

# Şebeke Gerilim ve Yük Akım Harmoniklerinin Birleşik Güç Kalite Düzenleyicisi İle Düzeltilmesi

Metin Kesler<sup>1</sup>, Engin Özdemir<sup>2</sup>, Murat Karabacak<sup>3</sup>

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

<sup>3</sup>Düzce Meslek Yüksekokulu Endüstriyel Elektronik Bölümü

<sup>1</sup>metinkesler@kocaeli.edu.tr, <sup>2</sup>eozeimir@kocaeli.edu.tr, <sup>3</sup>muratkarabacak@duzce.edu.tr

## Özet

*Bu çalışmada, Birleşik Güç Kalite Düzenleyicisi (BGKD) ile şebeke gerilim ve yük akım harmoniklerini düzelterek sistemin güç kalitesinin iyileştirilmesi açıklanmaktadır. 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. BGKD için geliştirilen denetim algoritmasının laboratuvar ortamında uygulaması yapılmaktadır. Ayrıca Matlab/Simulink yazılımı ortamında denetim algoritmasının simülasyonu yapılarak sistemin performansı incelenmektedir.*

## 1. Giriş

Elektrik güç dağıtım sistemleri ve hassas endüstriyel yükler, gerilim çökmeleri ve yükselmeleri, geçici rejimler, dalgalanmalar, harmonikler, dengesizlik ve diğer bozulmaların neden olduğu güç kalitesi ile ilgili problemlerden oldukça etkilenmektedir. Statik doğrultucular, ayarlanabilen hızlı sürücüler, DA/AA dönüştürücüler gibi doğrusal olmayan güç elektroniği yüklerinin kullanımındaki artış, yüksek harmonik akımlar, dengesizlik, düşük güç faktörü ve aşırı nötr akımı gibi bir çok güç kalitesi problemlerine neden olmaktadır.

Modern güç elektroniği sistemlerinin giderek gelişmesi ve hızla artan uygulama alanları nedeniyle şebekelerde ve iletim hatlarında reaktif gücün çekilmesine, harmoniklerin üretilmesine ve enerji kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Bu sistemler tarafından oluşturulan reaktif güç ve harmonikler elektromanyetik cihazlarda ısınma, mekanik cihazlarda titreşim ve gürültülü çalışmaya, şebekede güç faktörünün azalmasına, aşırı nötr akımlarına ve nötr iletkeni problemlerine sebep olmaktadır.

Bu çalışmada, ülkemiz elektrik enerjisi güç sistemi içinde IEC 61000 standartlarında tanımlanan, gerilim kesilmeleri, fliker, kaynak gerilimindeki düşmeler ve yükselmeler, frekans, geçici rejim gerilim bileşenleri, kaynak gerilimindeki dengesizlikler, gerilim harmonikleri vb. güç kalitesi problemlerine çözüm getirecek uygun BGKD sisteminin tasarımı ve denetimi anlatılmaktadır. Böylece şebeke gerilimi ve yük akımının harmoniklerinin BGKD ile düzeltilmesi deneysel ve simülasyon çalışmalarıyla gerçekleştirilmektedir.

BGKD sistemi, harmonik ve güç faktörü denetimi amacıyla sürekli olarak reaktif güç kompanzasyonu sağlamak için modern güç elektroniği teknolojisini kullanmaktadır. Böylece sabit kondansatör veya reaktörlerle giderilemeyen gerilim flikeri azalır ve gerilim regülasyonu problemi giderilir. Önerilen sistem, birçok endüstriyel bölgede oldukça yüklü bir dağıtım hattında gerilim kalitesinin artırılması (harmonik, dengesizlik, çökme, yükselme vb.) ve güç faktörü düzeltimi sağlamak amacıyla tesis edilebilmektedir.

Bu amaçla, özellikle doğrusal olmayan yüklerin ürettiği harmoniklerin azaltılması, reaktif gücün kompanzasyonu, yük dengesizliğinden kaynaklanan nötr akımlarının yok edilmesi ve şebeke gerilim dengesizliklerinin düzeltilmesi için kullanılan BGKD sisteminin tasarımı, simülasyonu, deneysel düzeneğinin laboratuvar prototipinin kurulması ve uygulamanın DSP geliştirme kartı üzerinden denetimi gerçekleştirilmektedir. Deneysel uygulama sonuçları simülasyon sonuçları ile karşılaştırılarak verilmektedir.

