

Yük Akım Harmoniklerinin ve Şebeke Gerilim Çökmelerinin Birleşik Güç Kalitesi Düzelticiyle Düzeltimi

Load Current Harmonics and Line Voltage Sag Compensation By Means of The Unified Power Quality Conditioner

Ahmet M. Hava¹

Osman Selçuk Şentürk²

¹Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnönü Bulvarı, Balgat, 06531 Ankara
hava@metu.edu.tr

²Department of Energy Technology
Aalborg University, Pontoppidanstraede 101/47, 9220 Aalborg East, Danimarka
oss@iet.aau.dk

Özet

Sırt sırta bağlı seri etkin süzgeç (SES) ve paralel etkin süzgeçten (PES) oluşan birleşik güç kalitesi düzeltici (BGKD), şebeke ve/veya yük kaynaklı güç kalitesi sorunlarını şebeke ve yükü birbirinden yalıtarak çözen ve her iki tarafta yüksek güç kalitesi başarımı sağlayan güç elektroniği devresidir. BGKD, şebeke gerilimindeki çökme, yükselme, dengesizlik, harmonik ve dalgalanma problemlerini SES ile düzelterek yüke temiz gerilim aktarır. Yük akımının tepkin, dengesizlik ve harmonik bileşenlerini PES ile karşılayarak şebekeden temiz akım çeker. Bu çalışmada, BGKD'nin çalışma ilkesi anlatılacak, 10 kW üç-faz diyotlu doğrultucu yük uygulaması için tasarlanıp ilkörneği üretilen BGKD'nin şebeke gerilimi çökmesine karşı düzeltimi ve yük akımı harmonik ve tepkin bileşenlerine karşı düzeltimi incelenecek ve deneysel başarımlar raporlanacaktır.

Abstract

Consisting of the back to back connected parallel active filter (PAF) and series active filter (SAF), the unified power quality conditioner (UPQC) solves the power quality problems caused by the power line and/or the load and provides high power quality at both ends by means of isolating the line and the load. The line voltage sag, swell, unbalance, harmonic distortion, and flickering problems are solved by SAF and clean load voltage is provided. The load reactive, imbalance, and harmonic currents are compensated by PAF such that the line current becomes clean. In this work, the UPQC operating principle is reviewed, and the line voltage sag and load reactive and harmonic current compensation performance of the UPQC, which has been designed and prototyped for three-phase 10 kW diode rectifier load application, is investigated and the experimental performance is reported.

1. Giriş

Günümüzde elektrik şebekesinden beslenen yüklerin çoğunluğu enerjiyi şebekeden doğrudan değil, güç elektroniği şartlandırıcıları üzerinden alır. Bunda amaç, uygulamaya bağlı olarak çeşitlilik göstermekle beraber, çoğunlukla yüksek enerji verimliliği ve/veya yüksek sistem başarımıdır. Güç

elektroniği şartlandırıcıların önemli bir kısmı, diyotlu/tristörlü doğrultucu tipi AC/DC dönüştürücüler ve triyaklı kıyıcı gibi AC/AC dönüştürücülerden oluşup, şebekeden çektikleri yoğun harmonikli ve tepkin bileşenli akımlar ile yapılarındaki anahtarlama devreleri nedeniyle doğrusal olmayan yük olarak adlandırılırlar. Bu yüklerle bağlı olarak dünya genelinde ve özellikle sanayileşmiş ülkelerde elektrik şebekeleri son birkaç on yılda önemli ölçüde kirlenmiştir. Harmoniklerden kaynaklı kayıp ve rezonanslar, tepkin akımlardan kaynaklı aşırı yüklenmeler şebekeyi zayıflatarak müşterilere harmonikli ve kesintili gerilim verilmesine ve müşterilerde önemli iş aksamalarına ve maddi zararlara neden olmuştur. Güç kalitesi tanımı ve güç kalitesi standartları bu ortamda doğmuş [1] ve yetkin kurumlar yakın zamanda uygulamaya başladıkları yaptırımlarla üretici ve yüklerin olabildiğince temiz bir şebeke koşulunda enerji alışverişini amaçlamıştır [2]. Son on yılda sanayisi hızla büyüyen Türkiye'de de benzer bir gelişimin izlenmesi dikkate değerdir. Çoğunlukla güç elektroniği yüklerinden kaynaklanan bu problemlere en kökten ve en ekonomik çözüm yine güç elektroniği kaynaklıdır.

