



$$P(t) = \frac{1}{T_c} \int_{t-T_c}^t p(\tau) d\tau \quad (4)$$

Anlık aktif akım  $i_a(t)$  ve anlık aktif olmayan akım  $i_{ao}(t)$  sırasıyla (5) ve (6) eşitliklerindeki gibi belirlenmektedir. Referans gerilim  $v_r(t)$  etkin değeri  $V_r(t)$  (7) eşitliğinde verilmektedir.

$$i_a(t) = \frac{P(t)}{V_r^2(t)} v_r(t) \quad (5)$$

$$i_{ao}(t) = i(t) - i_a(t) \quad (6)$$

$$V_r(t) = \sqrt{\frac{1}{T_c} \int_{t-T_c}^t v_r^T(\tau) v_r(\tau) d\tau} \quad (7)$$

Anlık aktif olmayan güç  $p_{ao}(t)$  ve  $[t-T_c, t]$  aralığında ortalama aktif olmayan güç  $P_{ao}(t)$  sırasıyla (8) ve (9) eşitliği ile tanımlanmaktadır.

$$p_{ao}(t) = v^T(t) i_{ao}(t) = \sum_{f=1}^3 v_f(t) i_{aof}(t) \quad (8)$$

$$P_{ao}(t) = \frac{1}{T_c} \int_{t-T_c}^t p_{ao}(\tau) d\tau \quad (9)$$

Ortalama zaman aralığı  $T_c$  ve referans gerilim  $v_r(t)$  geliştirilmiş aktif olmayan güç teorisinde iki önemli faktördür. Ortalama zaman aralığı  $T_c$ 'nin değeri, periyodik veya periyodik olmayan dalga şekillerinin kompanzasyonu amacına göre sıfırdan sonsuza kadar belirlenebilmekte ve farklı  $T_c$  değerleri için aktif akım ve aktif olmayan akım farklı karakteristiklere sahip olmaktadır [3].  $T_c$  seçimi aşağıda verilmektedir.

A.  $T_c=0$  seçildiğinde ortalama güç tanımları anlık güçler ile benzerdir. Etkin değer tanımları (10) eşitliğinde verildiği gibi farklı biçimdedir.

$$V_r(t) = v_r^T(t) v_r(t) \quad (10)$$

Anlık aktif akım  $i_a(t)$  ve anlık aktif olmayan akım  $i_{ao}(t)$  tanımları (5) ve (6) eşitlikleri ile benzer şekildedir. Eğer  $v_r(t) = v(t)$  ise anlık aktif güç  $p_a(t)$  anlık güç  $p(t)$ 'ye eşit ve anlık aktif olmayan güç  $p_{ao}(t)$  sıfır olmaktadır. Tek fazlı bir sistemde anlık aktif akım  $i_a(t)$  her zaman  $i(t)$  akımına eşit ve anlık aktif olmayan akım  $i_{ao}(t)$  her zaman sıfır olmaktadır. Bu nedenle  $T_c=0$  tek fazlı sistemler için uygun değildir.

B. Bir çok uygulamada  $T_c$  sonlu bir değer seçilmektedir.  $T$  periyotlu periyodik bir sistemde akım ve gerilim harmoniklerini kompanze etmek için  $T_c, T/2$  olarak seçilmektedir [6]. Eğer  $v_r(t)$   $T$  periyotlu periyodik bir dalga şekli seçilirse ortalama güç  $P(t)$  ve etkin gerilim değeri  $V_r(t)$  sabit değer olmaktadır. Anlık aktif

akım  $i_a(t)$  referans gerilim ile orantılı ve benzer şekilde olmaktadır.

