

# Birleşik Güç Kalite Düzenleyicisi (UPQC) Denetim Algoritmasının Geliştirilmesi ve PSIM Ortamında Simülasyonu

Metin Kesler<sup>1</sup>, Engin Özdemir<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi  
Elektrik Eğitimi Bölümü

<sup>1</sup>metinkesler@kocaeli.edu.tr, <sup>2</sup>eoazdemir@kocaeli.edu.tr

## Özet

Bu çalışmada, Birleşik Güç Kalite Düzenleyicisi (UPQC- Unified Power Quality Conditioner) kullanarak dengesiz ve doğrusal olmayan yüklerin ürettiği güç kalitesi problemleri giderilmektedir. Birleşik güç kalite düzenleyicisi paralel ve seri aktif güç filtre sistemlerinin birlikte kullanılması ile oluşmaktadır. Paralel aktif güç filtresi ile akım harmonikleri, dengesizlikleri ve nötr akımı kompensasyonu yapılmakta, seri aktif güç filtresi ile kaynak gerilim harmonikleri, dengesizlikleri ve gerilim çökme-yükselme gibi güç kalitesi problemleri düzeltilmektedir. Denetim algoritmasında ölçüm sayısında azaltma yapılarak daha etkin ve verimli çalışması için trafo gerilimleri, yük akımları ve filtre akımlarından ölçüm alınmadan UPQC nin denetimi yapılmaktadır. PSIM yazılımı ortamında denetim algoritmasının simülasyonu yapılarak sistemin performansı incelenmektedir.

## Abstract

Unified Power Quality Conditioner (UPQC) for harmonic elimination and simultaneous compensation of voltage and current, which improves the power quality offered for other harmonic sensitive loads. UPQC consist of combined series active power filters that compensate voltage harmonics of the power supply, and shunt active power filters that compensate harmonic currents of a non-linear load. Control algorithm of the UPQC is optimized and simplified without transformer voltage, load and filter current measurement, so that system performance is improved. The control technique and system performance has been tested using PSIM software.

## 1. Giriş

Modern güç elektroniği sistemlerinin giderek gelişmesi ve hızla artan uygulama alanları nedeniyle (bilgisayar, ofis ekipmanları, doğrultucular, eviriciler, ayarlı hız denetim cihazları, kesintisiz güç kaynakları, anahtarlamalı güç kaynakları ve ark fırınları) şebekelerde ve iletim hatlarında reaktif güç çekilmesine, harmonik üretilmesine ve enerji kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Bu sistemler tarafından oluşturulan reaktif güç ve harmonikler; elektromanyetik cihazlarda ısınmaya, mekanik cihazlarda titreşim ve gürültülü çalışmaya, şebekede güç faktörünün azalmasına, aşırı nötr akımlarına ve nötr iletkeni problemlerine, ateşleme devrelerinin anormal çalışmasına, hassas elektronik kartların arızalanmasına, elektronik ölçüm cihazlarının doğru çalışmamasına, güç kondansatörlerinde

aşırı ısınma ile ömrünün azalmasına ve kayıplara, iletim hatlarında, kablolarda ısınma ve enerji kayıplarına yol açmaktadır.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK), 25639 sayılı ve 10.11.2004 tarihli "Elektrik İletimi Arz Güvenliği ve Kalitesi Yönetmeliği"nde güç faktörünü aşamalı olarak yükseltmiştir. Türkiye elektrik dağıtım sistemi'nde reaktif enerji akışları ile ilgili hususlar, EPDK'nın 25.09.2002 tarihli ve 24887 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanmıştır. "Elektrik Piyasası Müşteri Hizmetleri Yönetmeliği"nde yapılan 09.01.2007 tarihli ve 26398 sayılı ve 20.06.2007 tarihli ve 26558 sayılı resmi gazetede yayınlanan "Elektrik Piyasası Müşteri Hizmetleri Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" ile yeniden düzenlenmiştir[2].