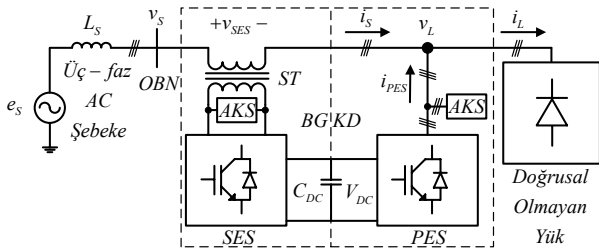
Yakın zamanda, güç elektroniği teknolojilerine dayalı ve genellikle bir taraftaki güç kalitesi probleminin diğer tarafa yansımamasını sağlayan çeşitli aygıtlar geliştirilmiştir [3]. Harmonik akım kaynağı davranışı gösteren doğrultucular için paralel etkin süzgeç (PES), harmonik gerilim kaynağı davranışlı yükler için seri etkin süzgeç (SES), gerilim çökmesi problemleri için dinamik gerilim düzeltici (DGD), vb. topoloji ve denetim yöntemleri geliştirilmiş ve özellikle PES sanayide yaygınca kullanım bulmuştur. Ancak tüm bu yapılar güç kalitesi problemlerini kısmen çözmektedir.

Özellikle hem güç kalitesi gereksinimi yüksek olan hem de şebekede güç kalitesi sorunları yaratan onlarca kilovat ve üstü yük uygulamaları için yukarıdakilerden daha etkin bir çözüm gerekli olup, bu amaçla PES ve SES'in sırt sırta bağlanmasından oluşan birleşik güç kalitesi düzelticisi (BGKD) [4] geliştirilmiştir. Bu çalışmada BGKD'nin çalışma ilkesi anlatılacak ve 10 kW üç-faz diyotlu doğrultucu yük uygulaması için ilkörneklenen BGKD'nin em temel ve yaygın güç kalitesi problemleri olan şebeke gerilimi çökmesine ve yük akımı harmonik ve tepkin bileşenlerine karşı düzeltimi incelenecek ve deneysel başarımlar raporlanacaktır [5], [6].

2. BGKD Çalışma İlkesi

Özgün adı “Unified Power Quality Conditioner” (UPQC) olan BGKD'nin devre diyagramı ve şebekeye bağlantı biçimi Şekil 1'de gösterilmiştir. SES şebekede ortak bağlama noktası (OBN) ile yük arasında seri bağlanırken, PES yüke paralel bağlıdır. BGKD yapısında PES ve SES farklı devrelerle gerçekleştirilir. PES, üç-faz üç-iletken uygulamalarında üç-faz üç-bacaklı gerilim kaynaklı evirici ile gerçekleştirilir. Dört-iletken uygulamasında ise dört bacaklı evirici kullanılır. PES eviricisi şebekeye indüktans süzgeçler üzerinden doğrudan bağlanır. SES ise izolasyon trafosu ile seri düzeltim yaptığından faz başına transformator gerektirir. Transformator birincil sargılarına üç adet tek-faz veya bir adet dört bacaklı gerilim kaynaklı eviriciden düzeltme gerilimi uygulanır.

BGKD'nin işlevleri SES ve PES arasında görev bölüşümü yapılarak gerçekleştirilir. Bu işlevler ve sınırlamaları Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1: BGKD güç devresi ve şebeke ile yük arasında yerleşimi.

Tablo 1: Güç kalitesi sorunları, BGKD'nin düzeltimden sorumlu birimleri ve sınırlamaları

Güç Kalitesi Sorunu	PES	SES	Sınırlamalar
Şebeke/yük gerilim harmoniği		√	SES bantgenişliği
Şebeke gerilim dalgalanması		√	$C_{DC} + kVA_{SES}$
Şebeke gerilim çökmesi		√	kVA_{SES}
Şebeke gerilim dengesizliği		√	kVA_{SES}
Yük akım harmoniği	√		PES bantgenişliği
Yük tepkin akımı	√		kVA_{PES}
Yük dengesizlik akımı	√		kVA_{PES}

