

4-KOLLU 4-TELLİ BİRLEŞİK SERİ-PARALEL AKTİF FİLTRE İLE 3-FAZ 4-TELLİ SİSTEMLERDE GÜÇ KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Mehmet Uçar¹

Şule Özdemir²

Engin Özdemir³

¹Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, Elektrik Programı, Uzunmustafa Mh., 81010, Düzce

^{2,3}Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, Umuttepe, 41380, Kocaeli

mehmetucar@duzce.edu.tr

sozaslan@kocaeli.edu.tr

eoedemir@kocaeli.edu.tr

ÖZET

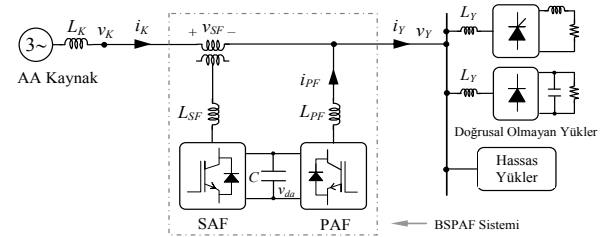
Bu çalışmada, 3-faz 4-telli sistemlerde hem şebeke hem de yük tarafında yüksek güç kalitesi sağlamak amacıyla 4-kollu 4-telli Birleşik Seri-Paralel Aktif Filtre (BSPAF) sisteminin denetimi ve uygulanması açıklanmaktadır. 4-kollu 4-telli BSPAF sisteminin denetimi için tek-faz veya 3-faz, sinüzoidal veya sinüzoidal olmayan, periyodik veya periyodik olmayan, dengeli veya dengesiz sistemlerde geçerli olan genelleştirilmiş aktif olmayan güç teorisi kullanılmıştır. BSPAF sisteminin gerçek zamanlı denetimi dSPACE DS1103 denetleyici kartı ile yapılmıştır. Laboratuvarında kurulan 3-faz 4-kollu 4-telli BSPAF sistemi test platformu ile kaynak gerilim harmoniği ve aynı zamanda dengesiz-doğrusal olmayan akım kompozasyonu deneysel olarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aktif filtre, güç kalitesi, nötr akımı, dengesizlik, harmonik.

1. GİRİŞ

Elektrik güç sistemlerinde, değişken hızlı motor sürücüleri, hat komutasyonlu 3-faz tristör temelli doğrultucular, ark fırınları, kaynak makineleri, anahtarlamalı güç kaynakları gibi doğrusal olmayan yüklerin ve güç elektroniği dönüştürücülerinin yaygın kullanımı güç kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır [1,2]. Bu çalışmada, 3-faz 4-telli sistemlerde 4-kollu 4-telli BSPAF ile güç kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. BSPAF sistemi, ortak bir Doğru Akım (DA) barasına bağlı Paralel Aktif Filtre (PAF) ve Seri Aktif Filtre (SAF) olmak üzere iki güç elektroniği biriminden oluşmaktadır [3,4]. PAF birimi akım ile ilgili güç kalitesi problemlerini kompanze etmekte ve DA-bara gerilimini regüle etmektedir. SAF birimi ise gerilim ile ilgili güç kalitesi problemlerini ortadan kaldırmaktadır. Bu sayede BSPAF sistemi ile üretim süreçlerinde, fabrikalar ve tesislerde üretkenliğin artırılması, etkinlik, güvenlik ve kalite unsurlarının iyileştirilmesi açısından oldukça iyi bir çözüm sunulmaktadır. 3-faz 4-telli uygulamalarda geleneksel 3-kollu 4-telli BSPAF sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [5]. Ancak DA barada iki kondansatör bulunan bu sistemlerde kondansatörler üzerindeki gerilimlerin dengelenmesi

problemi en önemli dezavantajdır. Bu çalışmada test edilen 4-kollu 4-telli BSPAF sistemi ile dengesizlik durumunda ortaya çıkan nötr akımı ilave edilen dördüncü IGBT (insulated gate bipolar transistor) kolu ile kompanze edilmektedir. Şekil 1'de BSPAF sistemi genel blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 1. BSPAF sistemi genel blok diyagramı