Tablo 1'de yukarıdaki yönetmeliğe göre reaktif enerji sınırlarının endüktif bölgede 0,98, kapasitif bölgede ise 0,988 değerlerine yükselmesi nedeniyle Türkiye Elektrik Dağıtım Sistemi'nden beslenen kurulu gücü 50 kVA ve üstünde olan tüm endüstriyel tesis veya yüklerin neredeyse 1,0 ortalama güç faktöründe çalıştırılmaları zorunluluk haline gelmektedir.

Tablo 1. Aktif ve reaktif enerji tüketim oranları.

Yönetmelikte Belirtilen Sınır Değerler		Enerji Tüketimi /Ay		
		Aktif (%)	Reaktif (%)	
			Endüktif	Kapasitif
Dağıtım sisteminde kurulu gücü 50 kVA'nın altında olanlar	1 Ocak 2007'den itibaren	100	≤ 33	≤ 20
	1 Ocak 2008'den itibaren	100	≤ 33	≤ 20
Dağıtım sisteminde kurulu gücü 50 kVA ve üstünde olanlar	1 Ocak 2007'den itibaren	100	≤ 33	≤ 20
	1 Ocak 2008'den itibaren	100	≤ 20	≤ 15

Bu yeni reaktif enerji sınırları, Türkiye dağıtım sistemi'nde giderek daha çok paralel kondansatör bankasının tesis edilmesi sorununu doğurmaktadır.

Bu nedenle, tesislerde kompanzasyon gücünün artmasıyla beraber paralel rezonans olayı oluşması tehlikesine de yol

açmaktadır. Ayrıca aşırı kompanzasyon nedeniyle tesisdeki harmonikler yükseltilmektedir.

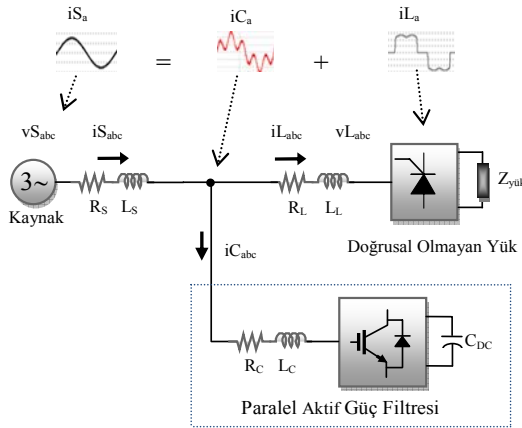
Yüksek harmonik oranlarının tesislerde meydana getireceği sorunlar da otomatik olarak artmaya başlamaktadır. Bu sorunların başında da tesisin duruşuna neden olabilecek elektronik kart arızaları gelmektedir. Dolayısıyla, önümüzdeki bir kaç sene içerisinde reaktif güç kompanzasyonu ve harmoniklerle ilgili ülkemiz kaynaklarının kullanıldığı yoğun araştırma geliştirme çalışmalarının yapılması gerektirir.

## 2. Birleşik Güç Kalite Düzenleyicisi

Aktif güç filtreleri, akım ve gerilim harmoniklerini kompanse etmek için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra reaktif güç kompanzasyonu, akım ve gerilim dengesizlikleri, nötr akımı kompanzasyonu ile şebeke gerilim regülasyonu için kullanılmaktadır. Aktif güç filtreleri doğrusal olmayan yükün ürettiği akım harmoniklerini azaltmakta, reaktif güç çekebilme veya üretebilme. Aktif güç filtresinin çalışma ilkesi, yükün ürettiği harmonikle aynı genlikte fakat ters fazda bir akımın sisteme ilave edilmesi temeline dayanmaktadır[3]. Aktif güç filtrelerinin en gelişmiş ve en yeni uygulaması olan birleşik güç kalitesi düzenleyicisi (UPQC) sistemi paralel ve seri aktif güç filtresinin birlikte kullanılması ile oluşmaktadır.

