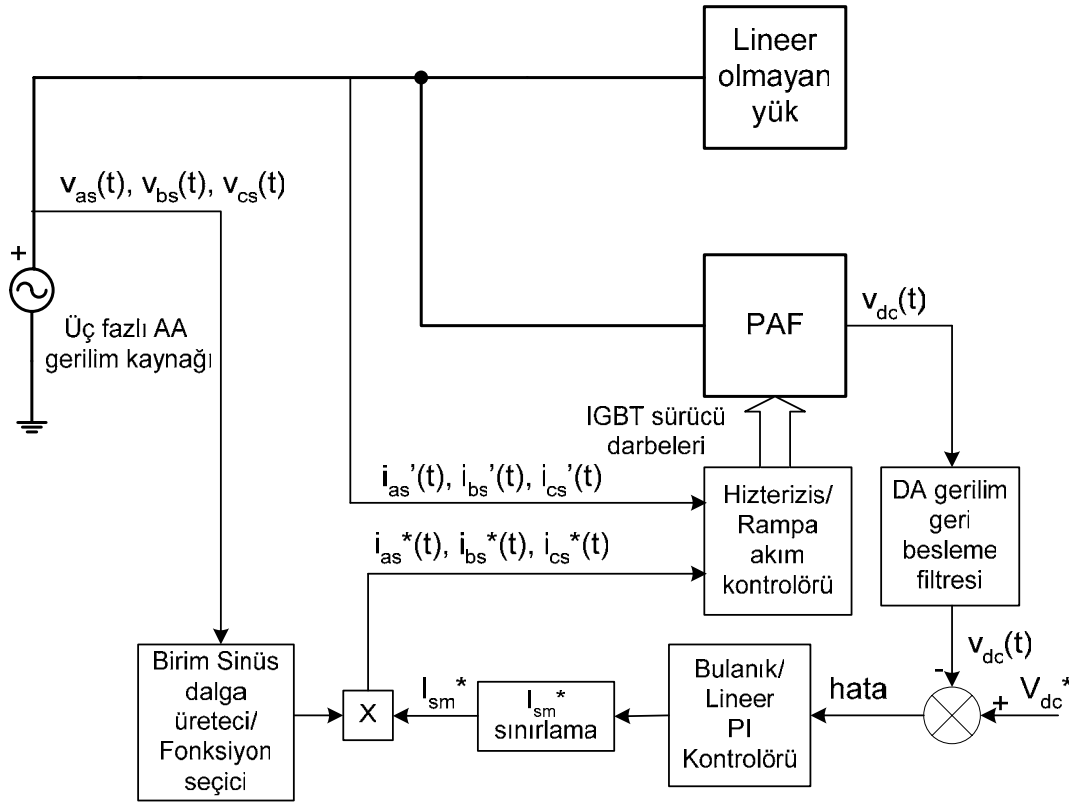
değiştirerek sistemin yeni güç dengesi noktasına gelmesini sağlar.

Paralel Aktif Filtre DA gerilim kontrol yöntemleri

Şekil 2’de verilen kontrol blok diyagramında üç fazlı Paralel Aktif Filtrenin giriş DA gerilim regülasyonu amacıyla kullanılabilecek farklı gerilim kontrol yöntemleri bu bölümde incelenecektir.

Lineer PI kontrolörü

Klasik yapıdaki lineer PI kontrolörünün s domaini kazanç bağıntısı $G(s)=K_p+K_I/s$ şeklindedir. Paralel Aktif Filtrenin gerçek DA kondansatör gerilimi, referans olarak seçilen ortalama DA gerilimi ile karşılaştırılır (Şekil 2). Karşılaştırma sonucu oluşan hata gerilim işareti, girişine uygulandığı lineer PI kontrolörünün çıkışında, sınırlandırılmış kaynak faz akım genliğini oluşturur. Bu çalışmada kaynak akımının aktif bileşen genliği 250 A ile sınırlandırılmıştır. K_p oransal kazanç değeri Paralel Aktif Filtre gerilim



Şekil 2. PAF kontrol blok diyagramı

kontrol çevriminin basamak yanıtının hızını belirlerken, K_I integral kazanç değeri sürekli çalışma durumunda, da kondansatör gerilimi ortalama değerinin öngörülen referans değerine eşit olmasını sağlar. Paralel Aktif Filtrenin basamak yük değişimlerinde kompanzasyon sonrası karakteristik dalga şekilleri Şekil 6'da verilmiştir.

Bulanık PI kontrolörü

Matematik modeli kesin bilinmeyen veya yüksek mertebeli, lineer olmayan sistemlerde Bulanık Mantık temelli PI (BPI) kontrolörlerin lineer PI kontrolörlerden daha iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir (Raviraj ve Sen, 1997).

