

# ADALINE TABANLI REFERANS AKIM ÇIKARTIM YÖNTEMİ İLE PARALEL AKTİF GÜÇ FİLTRESİ DENETİMİ

Baran HEKİMOĞLU<sup>1</sup>, Prof.Dr. Nurettin ABUT<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kocaeli Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Elektrik-Elektronik Bakım Bölümü,  
baranhekimoglu@kocaeli.edu.tr,

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, abut@kocaeli.edu.tr

## Özet

Bu makalede Adaline tabanlı yapay sinir ağlarına (YSA) dayalı bir yöntem ile 3-fazlı bir paralel aktif güç filtresinin (PAGF) denetimi sunulmaktadır. PAGF'nin amacı harmonikleri gidermek ve reaktif güç kompanzasyonu yapmaktır. PAGF, şebekeye doğrusal olmayan yük ile paralel bağlanan, bir akım kaynağı gibi davranmaktadır ve gerekli kompanzasyon akımlarının üretilmesi için denetlenmektedir. Denetimde kullanılan referans akım çıkartım yöntemi, uyarlamalı bir gürültü giderici gibi işlev gören ve kendisini yük akımındaki değişimlere uyarlayabilen Adaline tabanlı YSA'ya dayanan bir yöntemdir. Önerilen yöntemin literatürde görülen benzer Adaline tabanlı YSA yöntemlerine göre daha az hesaplama yapmasına rağmen aynı performansı gösterebildiği farklı çalışma koşulları altında bilgisayar benzetim sonuçları ile doğrulanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Paralel aktif güç filtresi, yapay sinir ağları, adaline, referans akım çıkartımı, uyarlamalı gürültü giderici, harmonik ve reaktif güç kompanzasyonu.

## Giriş

Aktif güç filtreleri, gün geçtikçe doğrusal olmayan yüklerin yarattığı sorunların çözümünde daha uygun bir çözüm olarak kabul görmektedir. AGF'ler istenmeyen harmoniklerin giderilmesi ve güç faktörünün iyileştirilmesi için sisteme bu bileşenler kadar fakat zıt işaretli kompanzasyon akımı enjekte ederler. En yaygın AGF türü paralel aktif güç filtresidir (PAGF) ve adından anlaşıldığı gibi doğrusal olmayan yüke paralel bağlanırlar ve gerekli kompanzasyon akımını sisteme enjekte ederek şebekeden sadece temel frekanstaki akım bileşeninin çekilmesini sağlayan bir akım kaynağı gibi davranırlar. Bu tip aktif güç filtreleri harmonik ve reaktif güç kompanzasyonu yanında aynı anda dengesiz ve doğrusal olmayan yüklerle yüklenmiş güç sistemini de dengeleyebilirler [1].

Aktif güç filtrelerin (AGF) denetiminde kullanılan referans akım çıkartım yöntemi performansı belirleyen en temel ölçütlerden biridir. AGF'ler için birçok referans akım çıkartım yöntemi mevcuttur. Yapay sinir ağları (YSA) tabanlı çıkartım yöntemi de bunlardan biridir. Doğrusal olmayan ve belirsiz sistemleri öğrenme becerileri sayesinde de artan bir ilgiyle dikkatleri üzerine çekmektedir. Son yıllarda YSA tabanlı farklı harmonik belirleme ve filtreleme teknikleri, özellikle Adaline tabanlı ağlar, güç sistemlerinde kullanılmaya başlamıştır. Adaline tabanlı YSA, zamanla değişen işaretlerin doğrusal birleşiminden yararlanan basit, dinamik öğrenme sistemleridir. Eğitim olarak adlandırılan ağırlıkların güncellenmesi, öğrenme kuralı denilen en küçük karesel ortalama gibi etkin algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu doğrusal olmayan regresyon yöntemi hem hızlı hem de doğru sonuçlar veren bir yöntemdir [2]. Ağ yapısının basitliği ise uygulamalarda yazılım ve donanım açısından kolaylıklar getirmektedir.