2. DENETİM TEKNİĞİ

Bu bölümde, genelleştirilmiş aktif olmayan güç teorisi [6] ve bu teoremin 4-kollu 4-telli BSPAF sisteminin SAF ve PAF birimlerinde denetim tekniği olarak uygulanması açıklanmaktadır. Genelleştirilmiş aktif olmayan güç teorisinde hesaplanan anlık güç $p(t)$ ve $[t-T_c, t]$ zaman aralığında ortalama güç $P(t)$ sırasıyla (1) ve (2) denkleminde verilmektedir.

$$p(t) = v^T(t) i(t) = \sum_{k=1}^m v_k(t) i_k(t) \quad (1)$$

$$P(t) = \frac{1}{T_c} \int_{t-T_c}^t p(\tau) d\tau \quad (2)$$

Anlık aktif akım $i_a(t)$ ve anlık aktif olmayan akım $i_{ao}(t)$ sırasıyla (3) ve (4) denklemlerindeki gibi belirlenmektedir. Referans gerilim $v_r(t)$ etkin değeri $V_r(t)$ (5) denkleminde verilmektedir.

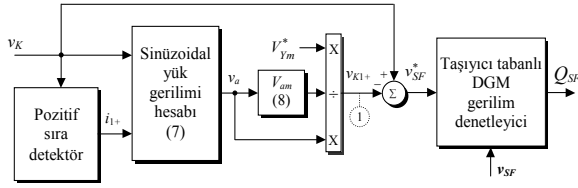
$$i_a(t) = \frac{P(t)}{V_r^2(t)} v_r(t) \quad (3)$$

$$i_{ao}(t) = i(t) - i_a(t) \quad (4)$$

$$V_r(t) = \sqrt{\frac{1}{T_c} \int_{t-T_c}^t v_r^T(\tau) v_r(\tau) d\tau} \quad (5)$$

2.1. SAF Denetim Tekniği

Şekil 2’de SAF denetim blok diyagramı görülmektedir. SAF denetim stratejisinde, pozitif-sıra detektör, genelleştirilmiş aktif olmayan güç teorisi için referans akım $i_r(t)$ olarak kullanılacak yardımcı denetim sinyallerini (i_{a1+} , i_{b1+} , i_{c1+}) üretmektedir. Kaynak gerilimleri (v_{Ka} , v_{Kb} , v_{Kc}) ve referans akımlar (i_{a1+} , i_{b1+} , i_{c1+}) kullanılarak $[t-T_c, t]$ ortalama zaman aralığında ortalama güç değeri $P(t)$ (2) denklemi ile hesaplanmaktadır. Aynı zamanda bu referans akımın $i_r(t)$ etkin değeri $I_r(t)$ (6) denklemine verilmektedir. Sinüzoidal yük gerilimi $v_a(t)$ (7) denklemi ile elde edilmektedir [7].



Şekil 2. SAF denetim blok diyagramı

$$I_r(t) = \sqrt{\frac{1}{T_c} \int_{t-T_c}^t i_r^T(\tau) i_r(\tau) d\tau} \quad (6)$$

$$v_a(t) = \frac{P(t)}{I_r^2(t)} i_r(t) \quad (7)$$

Nominal yük gerilimini (v_{K1+}) elde etmek için Şekil 2’de görüldüğü gibi sinüzoidal yük gerilimi $v_a(t)$ (8) denklemi kullanılarak V_{am} genliğine bölünmekte ve nominal yük gerilimi genliği V_{Ym}^* ile çarpılmaktadır. Daha sonra kaynak geriliminden nominal yük gerilimi çıkarılarak (9) denklemi ile SAF kompanzasyon gerilim referansları (v_{SFa}^* , v_{SFb}^* , v_{SFc}^*) elde edilmiştir. SAF anahtarlama sinyalleri ise taşıyıcı tabanlı Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) tekniği ile üretilmiştir [7].

