

## Paralel Etkin Güç Süzgeci İçin Referans Akımı Çıkarım Yöntemlerinin İncelenmesi

### Analysis Of The Various Reference Current Extraction Methods For a Shunt Active Power Filter

Hasan DİRİK<sup>1</sup>, Bekir Berkan Aygün<sup>2</sup>, Muammer Özdemir<sup>3</sup>

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

hasan\_dirik@hotmail.com, bekirberkan.aygun@gmail.com, ozdemirm@omu.edu.tr

#### Özet

Bu çalışmada, paralel etkin güç süzgeçlerinde kullanılan dört farklı referans akımı çıkarım yöntemi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. İncelenen bu yöntemler anlık tepkin güç yöntemi, senkron referans düzlemi yöntemi, etkin olmayan güç teorisi yöntemi ve doğrudan akım denetimi yöntemleridir. Burada, bu yöntemler öncelikle tanıtılarak MATLAB/Simulink ortamında yapılmış olan benzetim çalışmaları verilmiştir. Benzetim çalışmalarıyla elde edilen kaynak tarafı akımlarının, kaynak tarafı akımlarının THD (toplam harmonik bonum) değerlerinin ve kaynak tarafı güç katsayılarının değişimleri benzetim çalışmaları bölümünde verilmiştir. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak yöntemlerin iyi ve kötü yönleri ortaya konulmuştur.

#### Abstract

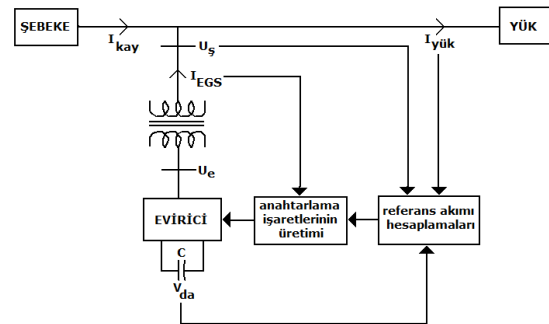
In this study, four reference current extraction method for shunt active power filters is examined comparatively. These methods are instantaneous reactive power method, non-active power theory, synchronous reference frame method and direct current control method. Here, firstly, these methods are presented and then some simulation works done in Matlab/Simulink environment are given. Variations of source side currents, THD (total harmonic distortion) of currents and power factors are given in the simulation works section. By interpreting simulation results, good and bad aspects of methods are presented.

#### 1. Giriş

Son yıllarda, yarı-iletken teknolojisindeki gelişmelerle beraber bu elemanları içeren birçok sistem evlerde ve sanayide giderek daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilgisayarların, kesintisiz güç kaynaklarının, elektrikli motor sürücülerinin, elektronik üretim kontrol elemanlarının, elektronik ve magnetik balastların, televizyon, klima, çamaşır makinesi, yazıcı gibi uygulamaların, ark ocaklarının, doyma bölgesine yakın çalışan transformatörlerin, indüksiyonlu ısıtma sistemleri vb. aralarında olduğu bu sistemler doğrusal olmayan yüklerdir. Doğrusal olmayan yükler, elektrik şebekesinden harmonik ve tepkin güç bileşeni içeren akım çekerler. Ayrıca bu yükler, üç-fazlı elektrik sistemlerinde dengesizliğe sebep

olarak nötr akımının aşırı yükselmesine de neden olabilirler. Harmonikli akımlar, tepkin güç ve akım dengesizlikleri sistem verimliliğinin düşmesine ve güç faktörünün kötüleşmesine sebebiyet vermektedir.