Bu makalede önerilen referans akım çıkartım yöntemi de Adaline tabanlı YSA'ya dayanmaktadır. Bu yöntem doğrusal olmayan yükün şebekeden çektiği akımın aktif bileşeninin, harmonik ve reaktif bileşenlerinden Adaline tabanlı YSA yardımı ile ayrıştırılması prensibine dayanmaktadır. Makalede önerilen yöntemin literatürdeki diğer benzer yöntemlerden farkı, doğrusal hale getirilmiş yük akımı ifadelerine ait temel ve diğer frekans bileşenlerin ayrı ayrı hesaplanması yerine sadece temel frekans bileşeninin hesaplanıp sonra toplamdan çıkarılarak diğer bileşenlerin hesaplanmasıdır. Böylece kompanzasyon türüne göre gerekli referans akımlar elde edilecektir. Bu anlamda Adaline tabanlı YSA bir gürültü giderici gibi işlev görecektir. Literatürde uyarlamalı gürültü filtreleme olarak adlandırılan bu teknik temelde iki girişli ve uyarlamalı bir geri beslemeli sistemdir [2]. Girişleri oluşturan işaretlerin arasındaki korelasyondan faydalanılarak birincil işaret içindeki gürültü işareti (ikincil işaretle aynı fazda olan) giderilmeye çalışılır [4]. Sonuç olarak sistem çıkışı, istenilen harmonik ve reaktif güç bileşenlerinin toplamı olur. Bu güç bileşenlerine karşılık gelen

referans akımlar belirlendikten sonra PAGF ile sisteme aynı fazda fakat ters işaretli olarak enjekte edileceklerdir. YSA'nın öğrenme imkân ve kabiliyetleri PAGF'nin doğrusal olmayan yük değişimlerine kendini uyarlamasını mümkün kılmaktadır. Önerilen yöntem, yük akımı ifadelerindeki tüm bileşenleri hesaplamadığından daha az sayıda işlem gerektirmektedir. Aynı zamanda sürekli değişen harmonik bileşenleri gerçek zamanlı belirlemede de etkin ve hızlıdır. Bu makalede önerilen yöntemin farklı çalışma koşulları altında bilgisayar benzetimi yapılarak elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

## Önerilen Referans Akım Çıkartım Yöntemi

Harmonik bileşenlerin çıkartımı akım ya da güç uzayında gerçekleştirilebilir. Bu makaledeki yöntem gerçek ve sanal güçler yerine akımlara dayanır.

3-fazlı bir sistemde bozulumlu akımları temsil eden aşağıdaki ifadeyi ele alalım:

$$\begin{bmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \\ i_{Lc} \end{bmatrix} = I_1 \begin{bmatrix} \sin(\omega t + \alpha_1) \\ \sin(\omega t + \alpha_1 + 2\pi/3) \\ \sin(\omega t + \alpha_1 - 2\pi/3) \end{bmatrix} + \sum_{n=2 \dots N} I_n \begin{bmatrix} \sin(n\omega t + \alpha_n) \\ \sin(n\omega t + \alpha_n + 2\pi/3) \\ \sin(n\omega t + \alpha_n - 2\pi/3) \end{bmatrix} \quad (1)$$

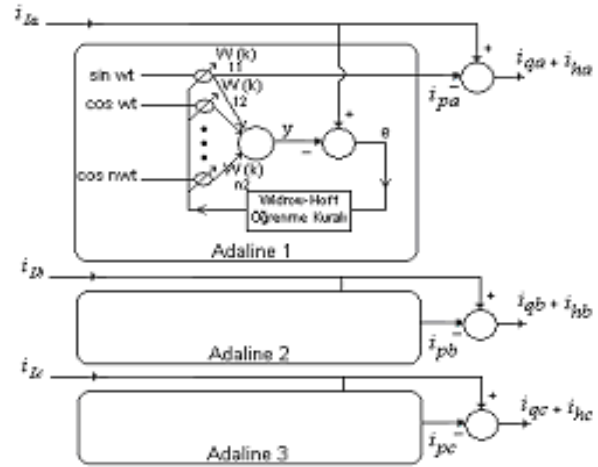
Bu akımlar aşağıdaki gibi de yazılabilirler:

$$\begin{bmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \\ i_{Lc} \end{bmatrix} = I_1 \cos \alpha_1 \begin{bmatrix} \sin(\omega t) \\ \sin(\omega t + 2\pi/3) \\ \sin(\omega t - 2\pi/3) \end{bmatrix} + I_1 \sin \alpha_1 \begin{bmatrix} \cos(\omega t) \\ \cos(\omega t + 2\pi/3) \\ \cos(\omega t - 2\pi/3) \end{bmatrix} + \sum_{n=2 \dots N} I_n \begin{bmatrix} \sin(n\omega t + \alpha_n) \\ \sin(n\omega t + \alpha_n + 2\pi/3) \\ \sin(n\omega t + \alpha_n - 2\pi/3) \end{bmatrix} \quad (2)$$