## 2. Birleşik Güç Kalite Düzenleyicisi

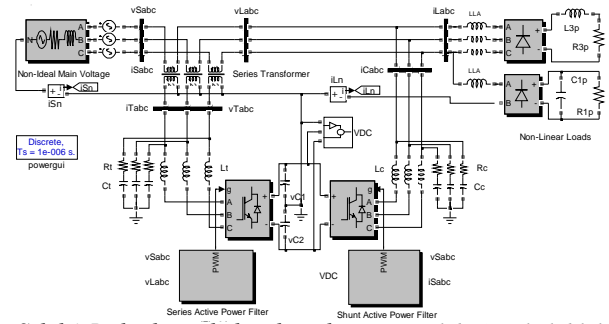
Birleşik güç kalite düzenleyicisi ilk olarak Birleşik Güç Akış Denetleyicisi (BGAD) adıyla Gyugyi tarafından 1992'de ortaya atılmıştır. Seri ve paralel aktif filtrenin birleşimi olan BGKD ise 1995'de Akagi ve 1998'de Fujita ve Aredes tarafından önerilmiştir [1,5,6] Bununla birlikte BGKD sistemi yapı 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, kırışma, 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].

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 çekebilmekte veya üretebilmektedir. 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 kalite düzenleyicisi sistemi paralel ve seri aktif güç filtresinin birlikte kullanılması ile oluşmaktadır.

Paralel aktif güç filtresi (PAGF), doğrusal olmayan yüklerin kaynaktan çektiği harmonikleri yok etmekte, reaktif güç kompanzasyonu ve DA hat gerilim regülasyonu gerçekleştirmektedir. Seri aktif güç filtresi (SAGF) ile şebeke gerilim harmonik kompanzasyonu, gerilim düşme ve yükselmeleri düzeltilmekte ve gerilim dengesizlikleri giderilmektedir[3]. Seri aktif güç filtresi, yükten önce bir transformatör yardımıyla sisteme seri olarak bağlandığı için, kaynak ile yük arasında seri gerilim kaynağı olarak çalışmaktadır. Kaynak gerilim harmoniklerini azaltmak ve gerilim regülasyonu yapmak amacıyla sisteme eşit büyüklükte ve ters fazda harmonik gerilimler vermektedir. Böylece kaynak gerilimindeki düşme ve yükselmeleri, gerilim kesilmeleri, kaynak gerilimindeki dengesizlikler ve gerilim harmonikleri düzeltilenmektedir.

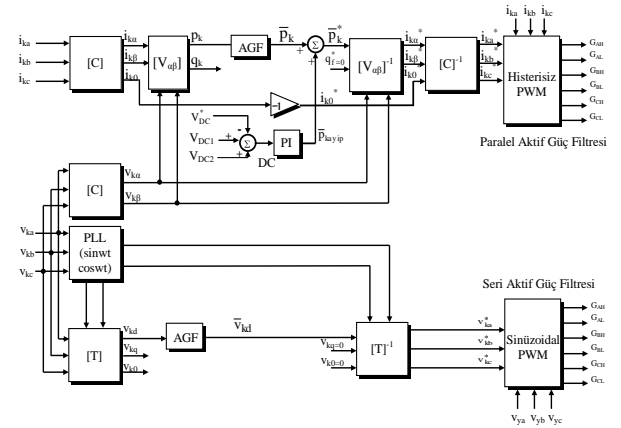
Şekil 1’de birleşik güç kalite düzenleyicisi Matlab/Simulink genel blok diyagramı verilmektedir. Şekilden anlaşılacağı gibi BGKD ortak bir DA hattını kullanarak şebekeye seri olarak bağlanmış gerilim kaynağı olarak çalışan seri aktif güç filtresi ve yüke paralel bağlanmış akım kaynağı olarak çalışan paralel aktif güç filtre sistemlerinin birlikte kullanılması ile oluşmaktadır.



Şekil 1: Birleşik güç kalite düzenleyicisi Matlab/Simulink blok şeması.