C.  $T_c$  sonsuz seçildiğinde ise akımın periyodik olmayan bileşeni tamamen kompanze edilebilmektedir. Fakat gerçek bir güç sistemi uygulamasında  $T_c$  değerini sonsuz seçmek uygulanabilir olmadığı için sonlu bir değer seçilmektedir. Aktif olmayan güç kompanzasyonunda  $T_c$  kabul edilebilir kompanzasyon sonuçları ve maliyet arasındaki dengeye bağlı olarak genellikle temel periyodun 1-10 katı seçilmektedir.

Referans gerilim  $v_r(t)$  ise pratikte  $v(t)$  gerilimine,  $i(t)$  akımına ve istenilen  $i_a(t)$  aktif akımına bağlı olarak seçilmektedir [3].  $v_r(t)$  seçimi aşağıda verilmektedir.

A.  $v(t)$  sinüzoidal ise ya da aktif akım  $i_a(t)$ 'nin,  $v(t)$ 'nin dalga şekliyle aynı olması istendiğinde,  $v_r(t) = v(t)$  olarak seçilmektedir.

B. Güç sistemlerinde  $v(t)$  harmonikli ve/veya dengesiz ve sinüzoidal bir  $i_a(t)$  istenirse; o zaman  $v_r(t), v(t)$ 'nin pozitif sıralı temel bileşeni  $v_f(t)$  olarak seçilmektedir ( $v_r(t) = v_f(t)$ ). Böylece  $i_a(t)$  dengeli ve harmonik içermemektedir.

Genelleştirilmiş aktif olmayan güç teorisi, ortalama zaman aralığı  $T_c$  ve referans gerilim  $v_r(t)$ 'yi değiştirerek tek fazlı sistemler, sinüzoidal olmayan sistemler ve periyodik olmayan sistemler gibi diğer farklı durumlar için de geçerli olmaktadır ve aşağıdaki özelliklere sahiptir [10].

- i. Farklı kompanzasyon hedeflerini karşılayabilme esnekliği,
- ii. Sinüzoidal olmayan ve periyodik olmayan sistemler için geçerli olması,
- iii. Tek fazlı ve çok fazlı sistemler için geçerli olması.

Tablo 1'de farklı referans gerilimi ve zaman aralıklarının seçilmesiyle farklı kaynak akımlarının elde edildiği görülmektedir. Bu teoride tüm tanımlamalar anlık olarak verildiğinden gerçek zamanlı denetim için uygun olmaktadır.

Tablo 1. Farklı kompanzasyon amaçları için parametreler

Kompanzasyon Amaçları	$v_r(t)$	$T_c$	Elde edilen Kaynak Akımları
Tek veya çok fazlı reaktif akım	$v$	$T/2, T$	Sinüzoidal $v_s$ için birim güç faktörü ve sinüzoidal
Tek veya çok fazlı reaktif akım ve harmonik akım	$v_f$	$T/2, T$	$v_s$ bozunumu dikkate almaksızın birim güç faktörü ve sinüzoidal
Çok fazlı sistem için anlık reaktif güç	$v$	$T_c \rightarrow 0$	Çok fazlı sistemler için anlık birim güç faktörü
Periyodik olmayan bozuk akım	$v_f$	$nT$	Azalan genlik ve birim güç faktörü ile yaklaşık sinus dalgası

Alt harmonik akım	$v_f$	$nT$	Saf sinüs dalgası veya birim güç faktörü ile yuvarlatılmış sinüs dalgası
Stokastik periyodik olmayan akım	$v_f$	$nT$	Birim güç faktörlü yuvarlatılmış sinüs dalga şekli

### 3. AKIM VE GERİLİM DENETİM STRATEJİSİ

Bu çalışmada, BSPAF yapısında iki adet sırt sırta bağlı 3-kollu 4-telli GKE ile akım ve gerilim denetimi için geliştirilmiş aktif olmayan güç teorisi temelli denetim stratejisi ve histeresis bant anahtarlama tekniği kullanılmaktadır.