### 2.1. Paralel Aktif Güç Filtresi

Paralel aktif güç filtresi (PAGF), doğrusal olmayan yüklerin kaynaktan çektiği harmonikleri yok etmekte, reaktif güç kompanzasyonu ve DA hat gerilim regülasyonu gerçekleştirmektedir. PAGF, Şekil 1'de görüldüğü gibi DA tarafına bir kondansatör bağlanmış üç fazlı bir gerilim kaynaklı devresinden meydana gelmektedir.

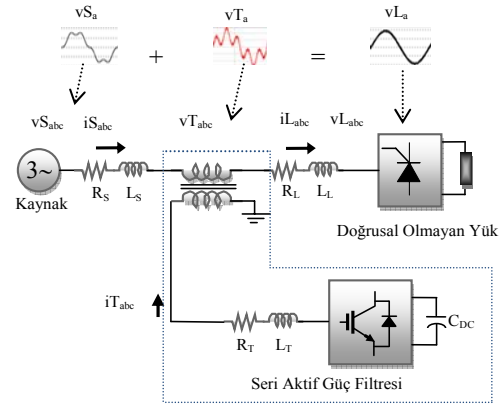


Şekil 1: Paralel aktif güç filtresi.

PAGF'nin temel görevi, yük akımı harmoniklerinin filtrelenmesi ve dengelenmesi, reaktif güç kompanzasyonu ve nötr akım yok edilmesi amacıyla yüke paralel bağlanarak sisteme aynı genlikte fakat ters fazda bir kompanzasyon akımı ilave etmektir. Böylece kaynak akımı sinüzoidal olmakta ve kompanzasyon yapılarak kaynak gerilimiyle aynı faza getirilmektedir.

### 2.2. Seri Aktif Güç Filtresi

Seri aktif güç filtresi (SAGF) ile şebeke gerilim harmonik kompanzasyonu, gerilim yükselme-çöküşleri düzeltilmekte ve gerilim dengesizlikleri giderilmektedir[3]. Şekil 2'de görüldüğü gibi seri aktif güç filtresi, yükten önce bir transformator yardımıyla sisteme seri olarak bağlandığı için, kaynak ile yük arasında seri gerilim kaynağı olarak çalışmaktadır. Seri aktif güç filtresi, kaynak gerilim harmoniklerini azaltmak ve gerilim regülasyonu yapmak amacıyla sisteme eşit büyüklükte ve ters fazda harmonik gerilimler vermektedir. Böylece kaynak gerilimindeki yükselme-çöküşleri, gerilim kesilmeleri, kaynak gerilimindeki dengesizlikler ve gerilim harmonikleri düzeltilebilmektedir.



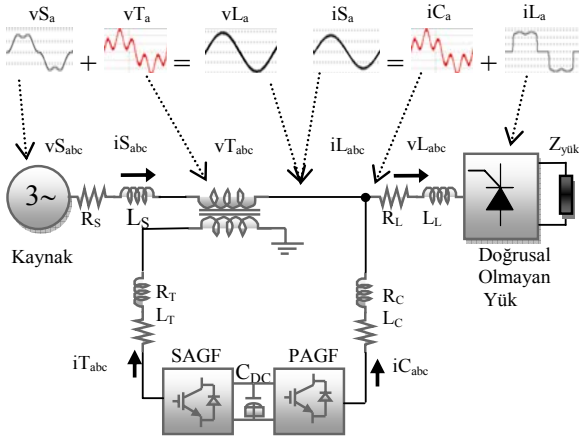
Şekil 2: Seri aktif güç filtresi.