Bu çalışmada BPI kontrolörü olarak Mamdani tipi bulanık kontrolör kullanılmıştır (Vas, 1999). Bu kontrolör dört ana kısımdan oluşmaktadır: Bulandırma ünitesi, bilgi tabanı, etkileşim motoru, durulama ünitesi.

DA gerilim regülasyonunda kullanılan BPI kontrolörü aşağıdaki karakteristik özelliklere sahiptir (Şekil 3).

-BMPI kontrolörü, Matlab 6.1 yazılım paketinde yer alan Fuzzy Logic araç programı kullanılarak oluşturulmuştur.

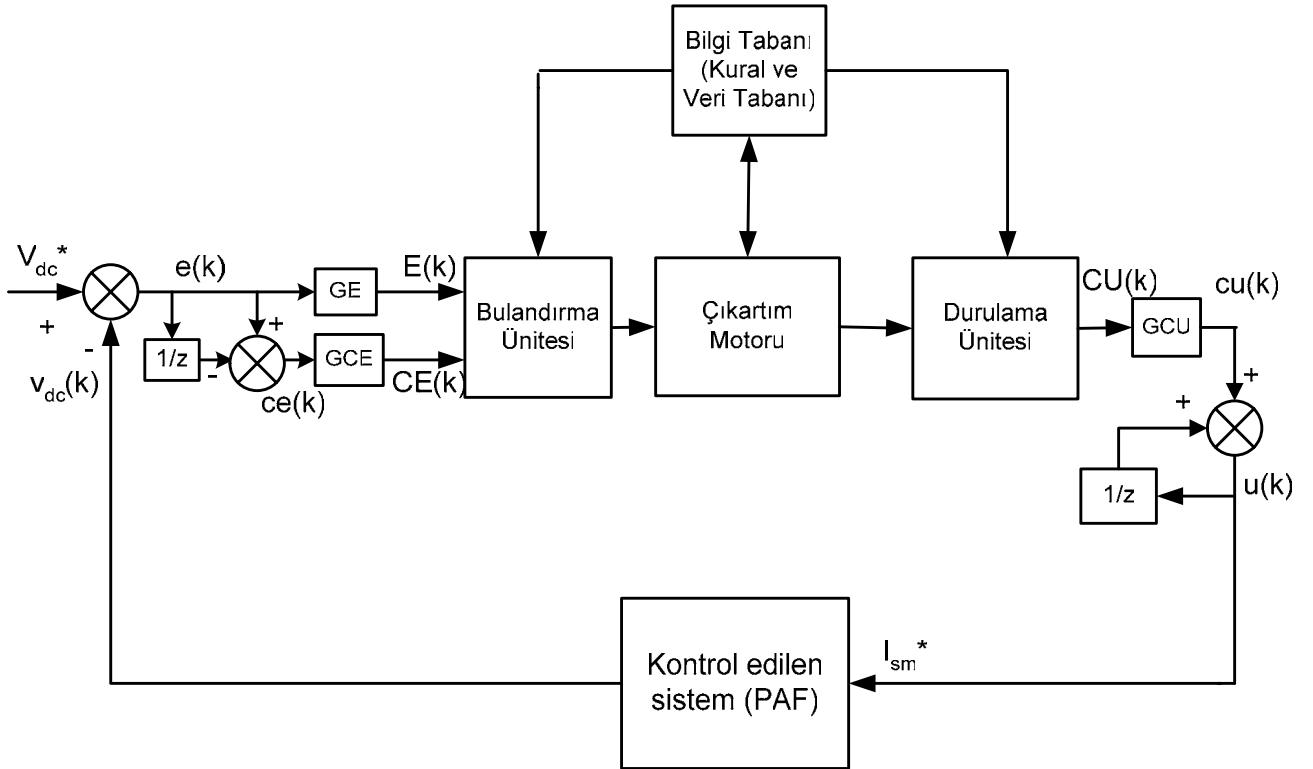
-Hem iki giriş (e, ce), hem de çıkış (cu) için yedişer adet bulanık küme kullanılmış, kural tabanı 49 kuraldan oluşmuştur (Driankov vd., 1993).

-Üyelik fonksiyonları, binişimlerin eşit olduğu üçgen şekillerdir.

-Bulandırma işlemi sırasında min-max, durulama esnasında ise centroid yöntemleri kullanılmıştır.