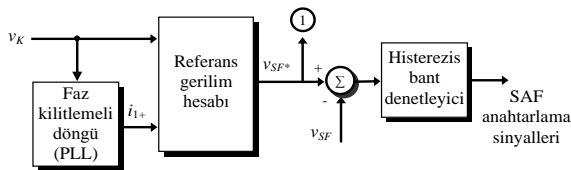
Gerilim denetim stratejisinde, harmonik içeren, dengesiz ve/veya periyodik olmayan kaynak gerilimleri ( $v_{Ka}$ ,  $v_{Kb}$ ,  $v_{Kc}$ ) faz kilitlemeli döngü (PLL) devresine uygulanmakta ve çıkışta referans akım  $i_r(t)$  olarak kullanılan temel pozitif sıralı kaynak gerilimleri ( $v_{Ka1+}$ ,  $v_{Kb1+}$ ,  $v_{Kc1+}$ ) ile aynı fazda birim genliğe sahip temel pozitif sıralı akımlar ( $i_{a1+}$ ,  $i_{b1+}$ ,  $i_{c1+}$ ) elde edilmektedir. Referans akımın etkin değeri  $I_r(t)$  aşağıdaki eşitlikte verilmektedir.

$$I_r(t) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-T}^t i_r(\tau) d\tau} \quad (11)$$

Kaynak gerilimleri ve bu akımlardan (4) eşitliği ile ortalama güç değeri hesaplanmakta ve kaynak geriliminin temel pozitif sıralı bileşeninin genliğinde ve faz açısında istenilen sinüzoidal yük gerilimleri ( $v_{Ya1+}$ ,  $v_{Yb1+}$ ,  $v_{Yc1+}$ ) (12) eşitliği ile elde edilmektedir [11]. SAF tarafından enjekte edilecek kompanzasyon referans gerilimleri ( $v_{SFa*}$ ,  $v_{SFb*}$ ,  $v_{SFc*}$ ), kaynak geriliminden istenilen yük gerilimi çıkarılarak (13) eşitliği ile belirlenmektedir. Referans gerilimler ile SAF gerilimleri karşılaştırılarak histeresis bant denetleyiciye uygulanmakta ve çıkışta SAF anahtarlama sinyalleri üretilmektedir. Şekil 2'de gerilim denetim blok diyagramı görülmektedir.

$$v_a(t) = \frac{P(t)}{I_r^2(t)} i_r(t) \quad (12)$$

$$v_{SF}^*(t) = v(t) - v_a(t) \quad (13)$$

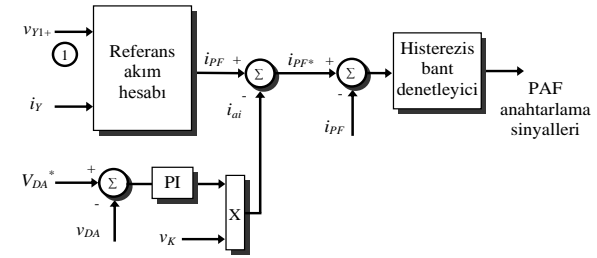


Şekil 2. Gerilim denetim blok diyagramı.