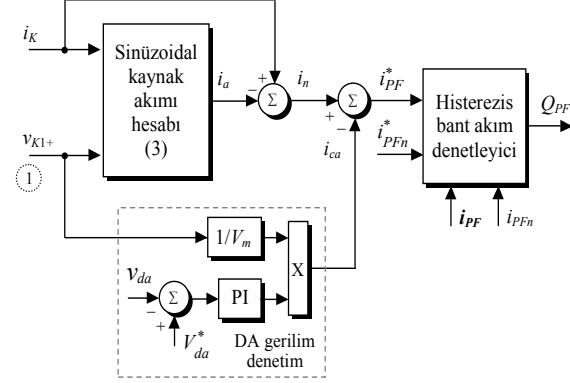
$$V_{am} = \frac{2}{3} \sqrt{v_{aa}^2 + v_{ab}^2 + v_{ac}^2} \quad (8)$$

$$v_{SF}^*(t) = v_K(t) - v_{K1+}(t) \quad (9)$$

2.2. PAF Denetim Tekniği

PAF denetim blok diyagramı Şekil 3’te gösterilmektedir. Yük akımları (i_{Ya} , i_{Yb} , i_{Yc}) ve temel pozitif-sıralı kaynak gerilimleri (v_{Ka1+} , v_{Kb1+} , v_{Kc1+}) kullanılarak $[t-T_c, t]$ ortalama zaman aralığında ortalama güç değeri $P(t)$ (2) denklemi ile hesaplanmaktadır. İstenilen sinüzoidal kaynak akımları (i_{Ya1+} , i_{Yb1+} , i_{Yc1+}) (3) denklemi kullanılarak elde edilmektedir. Anlık aktif olmayan akım $i_n(t)$ (4) denklemi ile hesaplanmaktadır. BSPAF sisteminin güç

kayıplarını ve geçici durumlarda DA-bara gerilim dalgalanmalarını kompanze etmek için gereken ilave aktif akım $i_{ca}(t)$ (10) denklemine verildiği gibi ölçülen DA-bara gerilimi (v_{da}) değeri referans gerilimi (V_{da}^*) değeriyle regüle edilerek kaynaktan çekilmektedir.



Şekil 3. PAF akım denetim blok diyagramı

Şekil 3’te görüldüğü gibi DA-bara gerilimini (v_{da}) regüle etmek için PI denetleyici kullanılmıştır. Ölçülen DA-bara gerilimi ve referans DA-bara gerilimi arasındaki fark PI denetleyiciye uygulanmakta ve çıkış 3-faz birim genliğe sahip temel sinüzoidal dalga ile çarpılmaktadır. Sonuç olarak PAF’nin kompanzasyon referans akımları (i_{PFa}^* , i_{PFb}^* , i_{PFc}^* , i_{PFn}^*) (11) ve (12) denklemi ile elde edilmiştir. PAF anahtarlama sinyalleri ise histerezis bant akım denetleyici ile üretilmiştir.

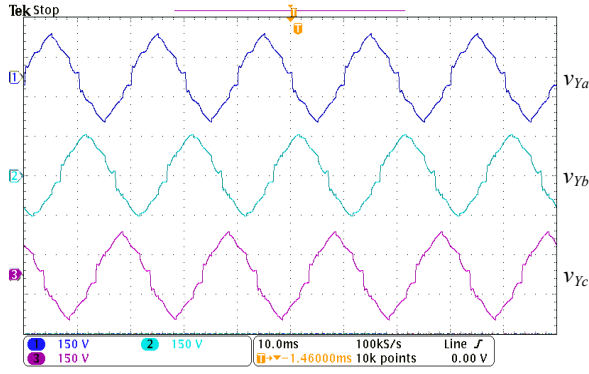
$$i_{ca}(t) = \frac{v_{S1+}}{V_m} [K_P (V_{da}^* - v_{da}) + K_I \int_0^t (V_{da}^* - v_{da}) dt] \quad (10)$$