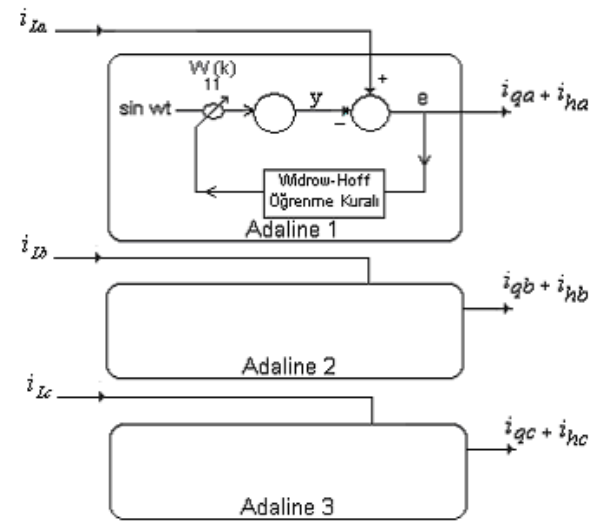
$$\begin{bmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \\ i_{Lc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{pa} \\ i_{pb} \\ i_{pc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i_{qa} \\ i_{qb} \\ i_{qc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i_{ha} \\ i_{hb} \\ i_{hc} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Eşitliğin sağ tarafı üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci ve ikinci terimler temel frekanstan kaynaklanan aktif ve reaktif bileşenleri, üçüncü terim ise diğer frekanslardan kaynaklanan harmonik bileşenleri temsil etmektedir. Referans akım çıkartım yöntemi (3) eşitliğinin sağındaki ilk terimi yani temel frekans aktif bileşenini diğer bileşenlerden ayırabilirse, PAGF denetim devresi için referans akımlar elde edilmiş olur. Yük akımının temel frekans bileşenini harmonik bileşenlerden ayırmak için geleneksel olarak alçak geçiren filtre kullanılır. Bu makalede önerilen yöntem ise Adaline tabanlı YSA'ya dayanmaktadır. Bu yöntemin Şekil 1'de gösterilen literatürdeki benzer YSA'ya dayalı yöntemlerden farkı, yük akımı

ifadelerine ait temel ve diğer frekans bileşenlerinin ayrı ayrı hesaplanması yerine sadece temel frekans aktif bileşeninin hesaplanıp sonra toplamdan çıkarılarak diğer bileşenlerin hesaplanmasıdır. Böylece Adaline hücresi daha az hesaplama yapacaktır. Ayrıca hem harmonik hem de reaktif güç kompanzasyonu için her fazda tek bir Adaline hücresinin kullanımı yeterli olmaktadır.



Şekil 1. Klasik yöntemin prensip şeması



Şekil 2. Önerilen yöntemin prensip şeması

Önerilen yönteme ait prensip şema Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekil 2'de görülen Adaline tabanlı YSA, gürültü filtresi gibi çalışan iki girişli ve uyarlamalı bir geri beslemeli sistemdir. Girişleri oluşturan işaretlerin arasındaki korelasyondan faydalanarak birincil işaret içindeki gürültü işareti (ikincil işaretle aynı fazda olan) giderilir. Ağın eğitilmesi için de performans göstergesi olarak hatanın karesel ortalamasını kullanan ve bir yaklaşık gradyan azalma algoritması olan Widrow-Hoff öğrenme kuralı kullanılır [4]. Sistem çıkışına ait ifade aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
e(t) &= i_L(t) - y(t) \\
e(t) &= i_L(t) - W \cdot x(t) \\
i_q(t) + i_h(t) &= i_L(t) - W \cdot \sin wt \\
i_c(t) &= i_L(t) - W \cdot \sin wt
\end{aligned} \tag{4}$$