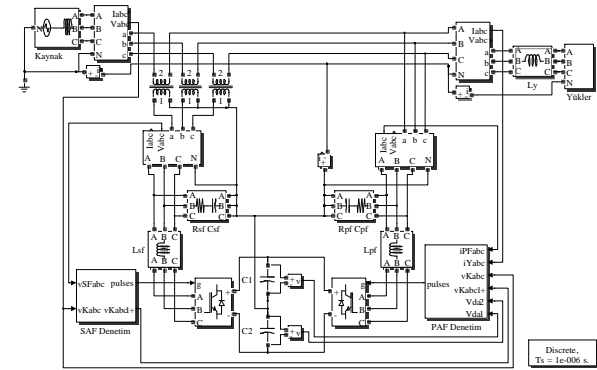
Akım denetim stratejisinde, yük akımları ( $i_{Ya}$ ,  $i_{Yb}$ ,  $i_{Yc}$ ) ve referans gerilim  $v_r(t)$  olarak SAF gerilim denetim devresinde elde edilen temel pozitif sıralı gerilimler ( $v_{Ya1+}$ ,  $v_{Yb1+}$ ,  $v_{Yc1+}$ ) ile (4) eşitliği kullanılarak  $[t-T_c, t]$  aralığında ortalama güç değeri hesaplanmaktadır. Bu gerilimler ile aynı fazda istenilen sinüzoidal kaynak akımının aktif bileşenleri ( $i_{Ka1+}$ ,  $i_{Kb1+}$ ,  $i_{Kc1+}$ ) (5) eşitliği ile elde edilmektedir. Yük akımından istenilen sinüzoidal kaynak akımı çıkarılarak yük akımının aktif olmayan bileşeni, (6) eşitliği ile belirlenmektedir. Ayrıca, BSPAF sisteminin güç kayıplarını ve geçici durumlarda DA gerilim dalgalanmalarını kompanze etmek için PAF ile kaynaktan (14) eşitliğinde verilen ilave aktif akım  $i_{ai}(t)$  çekilmektedir. Böylece PAF tarafından enjekte edilecek kompanzasyon referans akımları ( $i_{PFa*}$ ,  $i_{PFb*}$ ,  $i_{PFc*}$ ), (15) eşitliği ile elde edilmektedir. Referans akımlar ile PAF akımları karşılaştırılarak histeresis bant denetleyici ile PAF anahtarlama sinyalleri üretilmektedir. Akım denetim ve BSPAF sistemi Matlab/Simulink blok diyagramları sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterilmektedir.

$$i_{ai}(t) = v_K [K_P \int (v_{DA} - v_{DA}) dt + K_I (v_{DA} - v_{DA})] \quad (14)$$

$$i_{PF}^*(t) = i_{ao}(t) - i_{ai}(t) \quad (15)$$



Şekil 3. Akım denetim blok diyagramı.



Şekil 4. BSPAF sistemi Matlab/Simulink blok diyagramı.

### 4. PERİYODİK OLMAYAN AKIM VE GERİLİM KOMPANZASYONU

Temel bileşen periyodu  $T$  olan periyodik akımların kompanzasyonu için  $T_c$  ortalama zaman aralığını  $T/2$ 'nin katı olarak seçmek yeterlidir [6].

Bu çalışmada, periyodu temel bileşenin periyodundan farklı periyodik olmayan akım ve gerilimlerin kompanzasyonu ele alınmakta ve ortalama zaman aralığı  $T_c$  değerinin seçimi açıklanmaktadır. Aşağıda farklı periyodik olmayan akım ve gerilimlerin kompanzasyonuna ait Matlab/Simulink simülasyon sonuçları verilmektedir.

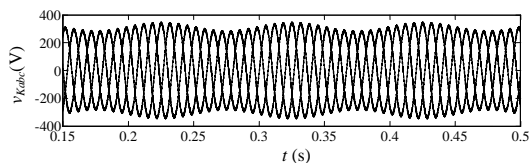
#### 4.1. Alt harmonik akım ve gerilim kompanzasyonu

Bu gruptaki periyodik olmayan akım ve gerilimler tekrarlı bir periyoda sahip olabilmekte birlikte alt harmonik bileşenlerinin periyodu güç sisteminin temel bileşen periyodundan daha küçüktür. Güç elektroniği dönüştürücüleri tarafından üretilen akımlar bu grupta yer alabilmektedir. Aktif olmayan akımı tamamıyla kompanze edebilmek için ortalama zaman aralığı  $T_c$ , temel bileşen ve alt harmonik bileşeninin ortak katına bağlı olarak seçilmektedir [3].