### 2.3. Birleşik Güç Kalite düzenleyicisi

Birleşik güç kalite düzenleyicisi ilk olarak Birleşik Güç Akış Denetleyicisi (BGAD) adıyla Gyugyi tarafından 1992'de ortaya atılmıştır. Seri ve paralel aktif filtresinin birleşimi olan UPQC ise 1995'de Akagi ve 1998'de Fujita ve Aredes tarafından önerilmiştir [1,5,6]. Bununla birlikte UPQC sistemi yapı olarak benzer olmakla birlikte amaç işletim ve denetim açısından BGAD'den oldukça farklıdır.

Birleşik güç kalite düzenleyicisi, seri aktif güç filtresi ile paralel aktif güç filtresinin birlikte kullanılması ile oluşturulmuş filtre sistemidir. Aktif güç filtrelerinin en gelişmiş ve en yeni uygulaması olan birleşik güç kalitesi düzenleyicisinin temel işlevi; IEC 61000-4-30 "Electromagnetic compatibility (EMC)" standardında tanımlanan güç kalitesi bileşenlerinin frekans, kaynak gerilim büyüklüğü, fliker, kaynak gerilimindeki çukur ve tepeler, gerilim kesilmeleri, geçici rejim gerilim bileşenleri, kaynak gerilimindeki dengesizlikler, gerilim harmonikleri, gerilim ara harmonikleri, kaynak gerilimindeki ana sinyal gerilimi, hızlı gerilim değişiklikleri, ölçümdeki alt ve üst değişim parametrelerinin düzeltilmesidir[4].

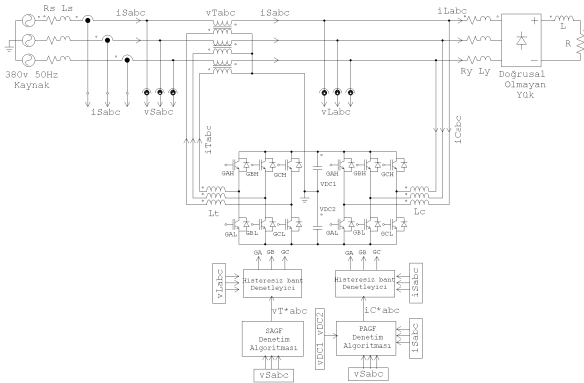
Şekil 3'de birleşik güç kalite düzenleyicisi genel blok diyagramı verilmektedir. Şekilden anlaşılacağı gibi UPQC ortak bir DA hattını kullanarak şebekeye seri olarak bağlanmış gerilim kaynağı olarak çalışan seri aktif güç filtresi ve yüke paralel bağlanmış akım kaynağı olarak çalışan paralel aktif güç filtre sistemlerinin birlikte kullanılması ile oluşmaktadır.



Şekil 3: Birleşik güç kalite düzenleyicisi genel blok şeması.

### 3. UPQC Denetim Algoritması

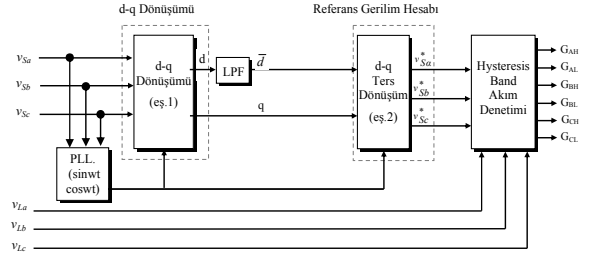
Şekil 4'de birleşik güç kalitesi düzenleyicisi PSIM simülasyon yazılımı ortamında hazırlanmış denetim algoritması genel blok diyagramı verilmektedir. Denetim sistemi seri aktif güç filtresi ve paralel aktif güç filtresi olmak üzere iki ayrı denetim algoritmadan oluşmaktadır.



Şekil 4: Birleşik güç kalite düzenleyicisi denetim blok diyagramı.