Güç kalitesi problemlerinin başlıcalarından olan harmoniklerin süzülmesi ve tepkin güç kompanzasyonu için edilgen süzgeçler ve sığaç grupları kullanılagelen yöntemler olmuştur. Harmoniklerin süzülmesi için kullanılan edilgen süzgeçlerin başarımı çoğunlukla birkaç harmonik bileşen ile sınırlıdır. Bu nedenle edilgen süzgeçleme ile iyi sonuçlar elde edilmek isteniyorsa baskın harmoniklerin sayısı kadar süzgece ihtiyaç vardır. Ayrıca edilgen süzgeçlerin şebeke empedansı ile rezonansa girme olasılığı vardır. Şebekede veya komşu yüklerdeki herhangi bir değişim rezonans riski taşıdığından edilgen süzgeç ile uygulanacak çözümler için hat yapısının bilgilerine gerek duyulmaktadır. Burada verilen tüm olumsuz özelliklerine karşın yapılarının basit, verimlerinin yüksek olması ve düşük yatırım maliyetleri edilgen süzgeçlerin en önemli avantajlarıdır. Bu avantajlara rağmen bahsedilen olumsuzluklarından dolayı edilgen süzgeçler, gelişen yarı-iletken teknolojisi ile birlikte, yerlerini güç kalitesi problemlerine dinamik ve ayarlanabilir çözümler getiren etkin güç süzgeçlerine bırakmaya başlamıştır.



Şekil 1. Genel EGS şeması

Etkin güç süzgeçleri (EGS), doğrusal olmayan yüklerin şebekeye bağlı oldukları noktaya bağlanarak yüklerin çektiği harmonikli akım bileşenlerini karşılarlar. EGSlerin yükün harmonik akımlarını karşılama dışında tepkin güç kompanzasyonunu yapma, gerilim dengesini sağlama, akım minimizasyonunu ve dengesini sağlamak gibi bazı ek amaçlar

için de kullanımı vardır. Önerilen hemen hemen tüm EGS yapılarında öncelikle referans akımı hesaplanmakta ve sonrasında hesaplanan referans akıma uygun olarak EGS anahtarlama işaretlerinin üretimi bir akım denetim şeması ile yapılmaktadır. (Şekil 1) [1]

Bir EGSnin çalışma başarımı EGSnin güç katı yapısına bağlı olduğu kadar bu eviricinin vermesi gereken akımı hesaplayan referans akımı çıkarım katına da bağlıdır. Literatürde EGS referans akım değerini hesaplamak için önerilen çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Anlık tepkin güç teorisi [2], senkron referans düzlemi yöntemi [3], etkin olmayan güç teorisi [4], doğrudan akım denetimi yöntemi [5], kalman ve notch filtreleme yöntemleri [6], çeşitli yapay sinir ağı yöntemleri [7] ve PLLli yöntemler [8] kullanılan başlıca yöntemler olup burada ilk dört yöntem anlatılarak benzetimleri yapılmış ve başarımları incelenmiştir.

## 2. Referans Akımı Çıkarım Yöntemleri

### 2.1. Anlık Tepkin Güç Yöntemi

P-q yöntemi olarak da bilinen anlık tepkin güç yöntemi ilk olarak Akagi tarafından 1983 yılında geliştirilmiştir. Bu yöntemde öncelikle yüke ait gerilim ve akım değerleri Clarke dönüşümü kullanılarak a-b-c koordinatlarından  $\alpha$ - $\beta$ -0 koordinatlarına dönüştürülür.

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \\ V_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

Burada elde edilen yeni değerler birbirine dik bileşenleri temsil etmektedir. Yeni koordinatlardaki akım ve gerilim bileşenleri kullanılarak anlık etkin, tepkin ve sıfır bileşen güçleri

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ p_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & V_\alpha & V_\beta \\ 0 & -V_\beta & V_\alpha \\ V_0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

biçimindeki anlık güç dönüşümünden elde edilmektedir. Bu dönüşümden elde edilen güçler temel frekansın oluşturduğu doğru bileşen ve harmoniklerin oluşturduğu alternatif bileşenlerin toplamına eşittir.

$$p = \bar{p} + p \quad (4)$$

$$q = \bar{q} + q \quad (5)$$

3-fazlı sistemlerde yüke ait etkin gücün temel frekans bileşeni dışındaki kısmının tamamının kompanze edilmesi gerektiğinden kaynaktan çekilen temel frekans bileşeninin oluşturduğu etkin gücün bulunması gerekir. Bu yüzden anlık güce bir filtreleme uygulanır. Burada filtrelemede kullanılan

pencere zaman ekseninde T/2 genişliğinde olmaktadır. T, güç sistemi temel bileşeninin periyodunu göstermektedir.