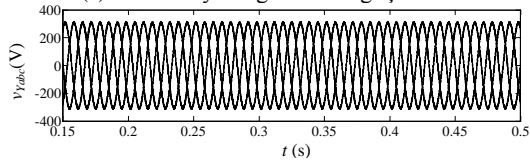
Bu çalışmada kullanılan alt harmonik bileşene sahip 3-fazlı kaynak gerilimi ve yük akımı değerleri Tablo 2'de verilmektedir. Şekil 5'de alt harmonik akım ve gerilim kompanzasyonu simülasyon sonuçları görülmektedir.  $T_c=5T$  seçildiğinde sırasıyla Şekil 5(b) ve Şekil 5(d)'de görüldüğü gibi alt harmonik bileşenler tamamıyla kompanze edilmektedir.

Tablo 2. 3-fazlı kaynak gerilimi ve yük akımı değerleri

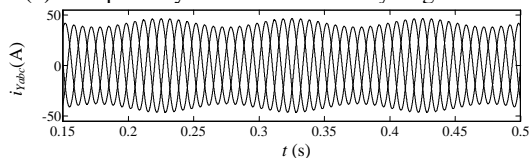
	Temel	Alt Harmonik
Frekans (Hz)	50	10
Akım	30 A	% 20
Gerilim	220 V	% 20



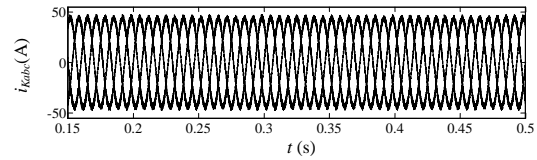
(a) 3-fazlı kaynak gerilimi dalga şekilleri.



(b) Kompanzasyondan sonra 3-fazlı yük gerilimleri.



(c) 3-fazlı yük akımı dalga şekilleri.



(d) Kompanzasyondan sonra 3-fazlı kaynak akımları.

#### Şekil 5. Alt harmonik akım ve gerilim kompanzasyonu. 4.2. Stokastik periyodik olmayan akım ve gerilim kompanzasyonu

Ark fırını yük akımları stokastik (rastgele) periyodik olmayan akımlar (periyodu güç sisteminin temel bileşen periyodundan daha büyük ancak tam katı olmayan) içerebilmektedir. Teorik olarak periyodik olmayan bu tip yüklerin periyodu sonsuz olabilmektedir [12]. Bu sebeple  $T_c$  değeri  $T/2$ ,  $T$  veya hatta  $T$ 'nin birkaç katı seçilerek stokastik (rastgele) periyodik olmayan akım ve gerilimler tamamen kompanze edilememektedir. Teorik olarak  $T_c$  sonsuza yaklaştıkça kaynak akımı ve yük gerilimi saf sinüs olmaktadır.

Güç sistemlerinde minimum Toplam Harmonik Bozunumu (THB) ve düzgün bir kaynak akımı istenen ideal durumdur, fakat kompanzatorün enerji depolama ihtiyacı düşünüldüğünde, en iyi kompanzasyon ve en küçük enerji depolama elemanı ihtiyacı arasında bir denge kurulmalıdır.  $T_c$  daha fazla arttırıldığında doğrusal bir şekilde kondansatörün değeri de büyümekte, ancak kaynak akımındaki THB'deki iyileşme çok az olmaktadır. Bütün bunlar göz önüne alınarak optimum  $T_c$  hesaplanmalıdır [12].

Bu çalışmada, stokastik periyodik olmayan bileşenlere sahip 3-fazlı kaynak gerilimi ve yük akımı bileşenleri Tablo 3'de verilmektedir. Şekil 6'da hem periyodik hem de periyodik olmayan bu akım ve gerilimlerin kompanzasyonuna ait simülasyon sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 3. 3-fazlı kaynak gerilimi ve yük akımı bileşenleri