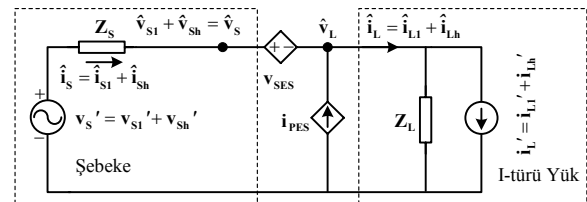
SES programlanabilir bir gerilim kaynağı gibi davranıp şebeke ve yük arasında istenilen bir gerilimi üretebilir. Şebeke gerilimindeki düşük frekansta dalgalanma (flicker) ve yüksek frekansta dalgalanma (harmonik) etkilerini, çökme, yükselme ve dengesizlikleri algılayıp, bu bozulmaların yüke yansımaları engellemek amacıyla karşı doğrultuda ve eşit şiddette gerilimleri seri transformator üzerinden uygular ve her koşulda yüke anma geriliminin uygulanmasını sağlar. Gerilim harmoniği üreten yük uygulamasında yükün gerilim harmoniklerini de şebekeden aynı biçimde yalıtılarak harmonik akımlarını engeller. Şebeke akımı ve SES gerilimi aynı frekansta bileşen içerirse (örneğin gerilim çökmesi düzeltiminde) SES ile şebeke arasında güç akışı gerçekleşir. Etkin güç akışı durumunda BGKD'nin DC barası ile şebeke/yük arasında enerji alışverişi söz konusu olup, bu durumda ya DC barada enerji kaynağı (deposu) olmalı ya da PES güç akış dengesini sağlamalıdır. Uygulamada genellikle

enerji kaynağı kullanılmaz ve DC barada elektrolitik tip kondansatörler kullanılır. Bu durumda PES DC barayı ve dolayısıyla güç akışını denetleme görevini üstlenir. Üç fazda toplam tepkin güç sıfır değilse ya da SES'in farklı frekansta akım ve gerilim bileşenleri varsa, bu bileşenlerden kaynaklanan sıfır ortalama değerli güç DC bara geriliminde salınımına neden olur. Salınımın şiddetine bağlı olarak ya DC bara kondansatör boyutu artırılır ya da bu güç PES ile karşılanır. Enerji deposuz PES bu salınımlı gücü karşıladığında şebeke akımında bozulma kaçınılmazdır.

BGKD yapısında PES'in temel görevleri, DC bara gerilimini denetleme görevine ek olarak, yük akımındaki harmoniklerin, temel frekansta tepkin akımın ve negatif bileşenlerin düzeltimidir. Dört iletkenli sistemde PES ile sıfır bileşenler de denetlenebilir. Çıkışı indüktans süzgeçli diyotlu doğrultucu türü yük uygulamasında PES'in temel görevi yük akım harmoniklerinin karşılanmasıdır ve az bir miktar tepkin akım düzeltimi gerekir. Tristörlü doğrultucu ve büyük ateşleme açısı ($\alpha >> 0$) uygulamalarında çekilen önemli miktardaki tepkin güçle orantılı olan tepkin akımı da PES karşılar. Doğrultucu dengesiz ateşleme açıları veya dengesiz yük fazları ile çalışırken oluşan negatif bileşen akımını da PES karşılar ve temiz şebeke akımı elde edilir.

3. BGKD'de Modelleme ve Düzeltim Analizi

Bu çalışmada BGKD'nin uygulamada en yaygın olan akım harmonik kaynağı türü (I-türü) diyotlu doğrultucu yük uygulaması için düzeltimi incelenecektir. BGKD, şebeke ve yükün tek-faz Norton eşdeğer devresi Şekil 2'de görülmektedir. Bu şekilde, Z_S ve Z_L , şebeke ve yükün impedanslarını gösterir. Gerilimler ve akımlar, harmonik ve temel bileşenlerin toplamı ile tanımlanır. Örneğin, yük akımı (i_L), yük temel bileşen (i_{L1}) ve yük harmonik (i_{Lh}) akımlarının toplamıdır. Şebeke gerilimi (v_S) ve şebeke akımı (i_S) da aynı şekilde belirtilir. Şapkalı (^) işaretler, ölçülen veya ölçülüp ayrıştırılan işaretler ve tırnaklı (') işaretler doğrudan ulaşılamayan iç büyüklüklerdir.



Şekil 2: BGKD, şebeke ve I-türü yükün tek-faz eşdeğer devresi.

3.1. Harmonik Denetimi

BGKD, yük harmonik akımının (i_{Lh}) şebekeye akmasını engellemek için PES ile bu harmonik akımını yük tarafında sağlar. Dolayısıyla, PES'in üreteceği akımın referans değeri (i_{PESh}^*) yük harmonik akımına eşit olup anlık değer olarak (1)'de verilmiştir. Eşdeğer devrenin SES'in harmonik gerilimi üretmediği durum için ($V_{SESh} = 0$) frekans bölgesinde çözümlenmesi ile (2)'de görüldüğü gibi $I_{PES}^* = I_{Lh}$, $Z_L \gg Z_S$ ve $V_{Sh} = 0$ koşulunda şebeke harmonik akımının (I_{Sh}) sıfır olacağı görülür. Fakat uygulamada bu koşullar, PES'in sınırlı bantgenişliği nedeniyle tamamen yük harmonik akımını üretememesi ve harmonikli şebeke gerilimi yüzünden

tamamen sağlanamaz. Bu yüzden, SES'in şebeke harmonik akımı (i_{Sh}) için bir sanal direnç (K_{hi}) davranışı göstererek (3)'teki gibi anlık değer olarak üreteceği gerilimin (v_{SESh}) kullanılması ve eşdeğer devrenin frekans bölgesinde tekrar çözümlenmesiyle, (4)'te görüldüğü gibi yük ile şebeke arasındaki impedansın artırılması şebeke harmonik akımının daha da azaltılmasını sağlar.