-Hem giriş, hem de çıkış bulanık değişkenler için birime indirgenmiş Değer Değişim Aralığı (Universe of Discourse) kullanılmış, o nedenle giriş ve çıkış değişkenleri uygun ölçeklendirme katsayıları ile çarpılmıştır. Bu durum kontrol değişkenleri üzerinde yapılacak ayarlamaları, her bir değişken için sadece tek bir kazanç parametresine indirgemektedir.

-BPI kontrolörünün giriş ve çıkış büyüklükleri arasında aşağıdaki ilişkiler geçerlidir:



Şekil 3. BPI kontrolör temelli Paralel Aktif Filtre sistemi

$$\begin{aligned}e(k) &= V_{dc}^* - v_{dc}(k) \\ce(k) &= e(k) - e(k-1) \\u(k) &= u(k-1) + cu(k) \\cu(k) &= GCU \cdot CE(k) \\E(k) &= GE \cdot e(k) \\CE(k) &= GCE \cdot ce(k) \\CU(k) &= f \{GE \cdot e(k), GCE \cdot ce(k)\}\end{aligned}$$

Burada $e(k)$ ve $ce(k)$, DA gerilim hatası ve hatanın değişim miktarı olmak üzere örneklenmiş gerçek giriş büyüklükleri; $cu(k)$, kontrol işaretinin gerçek değişim miktarı; $E(k)$, $CE(k)$ ve $CU(k)$ söz konusu büyüklüklerin ölçeklendirilmiş ve BPI kontrolöründe kullanılan karşılıkları; GE , GCE ve GCU ölçeklendirme katsayılarıdır. $CU(k)$, ölçeklendirilmiş giriş büyüklüklerinin bulanık bir fonksiyonudur.

-Bütün bulanık değişkenler aynı bulanık kümelerle sahiptir. Bu kümeler NB, NO, NK, S, PK, PO, PB şeklinde simgesel etiketlere sahiptir Kural tabanı, aşağıda belirtilen şekildeki kurallardan oluşmuştur.

Eğer E, NB ve CE, NO ise CU, NB dir.

BPI kontrolöründe kullanılan kural tabanı, üyelik fonksiyonu tanım ve açıklamaları (Driankov vd., 1993)'de verilmiştir.

DA gerilim kontrol çevriminde klasik yapıda BPI kontrolörü kullanılan Paralel Aktif Filtrenin basamak yük değişimlerinde kompanzasyon sonrası karakteristik dalga şekilleri Şekil 7'de verilmiştir.

Bulanık kontrolör tasarımında karşılaşılan en büyük problem ölçeklendirme katsayılarının tespitidir ve sistematik bir analitik yöntem mevcut değildir. Ölçeklendirme katsayıları çoğu kez deneme yanılma yöntemi kullanılarak saptanır. İncelemede $GE=0.0032$, $GCE=0.2$ ve $GCU=7$ seçilmiştir.

Giriş/çıkış ölçeklendirme katsayılarının adaptasyonu

Standart BPI kontrolörlerinde prosesin belli bir durumu için hangi kontrol işaretinin üretileceği genellikle üyelik fonksiyonu, bulanık kural

tabanı ve ölçeklendirme katsayıları gibi bulanık parametreler tarafından belirlenir. Mevcut BPI kontrolörü, sabit kontrol parametrelerine sahip olduğundan, hem geçici hem sürekli çalışma durumlarında aynı optimal performansı sunmayabilir.

Optimal parametrelerin seçimi çalışma koşullarına son derece bağlıdır (Driankov vd., 1993). Örneğin geçici durumlarda yükselme süresini kısaltmak için kontrol edilen sisteme büyük genlikli kontrol işaretlerinin uygulanması gerekirken, sürekli rejim çalışma bölgesinde yerleşme süresini kısaltmak için daha yumuşak kontroller uygulanması gerekir. Sabit bulanık kontrolör parametreleri ile hem geçici, hem de sürekli çalışma bölgelerinde aynı ölçüde iyi performans elde etmek mümkün değildir. Bu problemin çözümü, değişen çalışma koşullarına uydurulacak şekilde kontrolör parametreleri değiştirebilen ve bunun sonucunda performans düşüşüne izin vermeyen kontrol işaretleri üreten Adaptif Bulanık Mantık Kontrolörleri (ABMK) kullanmaktır. Bu çalışmada oransal kontrolörlerin kararlılığı ile integral kontrolörlerin hata yok etme özelliğinin bir arada sunulduğu Adaptif Bulanık Mantık temelli PI (ABPI) kontrolör kullanılacaktır. Bulanık Mantık temelli PI kontrolörlerinde adaptasyon genellikle aşağıdakilere uygulanır:

- Giriş ve çıkış ölçeklendirme katsayıları,
- Giriş ve çıkış üyelik fonksiyon şekilleri,
- Bulanık kurallar.