#### 3.1. Seri aktif güç filtre denetim algoritması

Seri aktif güç filtre denetim algoritması blok şeması Şekil 5'de görülmektedir. Şebeke  $v_{Sabc}$  gerilimleri kullanarak (1) eşitliğinde görüldüğü gibi a-b-c koordinatlarındaki üç fazlı gerilimlerin d-q-0 senkron referans dönüşümü yapılmaktadır. Ayrıca şebeke  $v_{Sabc}$  gerilimlerinden ölçüm alınarak senkron referans dönüşümlerinde kullanılmak üzere PLL (Phase-Locked Loop) dönüşümü elde edilmektedir.



Şekil 5: Seri aktif güç filtresi denetim blok şeması.

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \sin(\omega t) & \sin(\omega t - 2\frac{\pi}{3}) & \sin(\omega t + 2\frac{\pi}{3}) \\ \cos(\omega t) & \cos(\omega t - 2\frac{\pi}{3}) & \cos(\omega t + 2\frac{\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{Sa} \\ v_{Sb} \\ v_{Sc} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dönüşüm ile elde edilen  $v_d$  değeri (2) eşitliğinde görüldüğü gibi  $\bar{v}_d$  DA (doğru akım) ve  $\tilde{v}_d$  AA (alternatif akım) olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır.  $v_d$  değeri LPF (düşük geçiren filtre) den geçirilerek  $\bar{v}_d$  bileşeni elde edilmektedir.

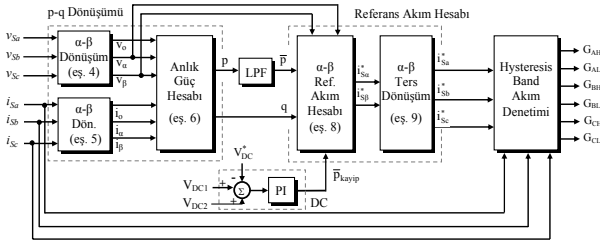
$$v_d = \bar{v}_d + \tilde{v}_d \quad (2)$$

$v_{Sabc}^*$  referans gerilim değerlerinin hesaplanması  $v_d$  değerinin DA  $\bar{v}_d$  bileşeni kullanarak (3) eşitliğinde verildiği şekilde yapılmaktadır. Hesaplanan  $v_{Sabc}^*$  referans gerilim değerleri ile yük gerilim  $v_{Labc}$  değerleri hysteresis band yöntemi kullanılarak anahtarlama sinyalleri üretilmektedir.

$$\begin{bmatrix} v_{Sa}^* \\ v_{Sb}^* \\ v_{Sc}^* \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \sin(\omega t) & \cos(\omega t) & 1 \\ \sin(\omega t - 2\frac{\pi}{3}) & \cos(\omega t + 2\frac{\pi}{3}) & 1 \\ \sin(\omega t + 2\frac{\pi}{3}) & \cos(\omega t - 2\frac{\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{v}_d \\ v_q \\ v_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

#### 3.2. Paralel aktif güç filtresi denetim algoritması

Şekil 6'da paralel aktif güç filtresi denetim algoritması blok diyagramı görülmektedir. Paralel aktif güç filtresi gerçek zamanlı denetimi için anlık güç teorisi (p-q teorisi) tabanlı denetim algoritması kullanılmaktadır. P-q teorisi, (4) ve (5) eşitliğinde görüldüğü gibi a-b-c koordinatlarındaki üç fazlı akım ve gerilimlerin,  $\alpha$ - $\beta$ -0 koordinatlarına cebrik dönüşümünden ve sonrasında anlık güç bileşenlerinin hesaplanmasından oluşmaktadır [5].



Şekil 6: Paralel aktif güç filtresi denetim blok şeması.

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{Sa} \\ v_{Sb} \\ v_{Sc} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{Sa} \\ i_{Sb} \\ i_{Sc} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Yükün anlık gerçek ve sanal güç bileşenleri, yük akımlarının ve faz-nötr gerilimlerinin  $\alpha$ - $\beta$  koordinatlarındaki karşılıklarıyla (6) eşitliğindeki gibi hesaplanmaktadır.