$$\hat{i}_{PESh}^* = \hat{i}_{Lh} \quad (1)$$

$$I_{Sh} = (I'_{Lh} - I_{PESh}^*) \frac{Z_L}{Z_S + Z_L} + \frac{V'_{Sh}}{Z_S + Z_L} \quad (2)$$

$$\approx (I'_{Lh} - \hat{i}_{Lh}) \frac{Z_L}{Z_S + Z_L} + \frac{V'_{Sh}}{Z_S + Z_L} \approx 0$$

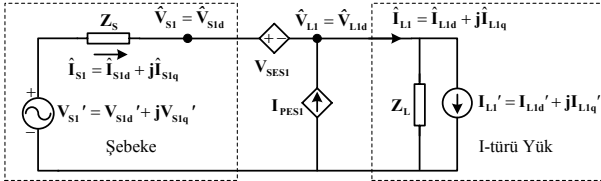
$$v_{SESh}^* = K_{hi} \cdot \hat{i}_{Sh} \quad (3)$$

$$I_{Sh} = (I'_{Lh} - I_{PESh}^*) \frac{Z_L}{Z_S + Z_L} + \frac{V'_{Sh} - v_{SESh}^*}{Z_S + Z_L} \quad (4)$$

$$\approx (I'_{Lh} - \hat{i}_{Lh}) \frac{Z_L}{K_{hi} + Z_S + Z_L} + \frac{V'_{Sh}}{K_{hi} + Z_S + Z_L} \approx 0$$

3.2. Temel Bileşen Denetimi

BGKD'nin temel bileşen denetimini açıklamak üzere şebeke, yük ve BGKD'nin temel frekansta Norton eşdeğer devresi, her bir akım ve gerilimin etkin ve tepkin bileşenleri ile şebeke gerilimi temel bileşeni (V_{S1}) referans alınarak Şekil 3'te gösterilmiştir. Örneğin, yük temel bileşen akımı (I_{L1}), yük temel bileşen etkin (I_{L1d}) ve tepkin (I_{L1q}) akımlarının karmaşık düzlemde toplamıdır. Bu etkin ve tepkin bileşen gösteriminde şebeke gerilimi referans alınmış olduğu için V_{S1} 'in tepkin bileşeninin sıfır olduğu ve SES tamamen etkin gerilim ürettiği ($V_{SES1q} = 0$) için V_{L1} 'in tepkin bileşeninin sıfır olduğu kabul edilmiştir ($V_{S1q} = V_{L1q} = 0$).



Şekil 3: Temel frekansta BGKD, şebeke ve I-türü yükün tek-faz eşdeğer devresi.

BGKD ile temel bileşen denetimi üçe ayrılır: PES'in temel bileşen frekansında yükün çektiği tepkin gücü karşılaması, SES'in şebeke gerilimindeki temel bileşen bozulması esnasında yük gerilimini anma değerinde ($V_{L1} = V_{L1d}$) tutması ve PES'in bu bozulma esnasında SES'in sağladığı gerçek gücü karşılaması. Bu üç kısım şu şekilde açıklanabilir. Şebekeden tepkin güç çekilmemesi ($I_{S1q} = 0$) için PES, yük akımının tepkin kısmını tepkin akım referansı (I_{PES1q}^*) olarak kullanır (5). Bu durumda PES ile yük arasındaki tepkin güç akışı (Q_{PES}) (6)'da görülür. Eğer şebeke temel bileşen geriliminde ΔV_{S1d} büyüklüğünde bir sapma olursa SES, bu bozulmanın ters işaretlisi kadar bir gerilimi (7)'de görüldüğü gibi üreterek yük geriliminin anma değerinde kalmasını sağlar. Bu bozulmanın düzeltilmesi için SES'ten sağlanan etkin güç (P_{SES}), (8)'de verildiği gibi