Bu bölümde, Paralel Aktif Filtrenin DA gerilim çevriminde yer alan BPI kontrolörünün GE , GCE ve GCU giriş ve çıkış ölçeklendirme katsayıları basit bir yöntemle çalışma koşullarına uyarlanacaktır (Şekil 4). Ölçeklendirme katsayılarının değiştirilmesi ile klasik PI kontrolörlerindeki kazanç parametrelerinin ayarlanması benzer sonuçları doğurur.

Sabit bir $e(k)$ ve $ce(k)$ giriş işareti için, farklı ölçeklendirme katsayıları çok farklı birime indirgenmiş $E(k)$ ve $CE(k)$ değerlerinin oluşmasını, dolayısıyla kural tabanında da farklı kuralların tetiklenmesini ve farklı kontrol davranışlarının oluşmasını sağlar.

Kazanç adaptasyonu için Paralel Aktif Filtrenin DA gerilim hatası izlenir. Hatanın mutlak değerine göre GE, GCE ve GCU'nun oluşturduğu iki farklı ölçeklendirme katsayısı değer kümesinden biri ABPI kontrolörüne uygulanır. Paralel Aktif Filtre sisteminin DA gerilim geri besleme devresinde yer alan filtre ve örnekleme devrelerinin ayrık yapıdaki BPI kontrolöründe neden olduğu gecikmeler, kontrolöre, başlangıçta ve kısa süreyle değeri yüksek olan bir GCU (GCU0) uygulanmasıyla kompanse edilmiştir. Kontrolör kazancındaki bu hızlı artış, I_{sm}^* aktif referans akım genliğinin de hızlı bir şekilde maksimum sınır değerine ulaşmasını sağlayarak geciken kontrol nedeniyle oluşabilecek DA gerilim gecikmelerini önler.

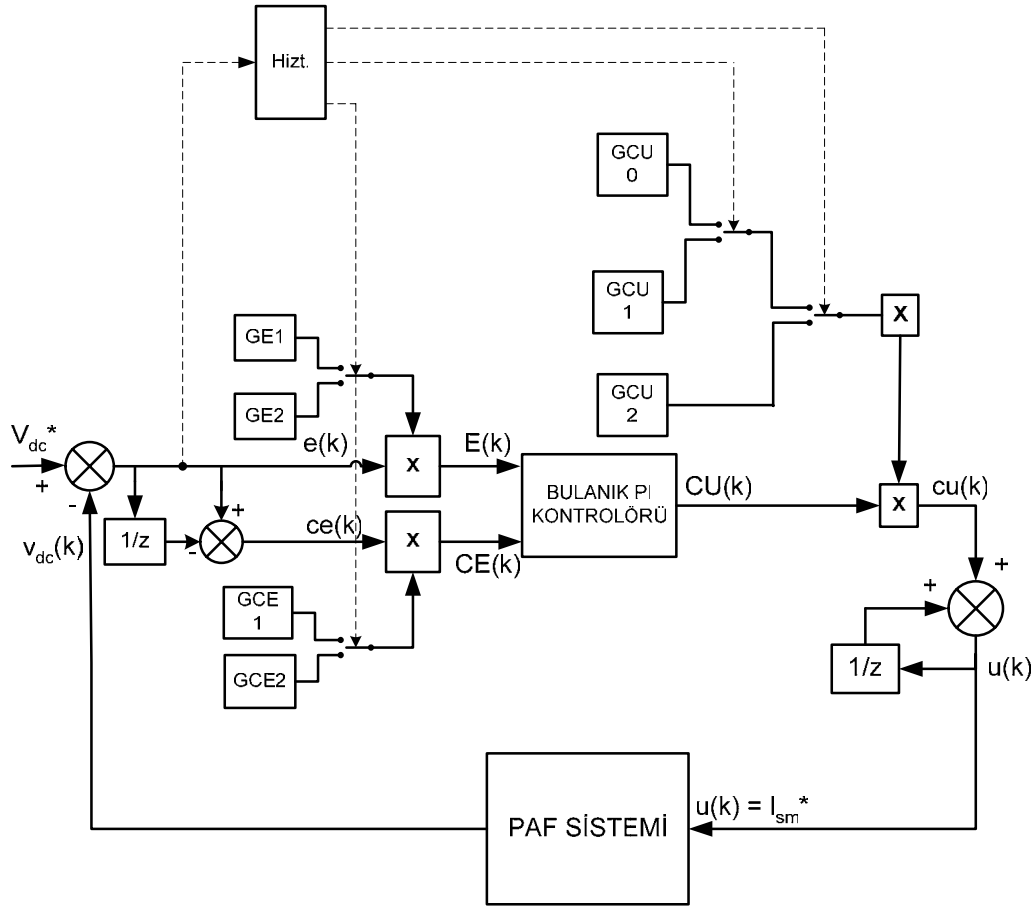
Hatanın mutlak değerinin öngörülen bir eşik değerin üstüne çıktığı geçici rejim durumlarında daha kuvvetli kontrol işaretlerinin uygulanmasını sağlayan parametre kümesi (GE1, GCE1,