(4) eşitliğindeki ifade doğrusal bir ifade olduğundan Adaline tabanlı YSA tarafından kolaylıkla öğrenilebilir. Burada W, YSA öğrenme algoritmasının bulduğu ağırlık değeridir ve sabittir, x(t) giderilmek istenen gürültüdür ve bu makalede değeri sinwt dir, y(t) ağıın çıkışıdır ve  $i_p$  temel frekans aktif bileşenidir, e(t) ise sistemin çıkışıdır ve  $i_q(t) + i_h(t)$  temel frekans reaktif bileşeni ile harmonik bileşenlerin toplamı yani  $i_c$  kompanzasyon akımıdır. Sistem çıkışına ait (4) ifadesi aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir:

$$\begin{aligned}
e &= i_L - y \\
e &= i_c + (i_p - y)
\end{aligned} \tag{5}$$

Eşitliğin her iki tarafının karesi alınırsa ağıın performans göstergesi olarak aşağıdaki ifade elde edilir. Ağıın amacı bu ifadeyi minimize etmektir:

$$e^2 = i_c^2 + 2 \cdot i_c(i_p - y) + (i_p - y)^2 \tag{6}$$

(6) eşitliğinin her iki tarafının ortalama olasılıkları alındığında ve  $i_c$ 'nin  $i_p$  ve y ile korelasyonsuz olduğu göz önünde bulundurulduğunda, aşağıdaki ifade elde edilmiş olur:

$$\begin{aligned}
E \left[ e^2 \right] &= E \left[ i_c^2 \right] + E \left[ (i_p - y)^2 \right] + 2E \left[ i_c(i_p - y) \right] \\
&= E \left[ i_c^2 \right] + E \left[ (i_p - y)^2 \right]
\end{aligned} \tag{7}$$

Burada dikkat edilmesi gereken husus, YSA'nın  $E \left[ e^2 \right]$  ifadesini minimize ederken birinci giriş işaretinin bir parçası olan  $E \left[ (i_p - y)^2 \right]$ 'nin bundan etkilenmeyeceğidir. Dolayısıyla eşitliğin solundaki ifade minimum değerine YSA çıkışı y,  $i_p$ 'nin en küçük karesel tahmini olursa ulaşabilir. Bu tahmine ulaşıncaya hatanın karesinin ortalama olasılık değeri aşağıdaki ifadeye eşit olur:

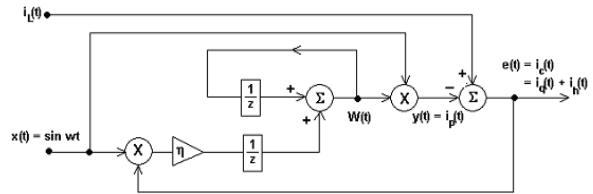
$$E \left[ e^2 \right] = E \left[ i_c^2 \right] \tag{8}$$

YSA bu değere ulaşabilirse, referans akım çıkartımı başarılı bir şekilde gerçekleşmiş olur. Bu nedenle YSA ağırlıklarının öğrenilmesi ve ağıın eğitilmesi için en küçük karesel ortalama algoritması olan Widrow-Hoff öğrenme kuralı benimsenmiştir. Bu öğrenme kuralına göre ağırlıkların güncellenmesi ve ağıın eğitilmesi aşağıdaki ifadelerde belirtildiği gibidir:

$$\begin{aligned}
W(k) &= W(k-1) + \eta \cdot e(k-1) \cdot x(k-1) \\
&= W(k-1) + \eta \cdot i_c(k-1) \cdot \sin w(k-1)
\end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
e(k) &= i_L(k) - W(k) \cdot x(k) \\
i_c(k) &= i_L(k) - W(k) \cdot \sin w(k)
\end{aligned} \tag{10}$$