şebeke akımı ve SES geriliminin çarpımına eşittir. PES ile yükün tepkin akımı tamamen karşılandığı ($I_{S1q} = 0$) için SES üzerinden tepkin güç akışı olmaz ($Q_{SES} = 0$). P_{SES} ise BGKD'de enerji depolama birimi olmadığı için PES tarafından sağlanmalıdır. Bu durumda PES'in etkin akım referansı (I_{PES1d}^*), PES ve SES arasındaki etkin güç ilişkisi (9) ile (10)'daki gibi bulunur. PES'in toplam akım referansı ise I_{PES1d}^* ve I_{PES1q}^* değerlerinin karmaşık düzlemde toplamıdır (11).

$$I_{PES1q}^* = \hat{I}_{L1q} \quad (5)$$

$$Q_{PES} = \hat{V}_{L1d} \cdot \hat{I}_{L1q} \quad (6)$$

$$V_{SES1}^* = -\Delta V_{S1d} \quad (7)$$

$$P_{SES} = -\Delta V_{S1d} \cdot I_{S1d} \quad (8)$$

$$P_{PES} = I_{PES1d}^* \cdot \hat{V}_{L1d} = P_{SES} = V_{SES1}^* \cdot \hat{I}_{S1d} \quad (9)$$

$$I_{PES1d}^* = \frac{-\Delta V_{S1d} \cdot I_{S1d}}{V_{L1d}} \quad (10)$$

$$I_{PES1}^* = I_{PES1d}^* + jI_{PES1q}^* \quad (11)$$

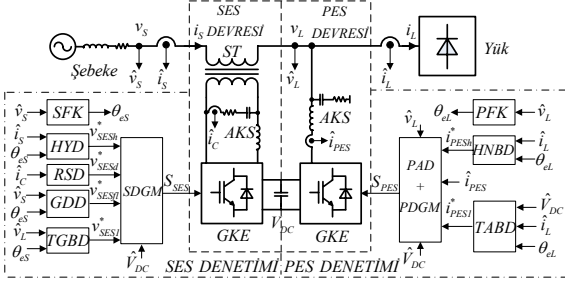
4. BGKD Denetim Yöntemi

Bir önceki bölümde anlatılan işlevlerin gerçekleşmesi için, BGKD'de PES ve SES için birbirinden bağımsız fakat birbirini destekleyen denetim algoritmaları gereklidir. PES tarafında pozitif temel bileşen için 'de-qe' çatısında bir vektör denetçi ve diğer bileşenler (harmonik ve negatif temel bileşen) için ortak bir vektör denetçi tasarlanır. SES tarafında her bir bozucu etken için ayrı bir vektör denetçi kullanılır. Söz konusu denetçiler ve diğer yardımcı denetçiler Şekil 4'te basitleştirilmiş BGKD güç devresi ile birlikte gösterilmiştir.

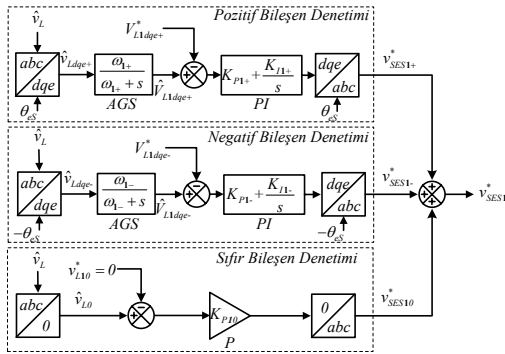
SES'in denetim birimleri; temel gerilim bileşeni deneteci (TGBD), gerilim dalgalanması deneteci (GDD), harmonik yalıtım deneteci (HYD), rezonans sönümleme deneteci (RSD), SES darbe genişlik modülatörü (SDGM) ve SES faz kilidi (SFK) birimleridir. TGBD, yük gerilimi geribeslemesini Şekil 5'te görüldüğü gibi pozitif, negatif ve sıfır simetrik bileşen bozulmalarını ayrıştırarak ve oransal+integral (PI) denetçiler kullanarak yük gerilimini anma değerinde tutacak referans gerilimini (v_{SES1}) üretir. GDD ise şebeke gerilimi (v_S) üzerindeki dalgalanmaları Şekil 6'daki yapıda algılayıp düzeltim sağlar. Şekilde görüldüğü gibi 'de-qe' çatısında çok düşük kesme frekanslı (1-2 Hz) YGS'den geçen şebeke gerilimlerinden temel bileşen ayıklanır ve ardından yüksek frekanslı bileşenleri de elemek için AGS kullanılıp alçak frekanstaki dalgalanma gerilimi v_{SES1c}^* elde edilir. HYD ise Şekil 7'de görüldüğü gibi, şebeke akımını (i_S) 'de-qe' çatısında YGS ile ayrıştırarak K_{hi} ile yükseltgeyip v_{SESh} harmonik yalıtım gerilimini üretir.