### 3. BGKD Denetim Algoritması

Şekil 2’de birleşik güç kalite düzenleyicisi denetim blok diyagramı verilmektedir. Denetim sistemi seri aktif güç filtresi ve paralel aktif güç filtresi olmak üzere iki ayrı denetim algoritmasından oluşmaktadır.



Şekil 2: Birleşik güç kalite düzenleyicisi denetim blok diyagramı.

Şebeke  $v_{Kabc}$  gerilimleri kullanarak (4) eşitliğinde görüldüğü gibi a-b-c koordinatlarındaki üç fazlı gerilimlerin d-q-0 senkron referans dönüşümü yapılmaktadır. Ayrıca şebeke  $v_{Kabc}$  gerilimlerinden ölçülen senkron referans dönüşümlerinde kullanılmak üzere PLL (Phase-Locked Loop) dönüşümü elde edilmektedir.

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \sin(wt) & \sin(wt - \frac{2\pi}{3}) & \sin(wt + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(wt) & \cos(wt - \frac{2\pi}{3}) & \cos(wt + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\mathbf{T}^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{I}_{\alpha\beta} = \begin{bmatrix} v_{\alpha} & v_{\beta} \\ -v_{\beta} & v_{\alpha} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} v_0 \\ v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \mathbf{I} \begin{bmatrix} v_{Ka} \\ v_{Kb} \\ v_{Kc} \end{bmatrix} \quad (3), (4)$$

Dönüşüm ile elde edilen  $v_d$  değeri (5) 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.

$$v_d = \bar{v}_d + \tilde{v}_d \quad (5)$$

$v_{Kabc}^*$  referans gerilim değerlerinin hesaplanması  $v_d$  değerinin DA  $\bar{v}_d$  bileşeni kullanarak (6) eşitliğinde verildiği şekilde yapılmaktadır. Hesaplanan  $v_{Kabc}^*$  referans gerilim değerleri ile yük gerilim  $v_{Yabc}$  değerleri histerezis band yöntemi kullanılarak anahtarlama sinyalleri üretilmektedir.

$$\begin{bmatrix} v_{Ka}^* \\ v_{Kb}^* \\ v_{Kc}^* \end{bmatrix} = \mathbf{I}^{-1} \begin{bmatrix} \bar{v}_d \\ v_q \\ v_0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Paralel aktif güç filtresi gerçek zamanlı denetimi için anlık güç teorisi (p-q teorisi) tabanlı denetim algoritması kullanılmaktadır. P-q teorisi, (7) ve (8) 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].

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_{\alpha} \\ v_{\beta} \end{bmatrix} = \mathbf{I} \begin{bmatrix} v_{Ka} \\ v_{Kb} \\ v_{Kc} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} = \mathbf{I} \begin{bmatrix} i_{Ka} \\ i_{Kb} \\ i_{Kc} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Yükün anlık gerçek ve sanal güç bileşenleri, yük akımlarının ve faz-nötr gerilimlerinin  $\alpha$ - $\beta$  koordinatlarındaki karşılıklarıyla (9) eşitliğindeki gibi hesaplanmaktadır.

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \mathbf{I}_{\alpha\beta} \begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Anlık gerçek ve sanal güçler AA ve DA bileşenleri içermektedir ve (10) eşitliğinde ki gibi ifade edilmektedir. p ve q'nun DA bileşenleri ( $\bar{p}$  ve  $\bar{q}$ ), yük akımının pozitif sıralı bileşeninden oluşmaktadır. p ve q'nun AA bileşenleri ( $\tilde{p}$  ve  $\tilde{q}$ ), yük akımının harmonik ve negatif sıralı bileşenlerinden oluşmaktadır [7].