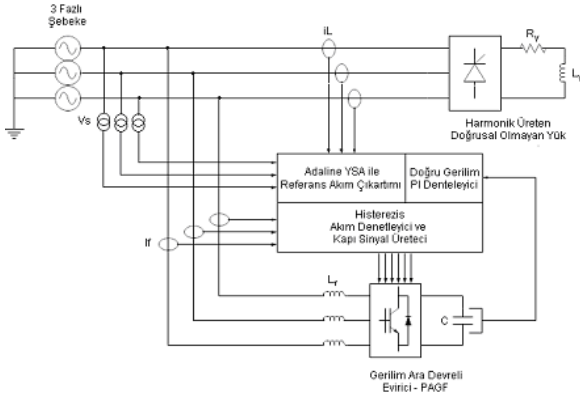
Burada k zaman indisini, W(k-1) ağırlığın bir önceki değerini, W(k) ise şimdiki değerini göstermektedir. Bu makalede ağırlığın başlangıç değeri sıfırdır. Ayrıca  $\eta$  öğrenme katsayısı, yakınsama hızı ve kararlılık açısından 0.001 seçilmiştir. Yakınsama analizi, ikinci dereceden bir fonksiyon için öğrenme katsayısının  $0 < \eta < \frac{1}{\lambda_{\max}}$  aralığında seçilmesi durumunda kararlı çözüme ulaşılabileceğini göstermektedir. Burada  $\lambda_{\max}$ , giriş korelasyon matrisinin en büyük öz-değeridir [4]. Önerilen Adaline tabanlı YSA'ya dayanan uyarlamalı gürültü gidericiye ait blok şema Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3. Önerilen Adaline tabanlı YSA'ya dayanan uyarlamalı gürültü giderici blok şeması.

### Önerilen Paralel Aktif Güç Filtresi

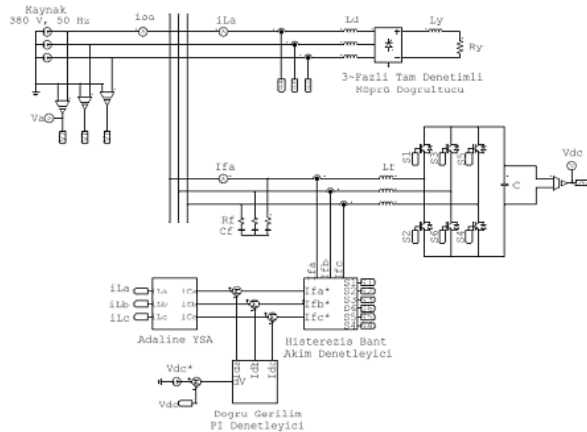
Önerilen PAGF yapısı Şekil 4'de gösterilmektedir. PAGF, doğru akım katna kondansatör bağlanmış gerilim ara devreli bir eviricidir. Yukarıda bahsedilen Adaline tabanlı YSA ile referans akımlar elde edilmektedir. Doğru gerilim PI denetleyici, evirici doğru akım katındaki kondansatörün gerilimini sabit tutmaktadır. Histerezis akım denetleyici ve kapı sinyal üretici de PAGF çıkışındaki gerçek akımın, referans akımı belirli bir bant aralığı içinde takip etmesini sağlayacak evirici anahtarlama işaretlerini üretmektedir.



Şekil 4. Önerilen PAGF yapısı.

### Benzetim Sonuçları

PAGF denetimi için önerilen referans akım çıkartım yönteminin performansının doğrulanması amacıyla farklı çalışma koşulları altında bir dizi bilgisayar benzetimi yapılmıştır. Bu koşullar PSIM benzetim programı ile gerçekleştirilmiştir. PSIM, PowersimTech firması tarafından özellikle güç elektroniği ve motor denetim uygulamaları için tasarlanmış hızlı bir benzetim programıdır. Ayrıca bir ara modül sayesinde MATLAB ile aynı anda benzetim yapabilmekte dolayısıyla bu programın denetim açısından daha iyi olan özelliklerini kullanma imkanı vermektedir. Önerilen yöntemi kullanan sistemin benzetim modeli Şekil 5’de gösterilmektedir.



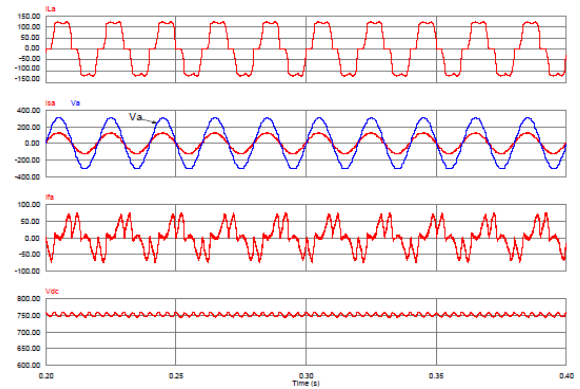
Şekil 5. Önerilen yöntemi kullanan sistemin PSIM benzetim modeli.