PES'in denetim birimleri ise harmonik ve negatif bileşen deneteci (HNBD), DC bara gerilimi ve tepkin güç deneteci kısımlardan oluşan temel akım bileşeni deneteci (TABD), PES akımı deneteci (PAD), PES DGM (PDGM) ve PES FK (PFK) birimleridir. HNBD, Şekil 8'de görüldüğü gibi yük akımının harmonik ve negatif bileşenlerini, 'de-qe' çatısında YGS'ler ile elde ederek i_{PES1}^* 'yi üretir. TABD ise DC bara gerilimi deneteci ve tepkin akım denetecinden oluşur. DC bara gerilimi deneteci, PI deneteci ile 'de' ekseninde referans akım işaretini (I_{DCde}^*) üretirken, tepkin akım deneteci yük akımı üzerindeki tepkin bileşeni AGS ile ayrıştırarak 'qe'

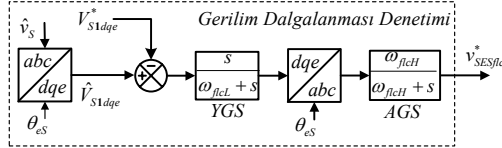
ekseninde I_{Lqe}^* 'yi üretir. Bu iki referans işaretin vektör toplamı TABD referans akım işaretidir (i_{PES1}^*). PAD olarak ise ölçülen PES akımı ile i_{PES}^* arasındaki hatayı sıfırlamak için yüksek başarılı ve kolay uygulanabilir bir yöntem olan doğrusal akım denetici (DOAD) kullanılır ve v_{PES}^* üretilir. Ardından PDGM bunu gerçekleştirir.



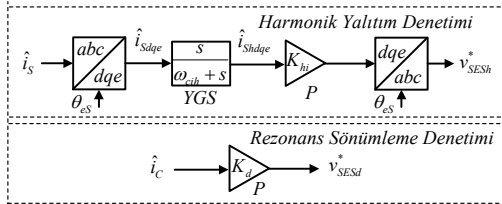
Şekil 4: BGKD devresi ve denetçileri.



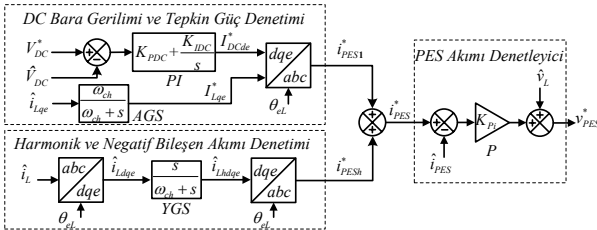
Şekil 5: SES'in temel gerilim bileşeni deneteci.



Şekil 6: SES'in gerilim dalgalanması deneteci.



Şekil 7: SES'in harmonik yalıtım ve rezonans sönümlenme denetçileri.



Şekil 8: PES'in denetçi diyagramı.

5. BGKD Deneysel Sonuçları

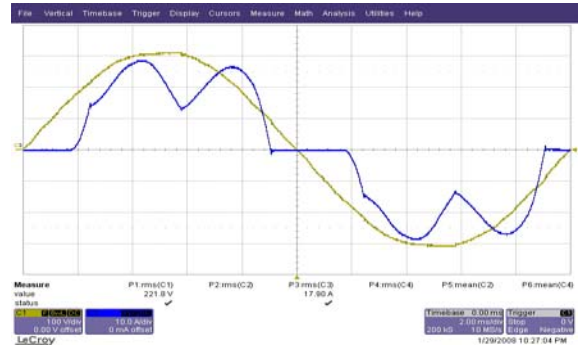
BGKD'nin başarımı, Şekil 9'da görülen 380 V_{rms} fazarası gerilimli, 50 Hz, 10 kW anma değerli BGKD ilkörneği ile yapılan deneylerle gözlenmiştir [6]. Bu ilkörnekte 10 kW'lık diyotlu doğrultucu ($L_{AC} = 1.43$ mH, $L_{DC} = 1.46$ mH, $C_{DC} = 2.2$ mF) için tasarlanmıştır. BGKD DC bara anma gerilimi 700 V olup SES ve PES eviricileri 20 kHz anahtarlama frekansı ile sürülmektedir. Bu eviricilerin anahtarlama kısırtı süzgeci (AKS) indüktör ve kondansatör değerleri SES ve PES için sırasıyla 2.2 mH ve 2 μ F ile 2 mH ve 2 μ F'tır.