Aynı zamanda nötr akımı azaltılması için (10) 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 (11) eşitliğindeki gibi referans akımlar hesaplanmaktadır.

$$p_0 = v_0 * i_0 \quad ; \quad p = \bar{p} + \tilde{p} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} i_{ka}^* \\ i_{kb}^* \\ i_{kc}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{v_{\alpha} + v_{\beta}} \mathbf{I}_{\alpha\beta} \begin{bmatrix} -\tilde{p} + p_0 + \bar{p}_{kayıp} \\ -q \end{bmatrix} \quad (11)$$

$i_{k\alpha}^*$  ve  $i_{k\beta}^*$ ,  $\alpha$ - $\beta$  koordinatlarında yükün harmonik ve reaktif akımlarına karşılık gelen ve paralel aktif güç filtresi denetim algoritmasının üretmesi gereken akımlardır. Bu akımlar üç fazlı sisteme (12) eşitliği kullanılarak çevrilmektedir.

$$\begin{bmatrix} i_{ka}^* \\ i_{kb}^* \\ i_{kc}^* \end{bmatrix} = \mathbf{I} \begin{bmatrix} i_{k\alpha}^* \\ i_{k\beta}^* \\ i_{k0}^* \end{bmatrix} \quad (12)$$

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

#### 4. Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada, BGKD denetim algoritmasının geliştirilmesi ve simülasyon çalışmaları yapılmaktadır. Tablo 1'de simülasyonu yapılan sistem parametreleri verilmektedir. Simülasyon, BGKD öncesi ve sonrası olmak üzere iki aşamalı gerçekleştirilmektedir. Ayrıca sistemin dinamik cevabını test etmek üzere %50 yük artışı da yapılmaktadır. BGKD devrede iken yük değişimi yapılarak sistemin dinamik cevabı test edilmektedir. Dengesiz ve harmonikli kaynak gerilimi ve dengesiz yük akımı durumu ayrı test edilmektedir. Simülasyonlarda geliştirilen BGKD denetim algoritması ile kabul edilebilir seviyede sonuç elde edilmiştir.

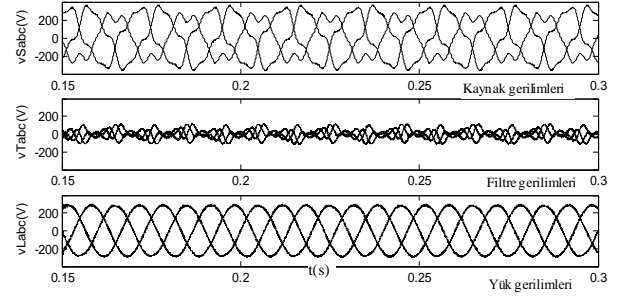
Tablo 1. BGKD Simülasyon sistem parametreleri.

	Parametre		Değeri
Kaynak	Gerilimi	$V_{kabc}$	220V <sub>rms</sub> /FazNötr
	Frekans	$f$	50Hz
	Empedansı	$R_S, L_S$	10mΩ 0.1mH
Yük	AA tarafı hat reaktörü	$R_L, L_L$	1mH/Tek-faz 2mH/3-faz
	DA endüktans	$L_{LD3}$	10mH
	DA direnç	$R_{LD3}$	30 Ω/3-faz 100Ω/Tek-faz
	DAkondansatör	$C_{LD1}$	240μF
SAGF	DA bara gerilimi	$V_{DA}$	700V
	DAkondansatör	$C_1=C_2$	2200μF
	Histeresiz bant	HB	1A
	Seri Trafo	Oran	1/3
	AA tarafı filtre	$R_C, L_C$ $R_F, C_F$	2.5mH 5Ω, 10μF
PAGF	DA bara gerilimi	$V_{DA}$	700V
	DA kondansatör	$C_1=C_2$	2200μF
	Histeresiz bant	HB	1A
	AA tarafı filtre	$R_C, L_C$ $R_F, C_F$	1mH 2Ω, 30μF

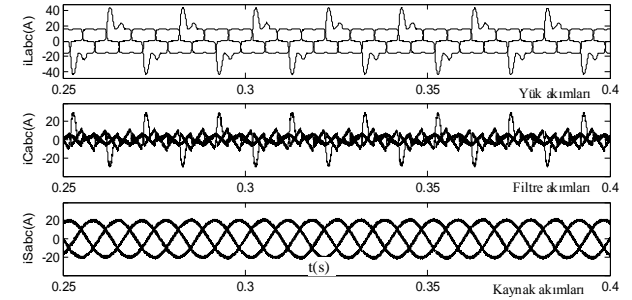
BGKD denetim algoritması Matlab/Simulink ortamında simülasyonu yapılan, dengesiz ve harmonikli kaynak gerilimi  $v_{Sabc}$  düzeltimi simülasyon sonucu Şekil 3'de, dengesiz ve lineer olmayan yük akımları  $i_{Labc}$ , düzeltimi simülasyon sonucu Şekil 4'de, nötr akımı kompanzasyonu simülasyon sonucu Şekil 5'de ve reaktif güç kompanzasyonu simülasyon sonucu Şekil 6'da görülmektedir.