$$\bar{p} = \int_{t-\frac{T}{2}}^t p(\tau) d\tau \quad (6)$$

Etkin güç süzgecinin kendi kayıpları da dikkate alınarak şebekeden çekilmesi gereken toplam etkin güç

$$P_T = \bar{p} + p_{\text{kayıp}} \quad (7)$$

olarak hesaplanmaktadır. Güç değerlerinden akım değerlerine geçiş ters Clarke dönüşümü ile yapılır. Bu dönüşüm,

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & V_\alpha & V_\beta \\ 0 & -V_\beta & V_\alpha \\ V_0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p_T \\ q \\ p_0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

biçiminde olup dengeli durumda veya nötr hattının olmaması durumunda sıfır bileşen gücü sıfır olacağından ( $P_0=0$ ) ters anlık güç dönüşümü

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{V_\alpha^2 + V_\beta^2} \begin{bmatrix} V_\alpha & -V_\beta \\ V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_T \\ q \end{bmatrix} \quad (9)$$

biçimine dönüşecektir. Kaynaktan çekilmesi istenen gücün yalnızca etkin güç olduğu göz önüne alınırsa  $q=0$  alınacaktır. Bu durumda istenen kaynak akımının  $\alpha$ - $\beta$ -0 koordinatlarındaki değerleri

$$I_\alpha = \frac{V_\alpha P_T}{V_\alpha^2 + V_\beta^2} \quad (10)$$

$$I_\beta = \frac{V_\beta P_T}{V_\alpha^2 + V_\beta^2} \quad (11)$$

eşitliklerinden bulunacaktır. a-b-c koordinatlarındaki akımlara geçiş için kullanılacak ters Clarke dönüşümü,

$$\begin{bmatrix} I_{a\text{-kaynak}} \\ I_{b\text{-kaynak}} \\ I_{c\text{-kaynak}} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

şeklinde olup burada  $I_0=0$  alınır. Bulunan akımlar şebekeden çekilmesi istenen akımlar olup etkin güç süzgecinin vermesi gereken referans akım değeri bu akımların yük akımlarından çıkarılması ile bulunur.

$$\begin{bmatrix} I_{a\text{-ref}} \\ I_{b\text{-ref}} \\ I_{c\text{-ref}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} I_{a\text{-kaynak}} \\ I_{b\text{-kaynak}} \\ I_{c\text{-kaynak}} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Anlık tepkin güç yöntemi 3 fazlı sistemin gerilim ve akımları kullanılarak hesaplamaları yapmaktadır. Yöntemin doğrudan 1 fazlı sistemlere uygulanma şansı yoktur. Bu yöntemde sıfır bileşenleri göz önüne alınmadığından dengesiz akımlara sahip yüklerin harmonik ve tepkin akım bileşenlerinin kompanzasyonu için elde edilen referans akım değerleri tam istenilen amacı veremeyecektir. Hesaplamalarda

kullanılan 3-faz gerilimlerin harmonikli olması da yöntemin başarısız olmasına neden olmaktadır. Yükün 3-fazlı 3-telli olması sıfır bileşen akımının da 0 değerinde olmasını sağlayacağından böyle yüklerde kullanıma uygundur. Anlık tepkin güç yönteminin yapısının basit olması, hesapsal yükünün az olması ve senkronizasyon için PLL benzeri yapılara ihtiyaç duymaması önemli avantajlarıdır.

## 2.2. Senkron Referans Düzlemi Yöntemi

Bu yöntemde aynen p-q yönteminde olduğu gibi öncelikle yük akımı Clarke dönüşümü kullanılarak a-b-c koordinat düzleminde  $\alpha$ - $\beta$ -0 koordinat düzlemine dönüştürülür.