BGKD çalışmazken şebeke akımı ve gerilimi dalga şekilleri Şekil 10'da görülmektedir. Şebeke akımı toplam harmonik bozulması (THB₁) %32.5'tir. Şekil 11, sadece PES'in devreye girmesi ile elde edilen şebeke gerilimi ile şebeke, yük ve PES akımlarını göstermektedir. PES'in harmonik akım düzeltimi yaptığı bu durumda, THB₁, %4.3'e düşürülmüştür. SES'in de devreye girmesi ile THB₁ %3.6'ya kadar gerilemiştir. BGKD'nin tam olarak ve %95 enerji verimi ile çalıştığı bu durumda şebeke akımı ile şebeke ve SES gerilimi dalga şekilleri Şekil 12'de verilmiştir.

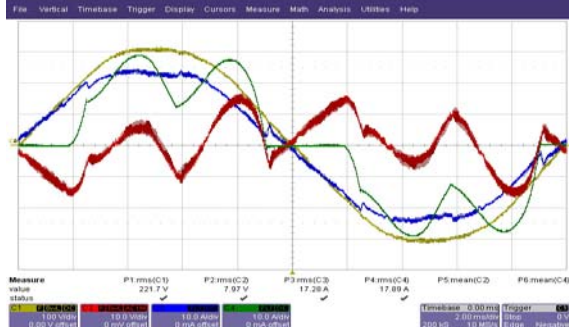
BGKD'nin 200 ms'de %30'luk üç-faz dengeli gerilim çökmesine karşı dinamik tepkisi, Şekil 13'te verilmiştir. Büyük şebeke gerilimi çökmesine rağmen yük gerilimi ve akımı %2'den az çökmekte, fakat yük geriliminin düzeltimi için gerekli güç şebekeden çekildiği için şebeke akımı artmaktadır. Bu durumda kararlı halde şebeke gerilimi ve akımı ile SES gerilimi ve PES akımı Şekil 14'te verilmiştir. Bu koşulda BGKD'nin verimi %90.8 olarak ölçülmüştür. %30'luk tek-faz şebeke gerilimi çökmesine karşı BGKD'nin düzeltimi ise Şekil 15'teki şebeke ve yük gerilimi dalga şekillerinden ve ayrıntılı negatif/sıfır bileşen analizlerinden görülmektedir. Bu koşuldaki BGKD verimi %93.9'dur.



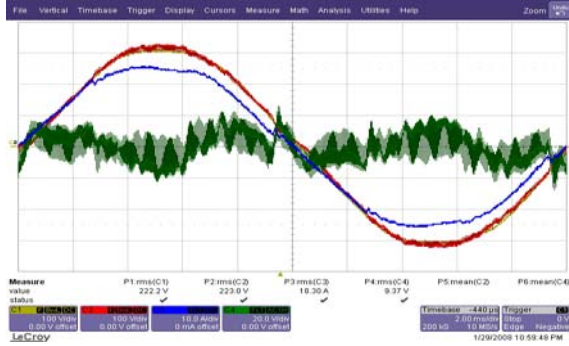
Şekil 9: BGKD'nin prototipi ve laboratuvar ortamında BGKD sisteminin tam yükte çalışırken görüntüsü.



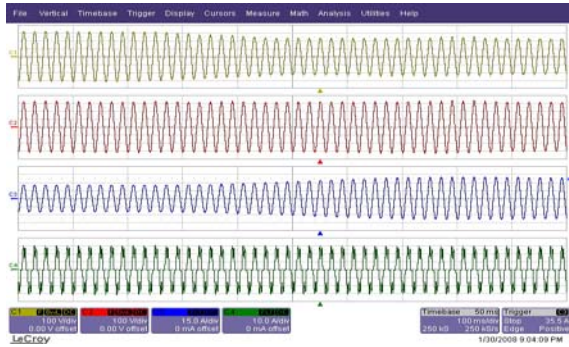
Şekil 10: BGKD çalışmazken 10 kW diyotlu doğrultucu yük için şebeke gerilimi (sarı) ve akımı (mavi) dalga şekilleri.



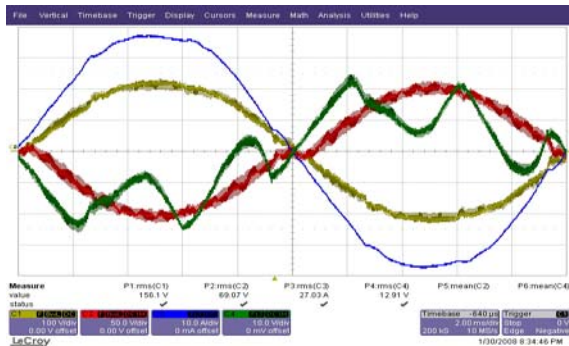
Şekil 11: Sadece PES etkinken şebeke gerilimi (sarı), şebeke akımı (mavi), yük akımı (yeşil) ve PES akımı (kırmızı).