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

Anlık gerçek ve sanal güçler AA ve DA bileşenleri içermektedir ve (7) eşitliğinde ki gibi ifade edilmektedir.  $p$  ve  $q$ 'nin DA bileşenleri ( $\bar{p}$  ve  $\bar{q}$ ), yük akımının pozitif sıralı bileşeninden oluşmaktadır.  $p$  ve  $q$ 'nin AA bileşenleri ( $\tilde{p}$  ve  $\tilde{q}$ ), yük akımının harmonik ve negatif sıralı bileşenlerinden oluşmaktadır [7].

Aynı zamanda nötr akımı azaltılması için (7) eşitliğinde hesaplanan  $p_0$  hem harmonik hem de reaktif güç kompanzasyonu yapmak için sanal gücün DA ve AA bileşenleri ile gerçek gücün AA bileşeni kullanılarak (8) eşitliğindeki gibi referans akımlar hesaplanmaktadır.

$$p_0 = v_0 * i_0 \quad ; \quad p = \bar{p} + \tilde{p} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} i_{Sa}^* \\ i_{Sb}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\tilde{p} + p_0 + \bar{p}_{kayıp} \\ -q \end{bmatrix} \quad (8)$$

$i_{sa}^*$  ve  $i_{sb}^*$ ,  $\alpha$ - $\beta$  koordinatlarında yükün harmonik ve reaktif akımlarına karşılık gelen ve paralel aktif güç filtresi denetim algoritmasının üretmesi gereken akımlardır. Bu akımlar üç fazlı sisteme (9) eşitliği kullanılarak çevrilmektedir.

$$\begin{bmatrix} i_{Sa}^* \\ i_{Sb}^* \\ i_{Sc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{Sa}^* \\ i_{Sb}^* \end{bmatrix} \quad (9)$$

Böylece, 3-fazlı güç sisteminde yükün ürettiği nötr akımını, harmonik ve reaktif akımları yok edecek  $i_{sa}^*$ ,  $i_{sb}^*$  ve  $i_{sc}^*$  referans akımları elde edilmektedir. Anahtarlama sinyallerinin üretimi paralel aktif güç filtresi denetim algoritması tarafından üretilen referans akımlar ile hat akımları karşılaştırılmakta ve histeresis bant akım denetleyici ile anahtarlama sinyalleri elde edilmektedir [6].

#### 4. Simülasyon Sonuçları

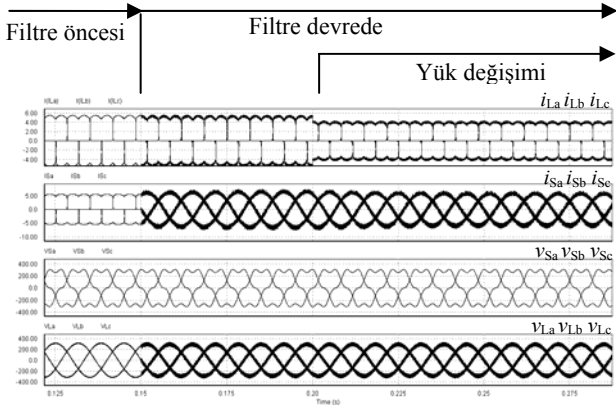
Bu çalışmada, UPQC denetim algoritmasının geliştirilmesi ve simülasyon çalışmaları yapılmaktadır. Tablo 2'de simülasyonu yapılan UPQC sistem parametreleri verilmektedir. Simülasyon, paralel aktif güç filtresi devreye girmeden öncesi ve sonrası olmak üzere iki aşamalı gerçekleştirilmektedir. Paralel aktif güç filtresi devrede iken yük değişimi yapılarak sistemin dinamik cevabı test edilmektedir. Simülasyonlarda geliştirilen Birleşik Güç Kalitesi Düzenleyicisi denetim algoritması ile kabul edilebilir seviyede sonuç elde edilmiştir.