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (14)$$

Yeni düzlemdeki akımlar sabit  $\alpha$ - $\beta$ -0 referans düzleminde temel açısız frekans ile dönen d-q-0 düzlemine geçiş yapılır. Bu geçiş

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & \sin(\omega t) \\ -\sin(\omega t) & \cos(\omega t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} \quad (15)$$

biçimindeki d-q dönüşümü ile yapılır. Clarke ve d-q dönüşümleri ardışık olarak uygulandığında Park dönüşümü ile aynı eşdeğerliliğe sahiptir. Yani, bu iki dönüşümün yerine doğrudan Park dönüşümü ile 3-fazlı yük akımı duran a-b-c referans düzleminde  $\omega$  açısız hızıyla dönen d-q-0 referans düzlemine geçiş yapılabilir. Park dönüşümü için kullanılan eşitlik,

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(\omega t) & \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (16)$$

biçimindedir. Dönüşüm sonucunda a-b-c referans düzleminde farklı olarak akımların temel frekans bileşenleri d ve q düzleminde sinüsoidal değişim yerine sabit bir değişim göstermektedir. Bu sabit değişim yalnızca akımın temel frekans bileşenleri için geçerli olup akımın harmonik bileşenleri d-q düzleminde salınımlı değişim gösterecektir. Harmoniklerin süzülmesi için bir alçak geçiren filtre kullanılır. Bu filtrelemede kullanılan pencerenin zaman eksenindeki genişliği T/2 kadar olmaktadır. q bileşeni akımın tepkin bileşenini ve d ise akımın etkin bileşenini temsil ettiğinden yalnızca dönüşümden elde edilen d bileşenine filtreleme uygulanarak yükün etkin akım bileşeni elde edilir. Filtreleme öncesi d ve q bileşenleri

$$I_d = \bar{I}_d + \tilde{I}_d \quad (17)$$

$$I_q = \bar{I}_q + \tilde{I}_q \quad (18)$$

biçimindedir. Filtreleme yalnızca akımın d bileşenine uygulanarak  $\bar{I}_d$  elde edilir.  $\bar{I}_d$ , akımına EGS kayıplarını karşılayacak bir kayıp etkin akım bileşeni eklenerek

şebekeden çekilmesi istenen etkin akım bileşeninin d-q düzlemindeki karşılığı bulunur.

$$I_{d-kaynak} = \bar{I}_d + I_{d-kayıp} \quad (19)$$

Hesaplanan bu değere ters park dönüşümü veya Clarke ve d-q dönüşümleri uygulanarak a-b-c referans düzlemindeki karşılığı bulunur. Ters park dönüşümü

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \sin(\omega t) & \cos(\omega t) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

biçiminde olup EGS için yük akımının yalnızca temel frekanstaki etkin bileşeninin bulunması gerektiğinden  $I_d$  yerine  $I_{d-kaynak}$ ,  $I_q$  yerine 0 ve  $I_0$  yerine 0 alınarak istenen kaynak tarafı akımları ( $I_{a-kaynak}$ ,  $I_{b-kaynak}$ ,  $I_{c-kaynak}$ ) bulunmuş olur. Bu akımlar yük akımlarından çıkartılarak EGS'nin vermesi gereken tepkin ve harmonik akım bileşeni değeri hesaplanır. Bulunan bu akım EGS referans akım değeridir.

$$\begin{bmatrix} I_{a-ref} \\ I_{b-ref} \\ I_{c-ref} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} I_{a-kaynak} \\ I_{b-kaynak} \\ I_{c-kaynak} \end{bmatrix} \quad (21)$$

Bu yöntemde eşitliklerde görülen  $\omega t$  değeri şebeke geriliminin anlık açı değeri olup bu değer bir PLL yapısı kullanılarak elde edilir. D-q yönteminde gerilimin senkronizasyon amaçlı olarak açısı değeri ihtiyaç duyulması yöntemin en önemli dezavantajıdır. Bu yüzden yöntemin çalışma performansı kullanılan açı hesaplama (PLL) yöntemi ile çok yakından ilişkilidir. 3-fazlı gerilimlerin dengesiz veya harmonikli olması doğrudan hesaplamaları etkilememektedir. Hesaplamalar doğrudan 3-faz akımları üzerinden yapılmaktadır. Yöntem, basit yapısı nedeniyle EGS üzerine yapılan çalışmalarda en çok kullanılan yöntemlerden biridir.