GCU1); kararlı çalışma bölgesine yaklaşan sistem durumlarında ise daha yumuşak kontrol işaretleri üreten ölçeklendirme katsayısı kümesi (GE2, GCE2, GCU2) seçilir.

Ölçeklendirme katsayılarının sadece çalışma bölgesine göre seçildiği bu statik adaptasyon yönteminde, küçük GCE1 ve büyük GCU1 değerleri PAF sisteminin kuvvetli kontrol işaretleri ile, büyük GCE2 ve küçük GCU2 değerleri ise sistemin yumuşak kontrol işaretleri ile sürülmesini sağlar.

İnceleme sırasında $GCU0=320$, $GE1=0.002$, $GCE1=0.2$, $GCU1=7$, $GE2=0.005$, $GCE2=0.4$, $GCU2=3.5$ olarak seçilmiştir.

DA gerilim kontrol çevriminde ABPI kontrolörü kullanılan Paralel Aktif Filtrenin basamak yük değişimlerinde kompanzasyon sonrası karakteristik dalga şekilleri Şekil 8'de verilmiştir.

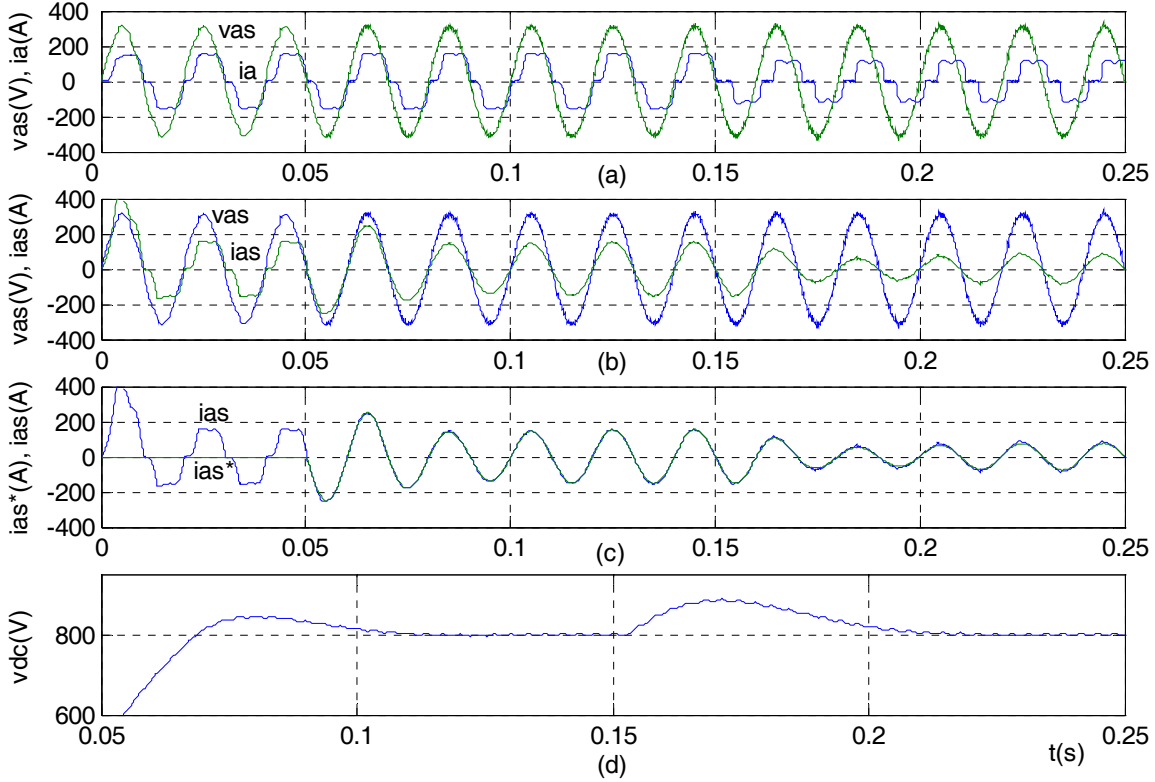


Şekil 4. Statik ölçeklendirme katsayısı adaptasyonu kontrol blok şeması

İncelenen tüm gerilim kontrolörleri için Paralel Aktif Filtre yük akım harmoniklerini kompanse edebilmekte, AA kaynağından, OKN gerilimi ile aynı fazda olan sinüzoidal akımların çekilmesini sağlamaktadır. Kullanılan kontrol yöntemi sayesinde i_{as} a fazı kaynak akımı, i_{as}^* a fazı kaynak referans akımını gecikmesiz bir şekilde izleyebilmektedir.