Şekil 5’deki Adaline YSA bloğu Şekil 3’de gösterilen blok şema ile aynıdır. Sistemdeki 3-fazlı tam denetimli köprü doğrultucunun girişine bağlanan  $L_d$  bobinleri köprü doğrultucunun çektiği akımın değişim hızını sınırlamak için konulmuşlardır. Aynı şekilde PAGF çıkışına da alçak geçiren filtre görevi gören  $L_f$  bobinleri konulmuştur. Buna ek olarak eviricinin yüksek frekanslarda anahtarlanması nedeniyle oluşan yüksek frekanslı gürültülerin şebekeye yansımalarını engellemek için 3-fazlı bir RfCf filtresi konulmuştur.

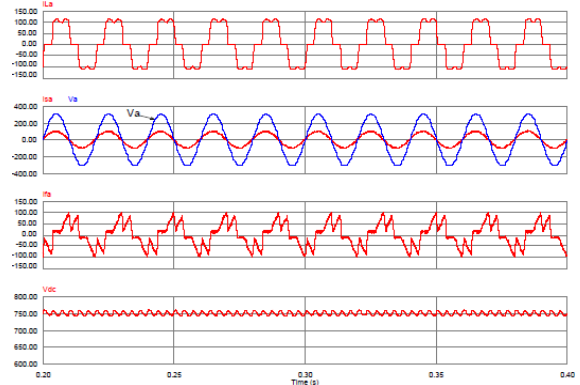
Aşağıdaki benzetim sonuçları 3-fazlı tam denetimli köprü doğrultucu tetikleme açısının iki farklı değeri

için yani  $\alpha = 0^\circ$  ve  $\alpha = 60^\circ$  için alınmıştır. Ayrıca kararlı hal davranışı dışında geçici rejim davranışını da incelemek için köprü doğrultucu yükü değiştirilerek geçici rejim benzetim sonuçları alınmıştır. Şekil 6’da  $\alpha = 0^\circ$  için a-fazına ait yük akımı  $i_{La}$ , şebeke akımı  $i_{sa}$  ve gerilimi  $V_a$ , filtre akımı  $i_{fa}$  ile evirici doğru akım kondansatörünün gerilimi  $V_{dc}$ , parametrelerine ait kararlı hal benzetim sonuçları verilmiştir. Şekil 7’de ise  $\alpha = 60^\circ$  için aynı parametrelere ait kararlı hal benzetim sonuçları verilmiştir.

Şekil 6’da  $\alpha = 0^\circ$  için toplam harmonik bozulum (THB) değeri %20.17’den %1.53’e düşmüş,  $\cos\phi$  değeri ise 0.92’den 0.99’a çıkmıştır. Şekil 7’de ise  $\alpha = 60^\circ$  için THB değeri %25.57’den %2.29’a düşmüş,  $\cos\phi$  değeri ise 0.81’den 0.99’a çıkmıştır. Her iki şekilden de görüldüğü gibi Adaline tabanlı YSA’ya dayanan referans akım çıkartım yöntemiyle denetlenen PAGF, kararlı hal çalışma durumunda harmonik ve reaktif güç kompanzasyonunu başarılı bir şekilde gerçekleştirmektedir.

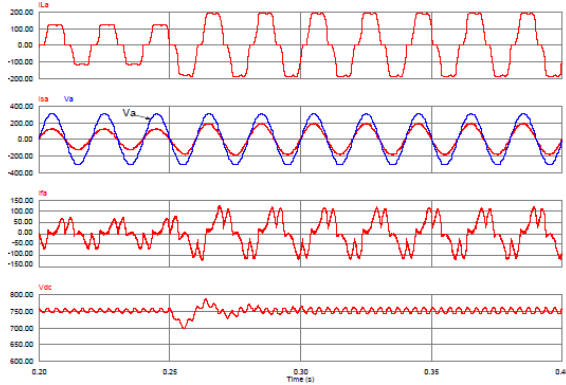


Şekil 6.  $\alpha = 0^\circ$  için a-fazına ait kararlı hal benzetim sonuçları; yük akımı  $i_{La}$  (50A/div), şebeke akımı  $i_{sa}$  (200A/div) ve gerilimi  $V_a$  (200V/div), filtre akımı  $i_{fa}$  (50A/div) ve evirici DA kondansatörünün gerilimi  $V_{dc}$  (50V/div), zaman  $t$  (50ms/div).