Birleşik Güç Kalite Düzenleyicisinin dinamik cevabına ait simülasyon sonuçları Şekil 7'de (a) Yük gerilimleri, (b) trafo gerilimleri, (c) yük akımları, (d) kaynak akımları, (e) filtre akımları, (f) kaynak nötr akımı, (g) aktif güç, (h) reaktif güç, (i) kaynak akımı ve yük gerilimi, (k) VDA bara gerilimi görülmektedir. BGKD devreye girmeden önceki, devreye girdikten sonraki durum ve % 50 yük değişiminde görülen dinamik cevap oldukça iyi görülmektedir.

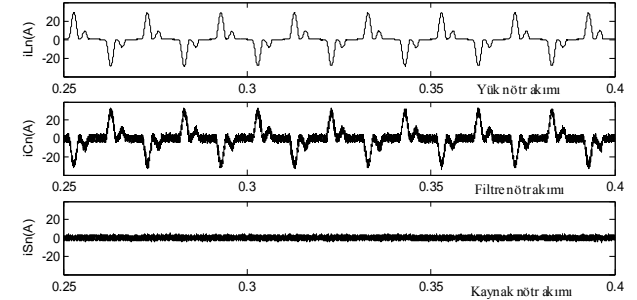
Simülasyon sonuçlarında da görüldüğü gibi BGKD ile harmonikli kaynak akımları kaynak tarafına sinüsoidal olarak iletilmekte, yük tarafında görülen gerilim harmonikleri ve nötr akımı yok edilmekte ve reaktif güç kompanzasyonu başarılı biçimde gerçekleştirilmektedir. Dengesiz yük akımı durumunda sistem oldukça iyi cevap vermektedir.



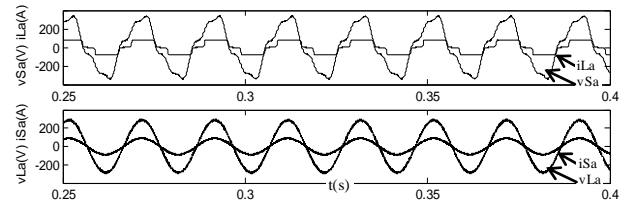
Şekil 3: Dengesiz ve harmonikli kaynak gerilimi düzeltimi simülasyon sonucu



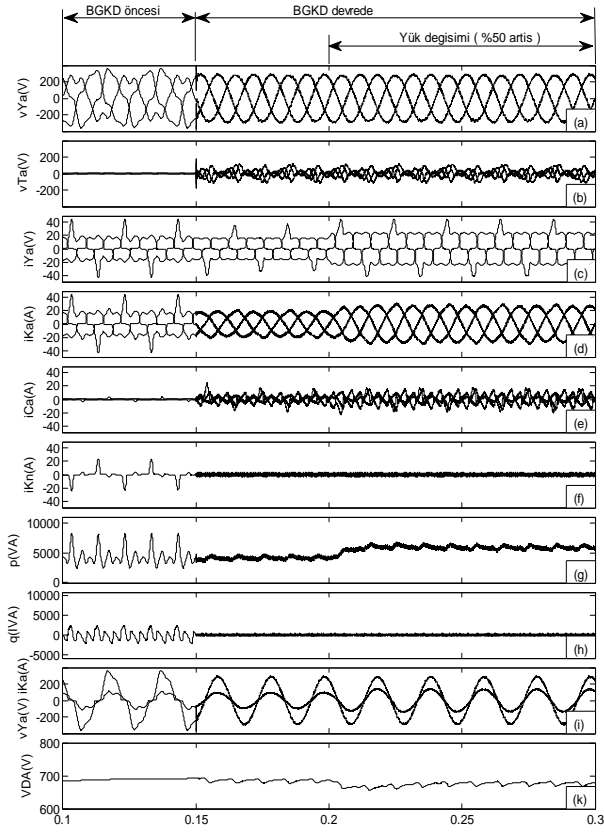
Şekil 4: Dengesiz ve lineer olmayan yük akımları düzeltimi simülasyon sonucu.