## 2.3. Etkin Olmayan Güç Teorisi Yöntemi

İlk olarak 1930'lu yıllarda Fryze tarafından ortaya konulan bu teori, etkin gücün dışında kalan bütün gücü etkin olmayan güç olarak tanımlar. Bir 3-fazlı yükün anlık gücü

$$p(t) = I_a(t) \cdot U_a(t) + I_b(t) \cdot U_b(t) + I_c(t) \cdot U_c(t) \quad (22)$$

olarak tanımlanır. Bu gücün harmoniklerin de durumu göz önüne alınarak belli bir zaman aralığındaki ortalaması (genellikle T/2 kadar) alınarak yükün etkin güç bileşeni bulunabilmektedir. Buna göre yükün herhangi bir t anındaki etkin gücü

$$P(t) = \frac{2}{T} \int_{t-\frac{T}{2}}^t p(\tau) d\tau \quad (23)$$

eşitliği ile verilmektedir. Bu yöntemde anlık etkin akım

$$i_{act-a}(t) = \frac{P(t)}{V_p^2(t)} v_a(t) \quad (24)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada  $i_{act-a}(t)$  yükün a fazına ait akımın etkin bileşenini,  $V_p(t)$  referans gerilimin t anındaki rms

değerini,  $V_a(t)$  a fazı geriliminin anlık değerini göstermektedir. 3-fazlı sistemdeki anlık rms değerinin hesabı için kullanılacak gerilimlerin saf sinüsoidal olması doğruluk açısından önemlidir. Bu açıdan bakıldığında bu yöntem ile EGS referans akımı çıkarımı yapılmak isteniyorsa gerilimlerin öncelikle bir harmonik ayrıştırılmaya tabi tutulması gerektiği sonucu çıkar. Saf sinüsoidal durumda 3-fazlı gerilimlerin pozitif bileşeni rms değeri

$$V_p(t) = \sqrt{V_a^2(t) + V_b^2(t) + V_c^2(t)} \quad (25)$$

biçimindeki anlık değerlerden veya

$$V_p(t) = \sqrt{\frac{2}{T} \int_{t-\frac{T}{2}}^t [v_a^2(\tau) + v_b^2(\tau) + v_c^2(\tau)] d\tau} \quad (26)$$

biçimindeki eşitlik ile belli aralıktaki değerlerden bulunabilir. Anlık etkin olmayan akımın a-fazı için değeri

$$i_{nact-a}(t) = i_a(t) - i_{act-a}(t) \quad (27)$$

ile bulunur. Diğer iki faz için benzer yolla hesaplamalar yapılarak etkin olmayan akımlar bulunabilmektedir. Etkin olmayan güç teorisinin EGS denetiminde kullanımı için hesaplanan anlık etkin güce EGS kayıp gücü de eklenir. Bu yöntem ile elde edilen etkin olmayan akım değerleri EGS için referans akımı oluşturur. Bu teoride yapılan tüm hesaplamalar anlık değerlere göre yapıldığından gerçek zamanlı uygulamalara oldukça uygundur. Etkin akımın bulunulmasında gerilimin anlık değeri kullanıldığından gerilimin harmonikli olması yanlış sonuç verecektir. Harmonikli gerilimin neden olacağı sorunlara karşı bu gerilimler bir ön filtrelemeye tabi tutulabilir. Fakat bu da yöntemin hesap yükü de artacaktır.

#### 2.4. Doğrudan Akım Denetimi Yöntemi

Doğrudan akım denetimi yönteminde EGS d.a. tarafı sığaç geriliminin değeri üzerinden olması gereken şebeke tarafı akımının bulunmasına çalışılır. Şebeke gerilimi ile aynı fazda olması gereken akımın genliği bir PI denetleyici üzerinden hesaplanır. Hesaplanan şebeke tarafı akımı yük akımından çıkarılarak EGS'nin referans akımı bulunur. Hesaplanan genlik olması gereken değer üstünde olduğunda şebekeden çekilen etkin gücün yük talebinden fazla olması nedeniyle etkin güçteki fazlalık EGS sığaç geriliminin referans değerinin üstüne çıkmasına neden olacaktır. Sığaç gerilimindeki bu artış kullanılarak hesaplanan şebeke akımı genliğinde PI denetleyici ile bir düzeltme yapılır. Özetle, sığaç geriliminin değeri üzerinden şebeke etkin akımının genliği bulunmaktadır. Şebekeden yalnızca etkin güç çekilmesinin bir sonucu olarak olması gereken şebeke akımı şebeke gerilimi ile aynı fazda olmalıdır. Bu yüzden her bir fazın her bir t anı için geçerli olacak birim sinüs dalga biçimleri sırasıyla,