$$i_{PF}^*(t) = i_n(t) - i_{ca}(t) \quad (11)$$

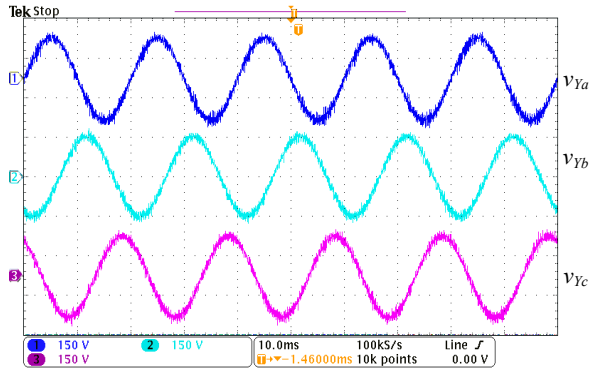
$$i_{PFn}^* = -(i_{PFa}^* + i_{PFb}^* + i_{PFc}^*) \quad (12)$$

3. DENEYSEL SONUÇLAR

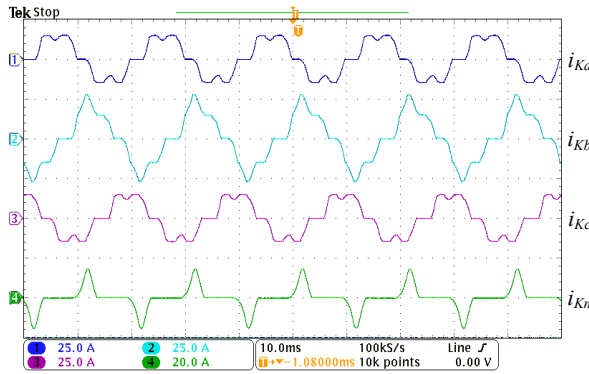
110 V_{rms} faz-nötr kaynak geriliminde tasarlanan 4-kollu 4-telli BSPAF güç ve denetim sistemi blok diyagramı Şekil 4’te gösterilmektedir. 4-kollu 4-telli BSPAF sisteminin (4-kollu PAF ve 4-kollu SAF birimlerinden oluşan) güç katında 8 adet yarım köprü IGBT modülleri kullanılmıştır. BSPAF sisteminin gerçek zamanlı denetimi dSPACE DS1103 denetleyici kartı ile yapılmıştır. Matlab/Simulink ortamında tasarlanan BSPAF sistemi denetim modelleri doğrudan dSPACE denetleyici donanımı ile uygulamaya aktarılmıştır. dSPACE DS113 kontrol geliştirme kartı kullanılarak üretilen anahtarlama sinyalleri ile IGBT’lerin sürülmesi için iki adet 6-kanal ve iki adet 2-kanal IGBT sürücü modüller kullanılmıştır.



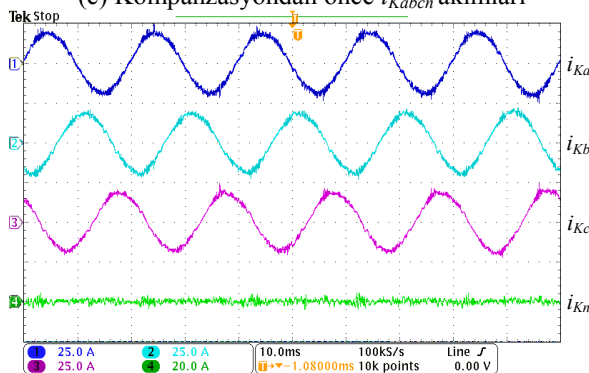
(a) Kompanzasyondan önce v_{Yabc} gerilimleri