Şekil 5: Nötr akımı kompanzasyonu simülasyon sonucu.



Şekil 6: Reaktif güç kompanzasyonu simülasyon sonucu.



Şekil 7: (a) Yük gerilimleri, (b) trafo gerilimleri, (c) yük akımları, (d) kaynak akımları, (e) filtre akımları, (f) kaynak nötr akımı, (g) aktif güç, (h) reaktif güç, (i) kaynak akımı ve yük gerilimi, (k)  $V_{DA}$  bara gerilimi.

## 5. Deneysel Sonuçlar

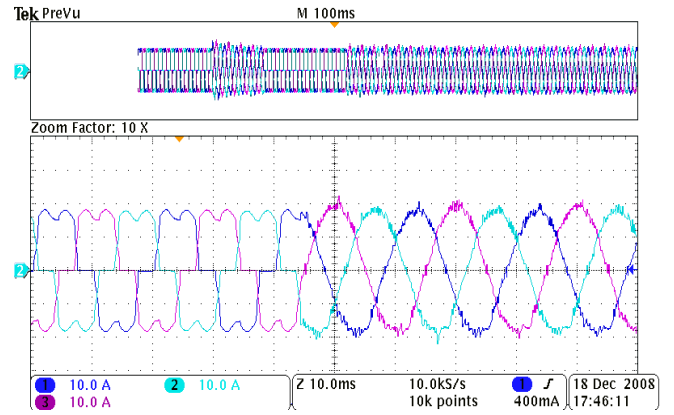
BGKD laboratuvar düzeneğinin fotoğrafı Şekil 8'de verilmektedir. BGKD deneysel düzeneğinde paralel aktif filtre, seri aktif filtre ve sistem parametrelerini denetlemek üzere üç adet DSP kartı kullanılmaktadır. DC bara gerilimi 700V seviyesinde iki adet seri bağlı 2200 uF kondansatör kullanılmaktadır. Yük kısmında üç fazlı ve tek fazlı köprü diyotlu doğrultucu kullanılmaktadır. Deneysel çalışma parametreleri simülasyon parametreleri ile yaklaşık aynı seçilmiştir.

Kaynak ve yük gerilimleri LEM LV 25P, kaynak akımları LEM LA 55P/SP1 alan etkili algılayıcılarla ölçülmektedir. Seri ve paralel aktif filtre güç katında SEMIX 101GD128Ds IGBT modülleri kullanılmaktadır. Bu IGBT blokları, CONCEPT 6SD106EI ve SEMIKRON SKHI 61 IGBT sürücülerini ile denetlenmektedir. Her iki IGBT sürücüsü aşırı akım ve kısa devre koruma ve giriş-çıkış arasında elektriksel yalıtım özelliklerine sahiptirler. Denetim algoritması TI TMS320F28335 DSP yongaları kullanılarak sağlanmaktadır.

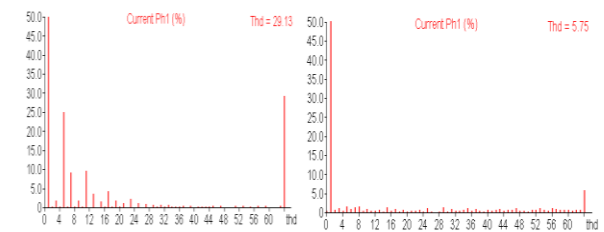
Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen kaynak akımının ( $i_{Sabc}$ ) filtre öncesi ve sonrası deneysel sonuçları Şekil 9'da, kaynak akımı  $i_{Sa}$  filtre öncesi ve filtre sonrası harmonik dağılımı Şekil 10'da, yük gerilimi  $v_{Yabc}$  (a- tek faz b- üç faz) filtre öncesi ve sonrası deneysel sonuçları ise Şekil 11'de görülmektedir. Yük gerilimi  $v_{Yabc}$  filtre öncesi ve filtre sonrası harmonik dağılımına ilişkin harmonik analizöründen alınan veriler Şekil 12'de verilmektedir. Deneysel uygulama sonuçları incelendiğinde kaynak akımında görülen harmoniklerin giderildiği, yük gerilimindeki harmoniklerini azaltıldığı açıkça görülmektedir.