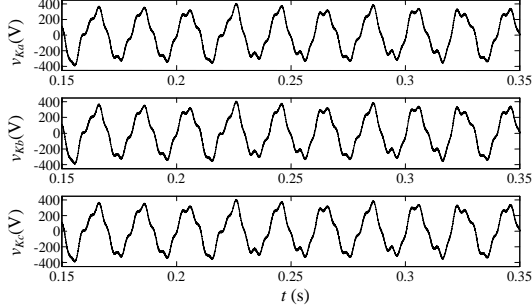
	Temel	Bileşen (%)				
Frekans (Hz)	50	104	117	134	147	250
Akım	30 A	30	40	20	20	50
Gerilim	220 V	7,5	10	5	5	12,5

Şekil 6(b), Şekil 6(d) ve Şekil 6(f)'de  $T_c=5T$  ile kompanzasyondan sonra kaynak akımları ve yük gerilimlerinin sinüs dalga şeklinde olduğu ve nötr akımının kompanze edildiği görülmektedir. Simülasyonda kullanılan sistem parametreleri Tablo 4'de verilmektedir.

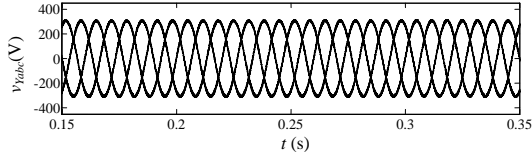
Tablo 4. Simülasyonda kullanılan sistem parametreleri

Güç Sistemi Parametreleri		
Bileşenler	$V_{kabc}$ , $f_K$ , $L_K$	220V, 50Hz, $50\mu\text{H}$

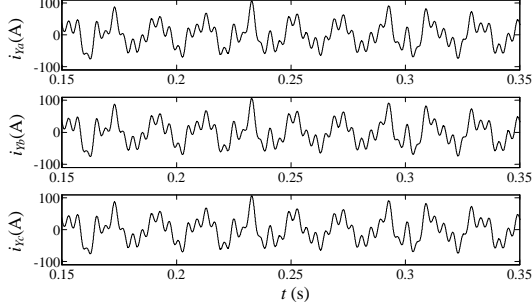
BSPAF Sistemi Parametreleri		
Seri transformatör	$N_1/N_2$	1
SAF AA filtre	$L_{SF}, R_{SF}, C_{SF}$	2mH, 2Ω, 50μF
PAF AA filtre	$L_{PF}, R_{PF}, C_{PF}$	1mH, 2Ω, 50μF
DA bara	$V_{DA}, C_1, C_2$	800V, 5600μF
Ort. anahtarlama	$f_{SAF}, f_{PAF}$	10kHz



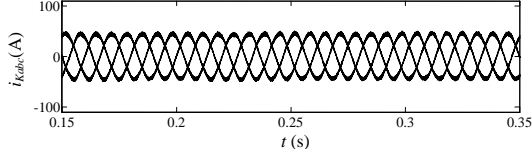
(a) 3-fazlı kaynak gerilimi dalga şekilleri.



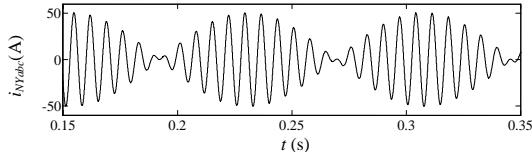
(b) Kompanzasyondan sonra 3-fazlı yük gerilimleri.



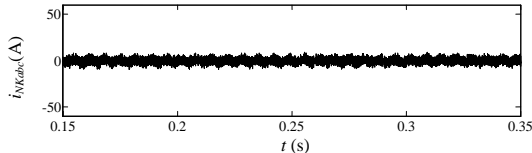
(c) 3-fazlı yük akımı dalga şekilleri.



(d) Kompanzasyondan sonra 3-fazlı kaynak akımları.



(e) Yük nötr akımı dalga şekli.



(f) Kompanzasyondan sonra kaynak nötr akımı.

Şekil 6. Stokastik periyodik olmayan akım ve gerilim kompanzasyonu.