$$V_{smax} = \sqrt{\frac{2}{3} (V_a^2(t) + V_b^2(t) + V_c^2(t))} \quad (28)$$

$$V_{a-birim}(t) = \frac{V_a(t)}{V_{smax}} = \sin(\omega t) \quad (29)$$

$$V_{b-birim}(t) = \frac{V_b(t)}{V_{smax}} = \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad (30)$$

$$V_{c-birim}(t) = \frac{V_c(t)}{V_{smax}} = \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \quad (31)$$

eşitlikleri kullanılarak elde edilir. Bu eşitlikler kullanılan şebeke gerilimlerinin saf sinüsoidal olduğu varsayımına dayanır. Bulunan birim sinüs değerleri bir PI denetleyici tarafından hesaplanan şebeke akım genliği ( $I_{smax}$ ) ile çarpılarak şebeke akımı bulunur.

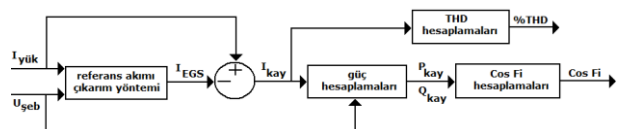
$$I_{sa}(t) = I_{smax} \cdot V_{a-birim}(t) \quad (32)$$

Diğer iki faz akımı da benzer şekilde hesaplanır. PI denetleyici hesaplamayı girişine verilen sığaç gerilimi sapmasından yapmaktadır. Bulunan şebeke akımı yük akımından çıkarılarak istenilen EGS referans akımı hesaplanmış olur. Hesapsal açıdan oldukça basit ve sade bir yapı gösteren bu yöntemin iki önemli dezavantajı bulunmaktadır. Bunlar, hesaplamaların 3-fazlı gerilimlere oldukça bağımlı olması ve yapıda kullanılan denetleyicinin (burada PI) hayati bir öneme sahip olmasıdır.

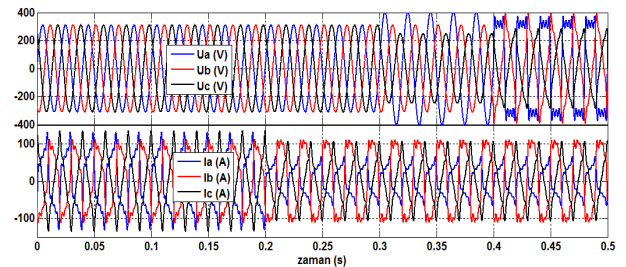
### 3. Benzetim Çalışmaları

Bu bölümde yapısı anlatılmış olan 4 farklı EGS referans akımı çıkarım yapısının Matlab/Simulink ortamındaki benzetimleri anlatılmıştır. Benzetimlerde yük akımlarının ve kaynak gerilimlerinin harmonikli ve/veya dengeli olup olmasının referans akım çıkarımına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla gerilimlerin ve akımların 4 farklı kombinasyonu 0,5 saniyelik zaman aralığında kullanılarak yöntemlere olan etkileri incelenmiştir. Kullanılan akımlar ve gerilimler: 0-0,2s aralığında **dengeli gerilimler, dengeli ve harmonikli akımlar** (1. bölge), 0,2-0,3s aralığında **dengeli gerilimler, dengesiz ve harmonikli akımlar** (2. bölge), 0,3-0,4s aralığında **dengesiz gerilimler, dengesiz ve harmonikli akımlar** (3. bölge), 0,4-0,5s aralığında **dengesiz ve harmonikli gerilimler, dengesiz ve harmonikli akımlar** (4. bölge) biçimindedir.