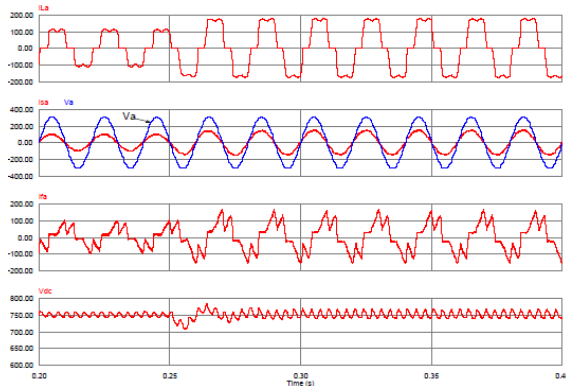


Şekil 7.  $\alpha = 60^\circ$  için a-fazına ait kararlı hal benzetim sonuçları; yük akımı  $i_{La}$  (50A/div), şebeke akımı  $i_{sa}$  (200A/div) ve gerilimi  $V_a$  (200V/div), filtre akımı  $i_{fa}$  (50A/div) ve evirici DA kondansatörünün gerilimi  $V_{dc}$  (50V/div), zaman  $t$  (50ms/div).

Şekil 8 ve Şekil 9'da ise kararlı halde çalışan sistemdeki doğrultucu yükünün değeri  $t = 0.25s$  anında değiştirilerek sistemin geçici rejim koşulu altında benzetim sonuçları incelenmiştir. PAGF, yine başarılı bir harmonik ve reaktif güç kompanzasyonu gerçekleştirmektedir.



Şekil 8.  $\alpha = 0^\circ$  için a-fazına ait geçici rejim benzetim sonuçları; yük akımı  $iLa$  (100A/div), şebeke akımı  $Isa$  (200A/div) ve gerilimi  $Va$  (200V/div), filtre akımı  $Ifa$  (50A/div) ve evirici DA kondansatörünün gerilimi  $Vdc$  (50V/div), zaman  $t$  (50ms/div).



Şekil 9.  $\alpha = 60^\circ$  için a-fazına ait geçici rejim benzetim sonuçları; yük akımı  $iLa$  (100A/div), şebeke akımı  $Isa$  (200A/div) ve gerilimi  $Va$  (200V/div), filtre akımı  $Ifa$  (100A/div) ve evirici DA kondansatörünün gerilimi  $Vdc$  (25V/div), zaman  $t$  (50ms/div).

## Sonuçlar

Bu makalede Adaline tabanlı yapay sinir ağlarına dayanan ve gürültü filtresi gibi çalışan bir referans akım çıkartım yöntemiyle paralel aktif güç filtresi denetimi sunulmuş ve analiz edilmiştir. Önerilen yöntem, benzer yöntemlere göre daha az sayıda işlem gerektirmektedir. Ayrıca sürekli değişen harmonik bileşenleri gerçek zamanlı belirlemede de etkin ve hızlıdır. Kararlı hal ve geçici rejim çalışma koşulları altında alınan benzetim sonuçlarıyla da önerilen yöntemle denetlenen PAGF'nin hem harmonik hem de reaktif güç kompanzasyonunu başarıyla gerçekleştirdiği doğrulanmıştır.

## Kaynaklar

- [1] Gao D., Sun X., A Shunt Active Power Filter with Control Method Based on Neural Network, Proceedings of International Conference on Power System Technology, PowerCon 2000, Vol. 3, 4-7 Dec. 2000, pp. 1619 – 1624, 2000.
- [2] Abdeslam D.O., Wira P., Flieller D., Merckle J., "Power Harmonic Identification and Compensation with an Artificial Neural Network Method", International Symposium on Industrial Electronics (ISIE'2006), Montreal, Canada, (2006).
- [3] Özdemir A., "A Digital Adaptive Filter for Detecting Harmonic Active and Reactive Currents", Institute of Physics Publishing, Measurement Science and Technology, Vol 15, pp. 1316–1322, (2004).
- [4] Hagan M.T., Demuth B.H., Beale M., "Neural Network Design", PWS Publishing, Boston, (1996).