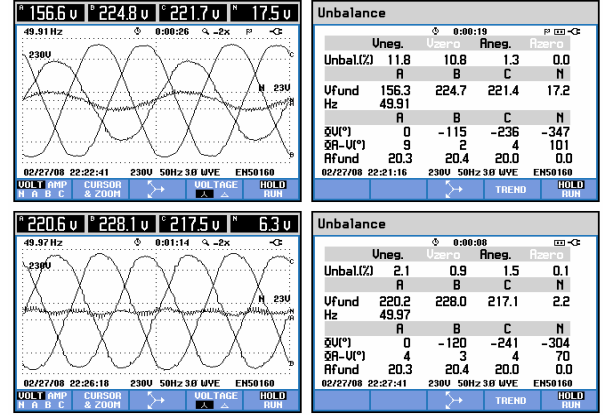
Şekil 12: BGKD tam etkinken şebeke gerilimi (sarı), şebeke akımı (mavi), SES gerilimi (yeşil) ve yük gerilimi (kırmızı).



Şekil 13: Şebeke geriliminde üç-faz dengeli %30'luk çökme esnasında BGKD'nin yük gerilimi düzeltimi. Üstten alta: şebeke gerilimi, yük gerilimi, şebeke akımı ve yük akımı.



Şekil 14: Şebeke geriliminde üç-faz dengeli %30'luk çökme varken şebeke gerilimi (sarı), şebeke akımı (mavi), SES gerilimi (kırmızı) ve PES akımı (yeşil).



Şekil 15: Şebeke geriliminde %30 tek-faz gerilim çökmesi için üç-faz şebeke gerilimleri (üst-sol), şebeke gerilimi ve akımındaki negatif ve sıfır bileşenler (üst-sağ), üç-faz yük gerilimleri (alt-sol) ve yük gerilimi ile şebeke akımındaki negatif ve sıfır bileşenler (alt-sağ).

6. Sonuçlar

Birleşik güç kalitesi düzelticisi (BGKD), hem yüksek güç kalitesi gerektiren, hem şebeke güç kalitesini bozan büyük güçlü yük uygulamaları için geliştirilmiş üstün bir güç elektroniği şartlandırıcıdır. Bu çalışmada BGKD'nin çalışma ilkesi ve düzeltim sağlayan denetç yapıları incelenmiştir. 10 kW üç-faz diyotlu doğrultucu yük uygulaması için ilkörneklenen BGKD'nin en temel ve yaygın güç kalitesi problemleri olan şebeke gerilimi çökmesi ile yük akımı harmonik ve tepkin bileşenlerine karşı düzeltimi deneysel olarak doğrulanmıştır. BGKD yüke sağladığı yüksek kaliteli gerilim, ve şebekeden çekilen bir güçkatsayılı ve %5'ten az akım toplam harmonik bozulmalı akım ile hem yük hem şebeke tarafında üstün güç kalitesi sergilemektedir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK EEEAG birimi tarafından 104E141 nolu proje [6] kapsamında desteklenmiştir.

Kaynakça

- [1] Dugan, R.C., McGranaghan, M.F., Santoso, S. Santoso ve Beaty H.W., *Electrical power systems quality*, McGraw-Hill, ikinci baskı, 2002.
- [2] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems IEEE Std 519-1992.
- [3] Akagi, H., Watanabe E.H. ve Aredes M., *Instantaneous power theory and application to power conditioning*, IEEE Press - Wiley, 2007.
- [4] Fujita, H. ve Akagi, H., "The unified power quality conditioner: The integration of series- and shunt- active filters," *IEEE Trans. Power Electron.*, Cilt No.13, s.315-322, Mart 1998.
- [5] Hava, A.M. ve Şentürk, O.S., "Yük ve Şebeke Dostu Birleşik Güç Kalitesi Düzenleyicisinin Yapısı, İşlevleri, Güç Akışı ve Güç Kalitesinin Denetimi," EVK 2007, II. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 17-18 Mayıs 2007, Kocaeli, s. 99-104.
- [6] Hava, A.M., Şentürk, O.S., Özkaya, H. ve Uslu, M., "Üç Fazlı 10 kVA Birleşik Güç Kalitesi Düzelticisinin Geliştirilmesi," TÜBİTAK EEEAG-104E141 proje raporu, Mart 2008.