Tablo 1, kullanılan tüm gerilim kontrolör karşılaştırma sonuçlarını, t_r yükselme süresi, t_s yerleşme süresi, t_{rec} toparlanma süresi, aşım ve a fazı kaynak akımı Toplam Harmonik Bozulumu (THD_{ias}) değerleri cinsinden vermektedir.

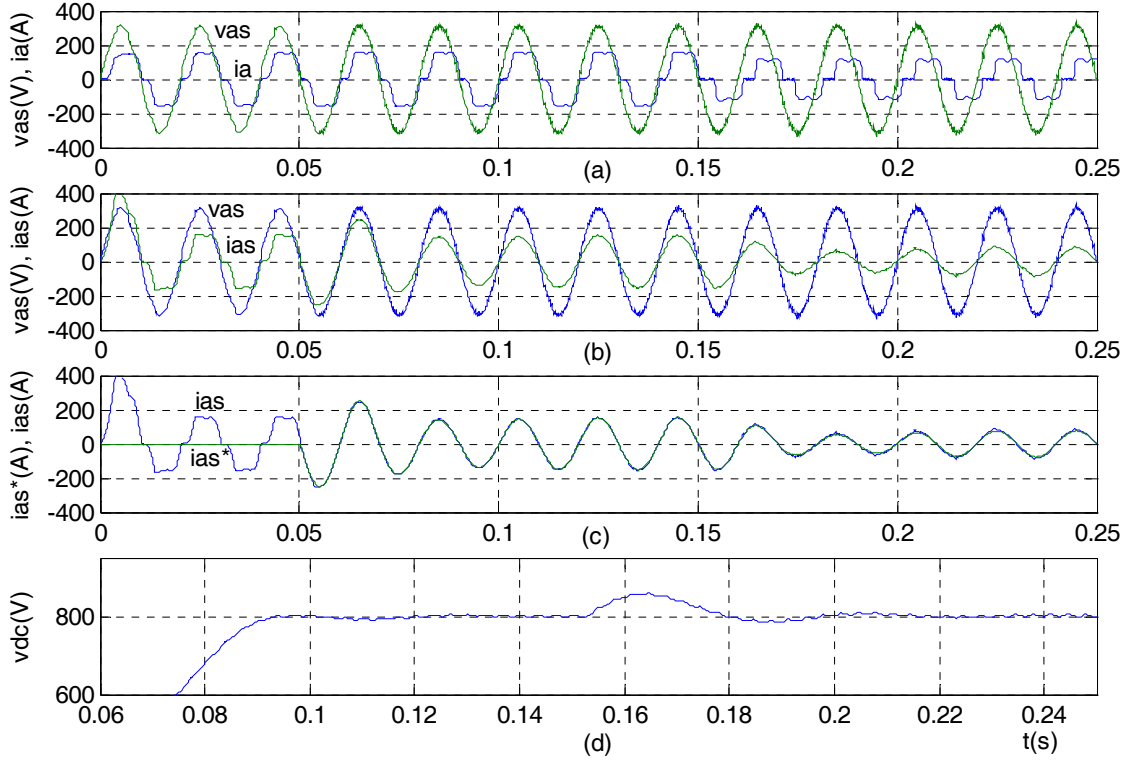
Tablo 1'den açıkça görüleceği gibi dinamik (kendinden ayarlanabilir) ABPI kontrolörü, özellikle aşım değeri bakımından diğer kontrolörlerden daha iyi performanslar sunmaktadır.