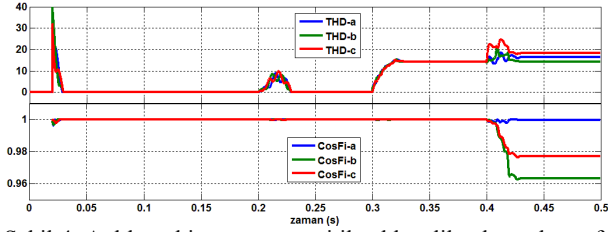
Benzetimlerde EGS yapısı tamamen göz ardı edilerek yalnızca referans akımı çıkarım yöntemlerinin hesapladığı değerler dikkate alınmıştır. Kullanılan referans akımı çıkarım yöntemleri ile kaynak tarafı güç katsayılarının 1 yapılması ve akım THD değerlerinin de % 0 yapılması amaçlanmıştır. Ayrıca PI denetleyici ve PLL yapılarının ideal cevapları kullanılmıştır. Yöntemlere girdi olarak kullanılan EGS kayıp güçleri de sıfır alınmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarının genel şeması Şekil 2'de verildiği gibidir.



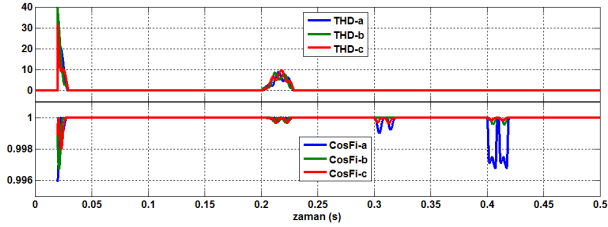
Şekil 2. Referans akımı çıkarım yöntemlerinin benzetiminde kullanılan genel yapı



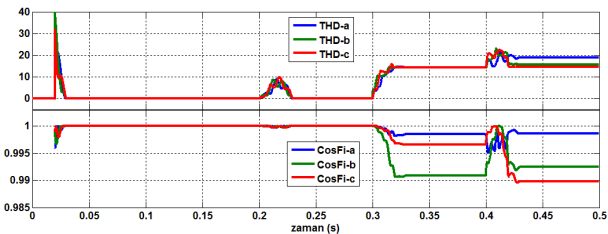
Şekil 3. Benzetimde kullanılan kaynak gerilimlerinin ve yük akımlarının değişimleri



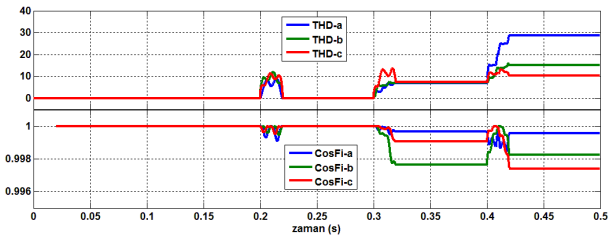
Şekil 4. Anlık tepkin güç yöntemi ile elde edilen kaynak tarafı akımların THD değerlerinin ve güç katsayılarının değişimi



Şekil 5. Senkron referans düzlemi yönteminde kaynak tarafı akımların THD değerlerinin ve güç katsayılarının değişimi



Şekil 6. Etkin olmayan güç teorisyle elde edilen kaynak tarafı akımlarının THD değerleri ve güç katsayılarının değişimi



Şekil 7. Doğrudan akım denetimi yönteminde kaynak tarafı akımlarının THD değerleri ve güç katsayılarının değişimi

Şekil 3'te verilen kaynak gerilimleri ve yük akımları kullanarak yapılan benzetim çalışmaları sonucunda her dört yöntem için elde edilen kaynak tarafı akımlarının THD değerlerinin ve güç faktörlerinin değişimleri Şekil 4-7'de verilmiştir. Yalnızca akımın harmonikli olması durumunda (1. bölge) bütün yöntemler hem harmonik ayrıştırma açısından hem de tepkin güç kompanzasyonu açısından çok iyi sonuçlar vermektedir. Aynı şartlar akımların dengesiz olması durumunda (2. bölge) da devam etmektedir. Yani yük akımlarındaki dengesizlik veya harmonik yöntemlerin başarımını etkilememektedir. Gerilimlerin de dengesizliği durumunda (3. bölge) yalnızca senkron referans düzlemi yöntemiyle elde edilen THD değeri %0 olmaktadır. Elde edilen güç çarpanı bakımından yine senkron referans düzlemi ve anlık tepkin güç yöntemleri teorik olarak mükemmel sonuçlar vermektedir. Hem akımın hem de gerilimin dengesiz ve harmonikli olması halinde (4. bölge) senkron referans düzlemi yöntemi dışındaki diğer yöntemlerin başarımı azalmaktadır. İlk bakışta bu yöntemin en avantajlı yöntem