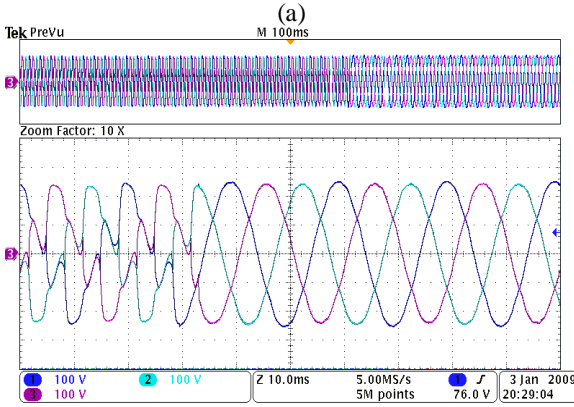
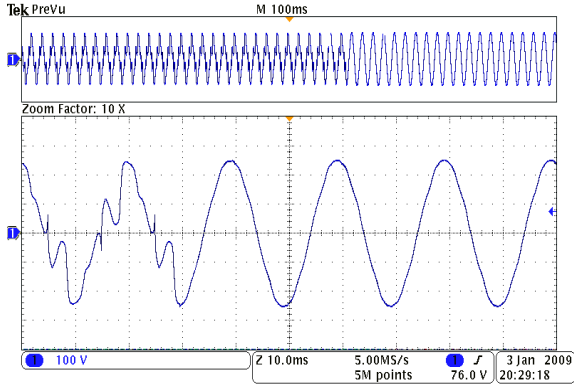
Şekil 8: BGKD deneysel düzeneğinin resmi.



Şekil 9: Kaynak akımının ( $i_{Sabc}$ ) filtre öncesi ve sonrası deneysel sonuçları.

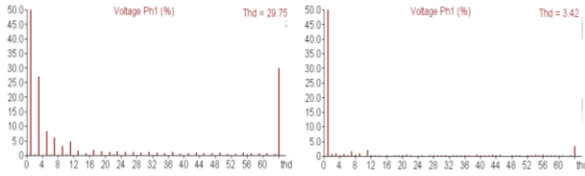


Şekil 10: Kaynak akımı  $i_{Sa}$  filtre öncesi ve filtre sonrası harmonik dağılımı



(b)

Şekil 11: Yük gerilimi  $v_{Yabc}$  (a- tek faz b- üç faz) filtre öncesi ve sonrası deneysel sonuçlar



Şekil 12: Yük gerilimi  $v_{Yabc}$  filtre öncesi ve filtre sonrası harmonik dağılımı

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmada, sadece yük uçlarında görülen gerilim dalgalanması, dengesizliği ve kırışmasının giderilmesinde değil aynı zamanda doğrusal olmayan yüklerin meydana getirdiği akım harmoniklerinin kompanzasyonunda kullanılan BGKD için geliştirilen denetim algoritmasının simülasyonu ve deneysel sonuçları verilmektedir. Simülasyon çalışmaları BGKD devreye girmeden önce ve sonra olmak üzere iki aşamalı gerçekleştirilmektedir. Sistemin dinamik cevabını test etmek üzere %50 yük artışı da yapılmaktadır. Dengesiz ve harmonikli kaynak gerilimi ve dengesiz yük akımı durumu ayrı test edilmektedir. Simülasyonlarda geliştirilen BGKD denetim algoritması ile kabul edilebilir seviyede sonuç elde edilmiştir. Ayrıca deneysel uygulama sonuçlarında

kaynak akımında görülen harmoniklerin giderildiği, yük gerilimindeki harmonikleri azaltıldığı açıkça görülmektedir.

## 7. Teşekkür

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

## 8. 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.
- [8] Dusan 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).