(b) Kompanzasyondan sonra v_{Yabc} gerilimleri

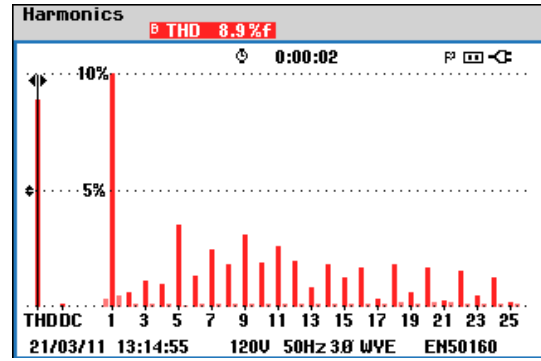


(c) Kompanzasyondan önce i_{Kabcn} akımları

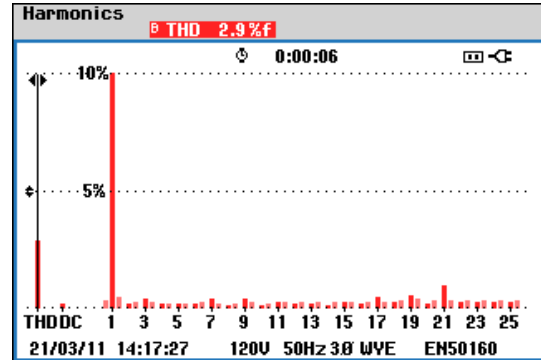


(d) Kompanzasyondan sonra i_{Kabcn} akımları

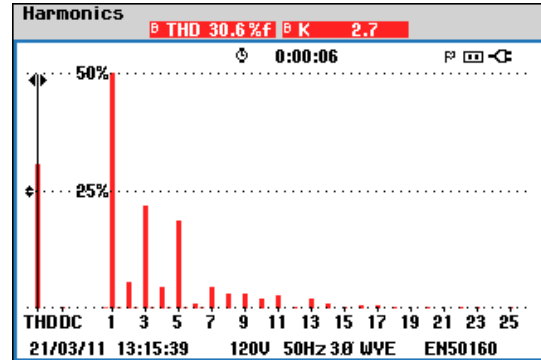
Şekil 5. Kaynak gerilim harmoniği ve dengesiz-doğrusal olmayan yük akımı kompanzasyonu deneysel sonuçları



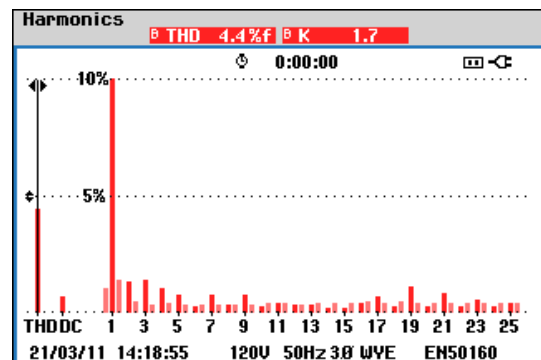
(a) Kompanzasyondan önce v_{Yb} gerilimi



(b) Kompanzasyondan sonra v_{Yb} gerilimi



(c) Kompanzasyondan önce i_{Kb} akımı



(d) Kompanzasyondan sonra i_{Kb} akımı

Şekil 6. Yük gerilimi ve kaynak akımı b -fazı harmonik dağılımı

Tablo 2’de 4-kollu 4-telli BSPAF sistemi parametreleri ve Şekil 7’de ise laboratuvar test platformunun fotoğrafı görülmektedir.