olduğu düşünülse de bu yöntemde yer alan PLL yapısı yöntemin düzgün çalışması bakımından oldukça önemlidir. PLL yapılarının dengesiz ve harmonikli gerilim koşulları altında çoğu kez kararsız cevap verdiği ve tasarımlarında buna özellikle dikkat edilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada paralel etkin güç süzgeçlerinin referans akımının çıkarımında kullanılan dört farklı yöntem incelenmiştir. Harmonik bileşenler ve dengesizlik bakımından yapılan incelemede en iyi sonucu senkron referans düzlemi yöntemi vermiştir. Fakat bu yapının çalışması içerdiği PLL yapısının çalışmasına oldukça bağımlı olduğundan bu durumun gerçek bir uygulamada göz önüne alınması gerekir. Bu ve diğer yöntemlerin avantaj ve dezavantajları ikinci bölümde detaylı olarak verilmiştir. Genel olarak gerilimdeki dengesizliklerin her dört yöntemde sonucu etkilemediği görülmektedir. Burada yapılan analizler EGSnin diğer hesapsal kısımlarını içermediğinden gerçek bir uygulamada diğer kısımların da göz önüne alınması gerekmektedir.

#### 5. Kaynaklar

- [1] Vodyakho, O.; Mi, C.C.; , "Three-Level Inverter-Based Shunt Active Power Filter in Three-Phase Three-Wire and Four-Wire Systems," Power Electronics, IEEE Transactions on , vol.24, no.5, pp.1350-1363, May 2009
- [2] Ghosh, A.; Joshi, A.; , "A new approach to load balancing and power factor correction in power distribution system," Power Delivery, IEEE Transactions on , vol.15, no.1, pp.417-422, Jan 2000
- [3] da Silva, S.A.O.; Neto, A.F.; Cervantes, S.G.S.; Goedel, A.; Nascimento, C.F.; , "Synchronous reference frame based controllers applied to shunt active power filters in three-phase four-wire systems," Industrial Technology (ICIT), 2010 IEEE International Conference on , vol., no., pp.832-837, 14-17 March 2010
- [4] Yan Xu; Tolbert, L.M.; Chiasson, J.N.; Campbell, J.B.; Peng, F.Z.; , "Active Filter Implementation Using a Generalized Nonactive Power Theory," Industry Applications Conference, 2006. 41st IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2006 IEEE , vol.1, no., pp.153-160, 8-12 Oct. 2006
- [5] Ambrozic, V.; Fiser, R.; Nedeljkovic, D.; , "Direct current control-a new current regulation principle," Power Electronics, IEEE Transactions on , vol.18, no.1, pp. 495-503, Jan 2003
- [6] Moreno, V.; Pigazo, A.; Diego, R.I.; , "Reference estimation technique for active power filters using a digital Kalman algorithm," Harmonics and Quality of Power, 2002. 10th International Conference on , vol.2, no., pp. 490- 494 vol.2, 6-9 Oct. 2002
- [7] Bhattacharya, A.; Chakraborty, C.; , "A Shunt Active Power Filter With Enhanced Performance Using ANN-Based Predictive and Adaptive Controllers," Industrial Electronics, IEEE Transactions on , vol.58, no.2, pp.421-428, Feb. 2011
- [8] Freijedo, F.D.; Doval-Gandoy, J.; Lopez, O.; Fernandez-Comesana, P.; Martinez-Penalver, C.; , "A Signal-Processing Adaptive Algorithm for Selective Current Harmonic Cancellation in Active Power Filters," Industrial Electronics, IEEE Transactions on , vol.56, no.8, pp.2829-2840, Aug. 2009