## 5. SONUÇLAR

Doğrudan frekans dönüştürücüler (cycloconverter), hat komutasyonlu 3-fazlı tristör temelli doğrultucular, ark fırınları ve kaynak makineleri gibi yüklerin akımları, güç sisteminin temel bileşeninden daha düşük veya daha yüksek tam katı olmayan bileşenler içerebilmektedir. Bu akımlar, güç dağıtım sisteminin empedansı ile etkileşime girmekte ve ortak bağlantı noktasında diğer yükleri de etkileyen gerilim dalga şeklini bozmaktadır. Bu çalışmada güç sistemlerinde periyodik olmayan akımlar ve gerilimlerin BSPAF sistemi ile kompanzasyonu amacıyla geliştirilmiş aktif olmayan güç teorisinin kullanımı sunulmaktadır. Matlab/Simulink simülasyon sonuçlarına göre, bu teori kompanzasyon amaçlarını karşılayabilme esnekliği ile güç sistemlerinde varolan farklı periyodik olmayan akım ve gerilimlerin kompanzasyonu için oldukça uygun görülmektedir.

## 6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından EEEAG 108E083 numaralı proje ve Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Birimi Hızlı Destek projesi kapsamında desteklenmektedir.

## 7. KAYNAKLAR

- [1] Watanabe, E. H. and Aredes, M., "Compensation of Nonperiodic Currents Using The Instantaneous Power Theory", *IEEE Power Engineering Soc. Summer Meeting*, 2000, 994-999.
- [2] Czarnecki, L. S., "Non-Periodic Currents: Their Properties, Identification and Compensation Fundamentals", *IEEE Power Engineering Soc. Summer Meeting*, 2000, 971-976.
- [3] Yan Xu "A Generalized Instantaneous Nonactive Power Theory for Parallel Nonactive Power Compensation" *PhD. Thesis*, May, 2006.
- [4] Fujita, H. and Akagi, H., "The Unified Power Quality Conditioner: The Integration of Series and Shunt Active Filters", *IEEE Trans. on Power Electr.*, 13 (2), 1998.
- [5] Aredes, M., "Active Power Line Conditioners", Ph.D. Dissertation, Technischen Universität, Berlin, 1996.
- [6] Xu, Y., Tolbert, L. M., Peng, F. Z., Chiasson, J. N. and Chen, J. "Compensation-Based Non-Active Power Definition", *IEEE Power Electr. Letter*, 1 (2), 45-50, 2003.
- [7] Fryze, S. "Active, Reactive, and Apparent Power in Non-Sinusoidal Systems", *Przeglad Elektrot.*, 7, 193-203 (in Polish), 1931.
- [8] Peng, F. Z., and Tolbert, L. M. "Compensation of Non-Active Current In Power Systems - Definitions from Compensation Standpoint", *IEEE Power Eng. Soc. Summer Meeting*, 2000, 983-987.
- [9] Xu, Y., Tolbert, L. M., Chiasson, J. N., Campbell, J. B. and Peng, F. Z., "A Generalised Instantaneous Non-

Active Power Theory for STATCOM”, *Electric Power Applications, IET*, 853-861, 2007.

- [10] Peng, F. Z, Tolbert, L. M., Qian, Z., “Definitions and compensation of non-active current in power systems”, *IEEE Power Electronics Specialists Conf*, Cairns, Australia, 2002, pp. 1779-1784.
- [11] Uçar, M., Özdemir, Ş., Özdemir, E., “Genelleştirilmiş Aktif Olmayan Güç Teorisi ile Birleşik Seri-Paralel Aktif Filtre Sisteminin Denetimi”, *Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, ELECO 2008*, Bursa, 26-30 Kasım, 306-310, 2008.
- [12] Tolbert, L., Xu Y., Peng F., Chen J., Chiasson J., “Definations for Non-Periodic Current Compensation” *10th European Conference on Power Electronics and Applications*, EPE in Toulouse, France, September 2-4, 2003.