Tablo 2. 4-kollu 4-telli BSPAF sistemi parametreleri

Bileşenler		Sembol	Parametreler
Güç kaynağı	Gerilim	V_{Kabc}	110 V
	Frekans	f_K	50 Hz
	Empedans	L_K	59 μ H
DA-bara	Kondansatör	C	2350 μ F 2x4700 μ F seri
	Referans gerilim	V_{da}	350 V
PAF	Filtre	L_{PF}, L_{PFn} R_{PF}, C_{PF}	3 mH, 3 mH 5 Ω , 30 μ F
	Anahtarlama frekansı	f_{ap}	8 kHz
SAF	Filtre	L_{SF}, L_{SFn} R_{SF}, C_{SF}	1 mH, 1 mH 2 Ω , 80 μ F
	Anahtarlama frekansı	f_{as}	10 kHz
	Seri transformatör	N_1/N_2 S	2 5,4 kVA
Doğrusal olmayan yük-1	3-faz tristörlü	L_Y L_{da}, R_{da}	3 mH 5,7 mH, 15 Ω
	Tek-faz diyotlu	L_Y C_{da}, R_{da}	2 mH 330 μ F, 45 Ω
Doğrusal olmayan yük-2	3-faz diyotlu	C_{da}, R_{da}	8800 μ F, 15 Ω



Şekil 7. 4-kollu 4-telli BSPAF sistemi laboratuvar test platformunun fotoğrafı

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 4-kollu 4-telli BSPAF sistemi ile 3-faz 4-telli sistemlerde hem şebekeden hem de yükten kaynaklanan güç kalitesi problemlerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Denetim tekniği olarak tek-faz veya 3-faz, sinüzoidal veya sinüzoidal olmayan, periyodik veya periyodik olmayan, dengeli veya dengesiz sistemlerde geçerli olan genelleştirilmiş aktif olmayan güç teorisi kullanılmıştır. 3-faz 4-kollu 4-telli BSPAF sistemi test platformu ile gerçekleştirilen kaynak gerilim harmoniği ve aynı zamanda dengesiz-doğrusal olmayan akım kompanzasyonu deneysel sonuçlarına göre kompanzasyondan sonra kaynak akımları ve yük gerilimlerinin dengelendiği, nötr akımının azaltıldığı, güç faktörünün bire yaklaştırıldığı, akım ve gerilim THB değerlerinin ise IEEE 519 standardında belirtilen %5 sınırının altında olduğu gözlenmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından EEEAG 108E083 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Grady, W.M., Santoso, S., “Understanding Power System Harmonics”, *IEEE Power Engineering Review*, 21, (11), 8–11, 2001.
- [2] Dugan, R.C., McGranaghan, M.F., Santoso, S., Beaty, H.W., “Electrical Power Systems Quality”, *McGraw-Hill*, 2nd Edition, 2002.
- [3] Fujita, H., Akagi, H., “The Unified Power Quality Conditioner: The Integration of Series and Shunt Active Filters”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 13 (2), 1998.
- [4] Ghosh, A., Ledwich, G., “A Unified Power Quality Conditioner (UPQC) for Simultaneous Voltage and Current Compensation”, *Electric Power Systems Research*, 59, 55–63, 2001.
- [5] Khadkikar, V., Chandra, A., “A Novel Structure for Three-Phase Four-Wire Distribution System Utilizing Unified Power Quality Conditioner (UPQC)”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 45 (5), 1897–1902, 2009.
- [6] Xu, Y., Tolbert, L. M., Peng, F. Z., Chiasson, J. N., Chen, J., “Compensation-Based Non-Active Power Definition”, *IEEE Power Electronics Letter*, 1 (2), 45–50, 2003.
- [7] Ucar, M., Ozdemir, S., Ozdemir, E., “A Four-leg Unified Series-Parallel Active Filter System For Periodic And Non-periodic Disturbance Compensation”, *Electric Power Systems Research*, 81, 1132–1143, 2011.
- [8] J.H. Kim, S.K. Sul, “A Carrier-Based PWM Method For Three-Phase Four-Leg Voltage Source Converters”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 19 (1), 66–75, 2004.
- [9] Yan Xu, “A Generalized Instantaneous Nonactive Power Theory for Parallel Nonactive Power Compensation”, *PhD. Thesis*, May, 2006.