Tablo 2. UPQC Simülasyon sistem parametreleri.

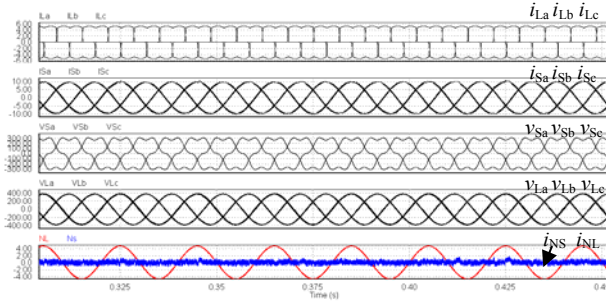
Sistem Parametreleri		
Şebeke gerilimi	$v_{Sabc}$	380V faz-faz.
Sistem frekansı	$f_s$	50Hz
DC bara gerilimi	$V_{DA}$	750V
SAGF Parametreleri		
Seri transformatör	Oran	1/3
AC filtre	$R_f, C_f$	$5\Omega, 3\mu F$
AC endüktans	$L_C$	3.5mH
Anahtarlama frekansı	$f_s$	10kHz
PAGF Parametreleri		
AC endüktans	$L_{LA}$	1mH
DC direnç	$R_{LD}$	100 $\Omega$
DC endüktans	$L_{LD}$	10mH
DC kondansatör	$C_{DC}$	2200 $\mu F$
Toplam Harmonik Bozulma % (THD)		
	Filtre Öncesi	Filtre Devrede
$v_{Sabc}$	16	16
$v_{Labc}$	16	3.1
$i_{Sabc}$	31.3	3.4
$i_{Labc}$	31.3	31.3

Şekil 7'de birleşik güç kalitesi düzenleyicisinin denetim algoritması PSIM simülasyon yazılımı ortamında yük akımları  $i_{Labc}$ , şebeke akımları  $i_{Sabc}$ , şebeke gerilimleri  $v_{Sabc}$  ve yük gerilimleri  $v_{Labc}$  değerleri ile elde edilen simülasyon sonuçlar görülmektedir. Şekil 8'de Birleşik güç kalitesi düzenleyicisinin  $i_{Labc}$ ,  $i_{Sabc}$ ,  $v_{Sabc}$ ,  $v_{Labc}$  yükün nötr akımı  $N_L$  ve şebeke nötr akımı  $N_S$  değerleri ile elde edilen sonuçlar görülmektedir. Şekil 9'da ise tek fazlı olarak  $i_{La}$ ,  $i_{Sa}$ ,  $v_{Sa}$ ,  $v_{La}$   $N_L$  ve  $N_S$  değerlerinin simülasyon sonuçları görülmektedir.

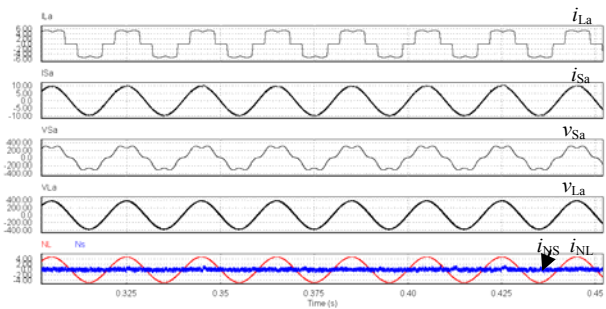
Şekillerden de görüldüğü gibi UPQC ile harmonikli kaynak akımları kaynak tarafına sinüsoidal olarak iletilmekte, nötr akımı yok edilmekte ve reaktif güç kompanzasyonu başarılı biçimde gerçekleştirilmektedir.