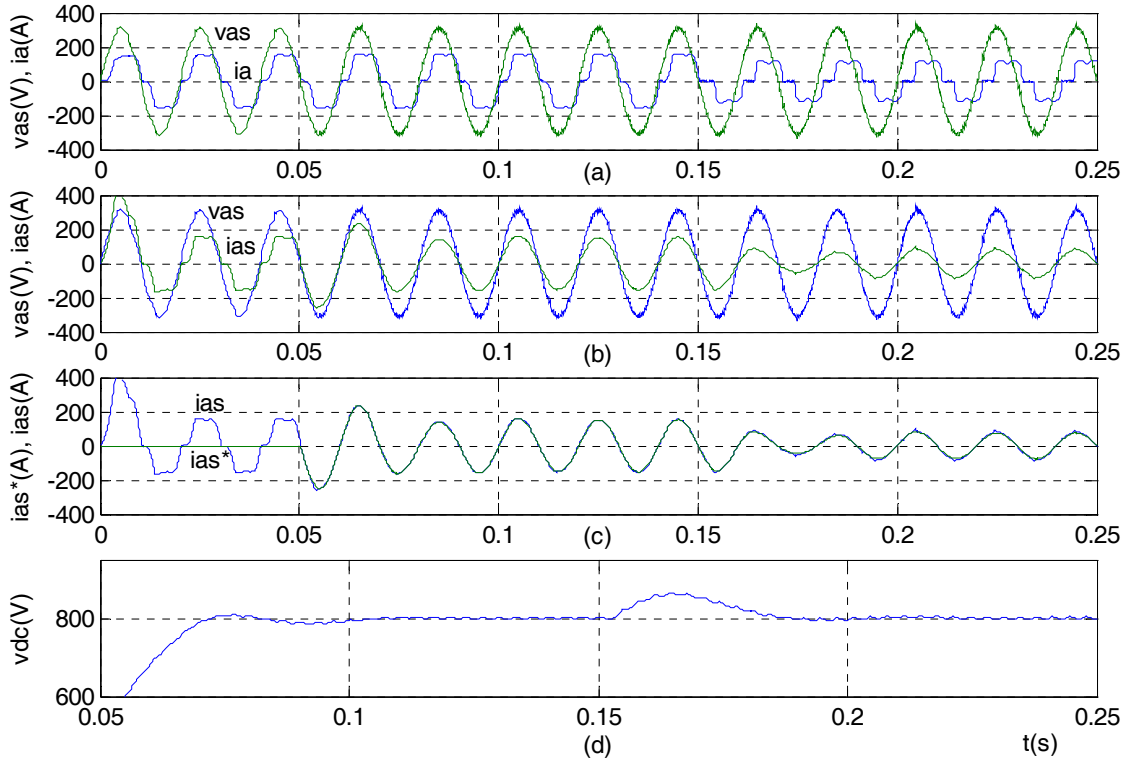
Şekil 6. Lineer PI kontrolör temelli PAF a) a fazı yük akımı ve a fazı OKN gerilimi b) a fazı kaynak akımı ve a fazı OKN gerilimi c) a fazı gerçek ve referans kaynak akımları d) referans değeri civarında DA kondansatör gerilimi

Tablo 1. PAF'de kullanılan farklı da gerilim kontrolörlerinin karşılaştırılması

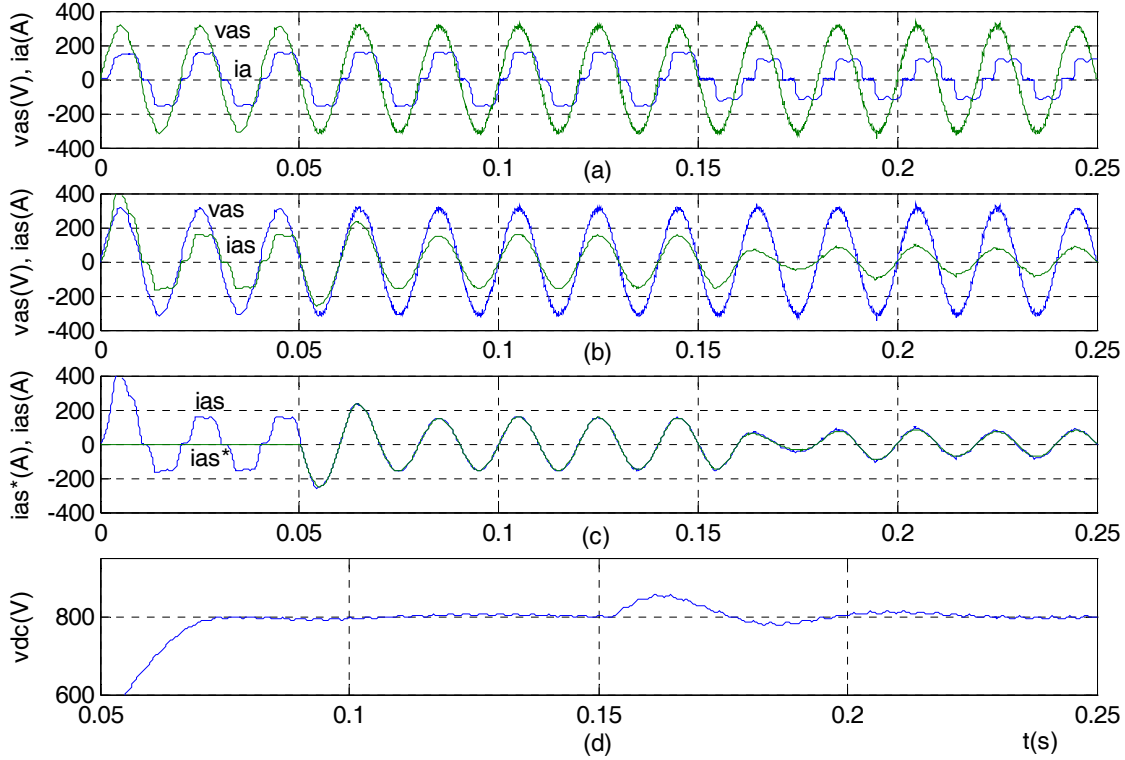
Kontrol/Değer	$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 45^\circ$		
	Aşım (%)	t_r (ms)	t_s (ms)	THD_{ias} (%)	Aşım (%)	t_{rec} (ms)	THD_{ias} (%)
Lineer PI	5.75	12.5	48.0	1.8	11.0	52.0	4.5
Bulanık PI	0.50	33.0	40.0	1.9	7.5	26.0	4.6
Statik ABPI	1.25	13.1	19.5	1.9	8.2	31.7	4.8
Dinamik ABPI	0.75	13.0	19.8	1.9	6.9	40.6	4.8



Şekil 7. Standart BPI kontrolör temelli PAF a) a fazı yük akımı ve a fazı OKN gerilimi b) a fazı kaynak akımı ve a fazı OKN gerilimi c) a fazı gerçek ve referans kaynak akımları d) referans değeri civarında DA kondansatör gerilimi



Şekil 8. Statik ABPI kontrolör temelli PAF a) a fazı yük akımı ve a fazı OKN gerilimi b) a fazı kaynak akımı ve a fazı OKN gerilimi c) a fazı gerçek ve referans kaynak akımları d) referans değeri civarında DA kondansatör gerilimi



Şekil 9. Dinamik ABPI kontrolör temelli PAF a) a fazı yük akımı ve a fazı OKN gerilimi b) a fazı kaynak akımı ve a fazı OKN gerilimi c) a fazı gerçek ve referans kaynak akımları d) referans değeri civarında DA kondansatör gerilimi

Kaynaklar

- Akagi, H., Nabae, A. and Atoh, S. (1986). Control strategy of active power filters using multiple voltage source PWM converters, *IEEE Transaction on Industrial Applications*, **IA-22**, 3, 460 - 465.
- Bhattacharya, S., Veltman, A., Divan, D.M. and Lorenz, R.D. (1999). Flux based active filter controller, *IEEE Transactions on Industrial Application*, **32**, 3, 491 - 501.
- Chen, C.L. and Lin, C.H. (1996). An active filter for an unbalanced three-phase system using the synchronous detection method, *Electric System Power Research*, **36**, 157 - 161.
- Dixon, J.W., Contardo, J. and Moran, L. (1997). DC link fuzzy control for an active power filter, sensing the line current only, *Proceedings of IEEE-PESC*, 1109 - 1114.
- Driankov, D., Hellendorn, H. and Reinfrank, M. (1993). *An Introduction to Fuzzy Control*, 316pp, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Mudi, R.K. and Pal, N.R. (1999). A robust self tuning scheme for PI- and PD- type fuzzy controllers, *IEEE Transaction on Fuzzy Systems*, **7**, 1, 2 - 16.
- Raviraj, V.S.C. and Sen, P.C. (1997). Comparative study of proportional-integral, sliding mode, and fuzzy logic controllers for power converters, *IEEE Transaction on Industrial Applications*, **33**, 2, 518 - 524.
- Singh, B., Al-Haddad, K. and Chandra, A. (1999). A review of active filters for power quality improvement, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **46**, 5, 960 - 971.
- Singh, B.N., Chandra, A. and Al-Haddad, K. (2000a). DSP-based indirect- current-controlled STATCOM Part 1: Evaluation of current control techniques, *IEE Proceeding.- Electric Power Applications*, **147**, 2, 107 - 112.
- Singh, B.N., Chandra, A. and Al-Haddad, K. (2000b). DSP-based indirect- current-controlled STATCOM Part 2: Multifunctional capabilities, *IEE Proceeding.- Electric Power Applications*, **147**, 2, 113 - 118.
- Vas, P., (1999). *Artificial- Intelligence-Based Electrical Machines and Drives*, 625pp, Oxford University Press, Inc., New York.