Şekil 7: UPQC filtre öncesi, sonrası ve yük değişimi, akım ve gerilim simülasyon sonuçları



Şekil 8: UPQC yük akımı, şebeke ve yük gerilimi ve nötr akım simülasyon sonuçları



Şekil 9: tek faz gösterim UPQC yük akımı, şebeke ve yük gerilimi ve nötr akım simülasyon sonuçları

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, doğrusal olmayan yüklerin neden olduğu harmonikler, gerilim dengesizlikleri, nötr akımı ve reaktif güç kompanzasyonu gibi güç kalitesi problemlerinin giderilmesi için kullanılan Birleşik Güç kalitesi Düzenleyicisi için önerilen denetim algoritmasının geliştirilmesi ve simülasyon sonuçları verilmektedir.

Literatürde birçok çalışmada UPQC denetim algoritması için yük akımları, filtre akımları, şebeke akım ve gerilimleri, trafo gerilimleri ve DC bara gerilimi ölçülerek yapılmaktadır. Geliştirilen denetim yönteminde ölçüm sayısı azaltılmakta ve sadece DC bara gerilimi, kaynak akımları, kaynak gerilimleri ve yük gerilimleri ölçülerek sistemin denetimi sağlanmaktadır. Bu çalışmada PSIM yazılım ortamında geliştirilen denetim yönteminin başarılı simülasyon sonuçları verilmektedir. Deneysel düzeneğin kurulma çalışmaları devam ettiğinden deneysel çalışma sonuçları ileriki yayınlarda yer verilmesi planlanmaktadır.

## 6. Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 108E083 nolu proje ve Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi hızlı destek projesi kapsamında desteklenmektedir.

## 7. Kaynaklar

- [1] Aredes M., Heumann K., Watanabe E.H., 'An universal active power line conditioner', IEEE Trans. Power Deliv., 1998, 13, (2), pp. 545-551.
- [2] Elektrik Piyasası Müşteri Hizmetleri Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, EPDK, 20.06.2007 tarihli ve 26558 sayılı Resmi Gazete. [www.rega.com.tr](http://www.rega.com.tr).
- [3] Peng, F. Z., OTT, G. W., Adams, D. J., "Harmonic and Reactive Power Compensation on the Generalized Instantaneous Reactive Power Theory for Three-Phase Four-Wire Systems". IEEE Trans. on Power Elec., Vol. 13, No. 6, pp. 1174-1181, (1998).
- [4] Güç kalitesi milli projesi. <http://www.guckalitesi.gen.tr> (Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2008).
- [5] Akagi, H. and Fujita, H., "A new power line conditional for harmonic compensation in power systems," IEEE Trans. Power Del., vol. 10, no. 3, pp. 1570-1575, Jul. 1995.
- [6] Fujita, H. and Akagi, H., "The unified power quality conditioner: The integration of series and shunt-active filters," IEEE Trans. Power Electron., vol. 13, no. 2, pp. 315-322, Mar. 1998.
- [7] Kesler M., Uçar M., Özdemir E., Paralel Aktif Güç Filtresi İçin DSP Tabanlı Denetim Algoritmasının Otomatik Gömülü Kod Üretimi İle Hızlı Prototiplendirilmesi", Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, ELECO 2006, Bursa, 181-185, (2006)
- [8] Duşan Graovac, Vladimir A. Katic', and Alfred Rufer, "Power Quality Problems Compensation With Universal Power Quality Conditioning System", IEEE Transaction on Power Delivery, VOL. 22, NO. 2, (2007).
- [9] B. Han, Senior Member, IEEE, B. Bae, H. Kim, and S. Baek, "Combined Operation of Unified Power-Quality Conditioner With Distributed Generation," IEEE Transaction on Power Delivery, VOL. 21, No. 1, (2006).
- [10] Kesler M., "Paralel Aktif Güç Filtresi Tasarımı ve Vissim Yazılımı ile DSP Üzerinden Denetimi" Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (Temmuz 2005).