

A Comparative Analysis of Control Algorithms Used for Shunt Active Power Filter with PSIM

Hacer Ucgun
Institute of Natural and Applied Sciences,
BilecikSeyhEdebali University, Bilecik/ Turkey
E-mail: hacerk.ucgun@gmail.com

Yasemin Onal
Department of Electrical and Electronics Engineering,
BilecikSeyhEdebali University, Bilecik/ Turkey
E-mail: yasemin.onal@bilecik.edu.tr

Abstract

Nonlinear loads connected to the grids cause harmonics and power quality problems. In this study, it is aimed to eliminate harmonics drawn from the source by nonlinear loads using shunt active power filter (SAPF), reactive power compensation, balance of load currents and DC bus voltage regulation. In the study, instantaneous reactive power method (PQ), synchronous reference frame (SRF) method and improved PQ method are compared from control methods used in SAPF. Simulation studies were tested using PSIM software and simulation results were compared. When the instantaneous reactive power method is used, the harmonics of the source current of 23.06% is reduced to 2.5%. When the improved PQ method is used, harmonics of the source current of reduced to 4.03%. When the SRF method is used, harmonic of the source current of reduced to 1.79%. The simulation results show that the source current is sinusoidal and the total harmonic distortion (THD) limit value proposed by the IEEE 519-2014 standard is lower than %5 [1]. Also, it has been found that the results obtained by using the SRF control method are more successful in reducing the harmonics according to the instantaneous reactive power method and the results obtained from the improved PQ method.

Keywords: Harmonic Analysis, Reactive Power Compensation, Shunt APF, Power Quality, PSIM

Paralel Aktif Güç Filtresinde Kullanılan Kontrol Algoritmalarının PSIM ile Karşılaştırmalı Analizi

Özet

Şebekeye bağlı doğrusal olmayan yükler harmoniklere ve güç kalitesi sorunlarına neden olmaktadır. Bu çalışmada paralel aktif güç filtresi (PAGF) kullanılarak doğrusal olmayan yüklerin kaynaktan çektiği harmoniklerin yok edilmesi, reaktif güç kompanzasyonu, yük akımlarının dengelenmesi ve DA bara gerilim regülasyonu amaçlanmıştır. Bu çalışma, 3 fazlı bir paralel aktif güç filtresi için kullanılan kontrol algoritmalarının karşılaştırılmasını sunmaktadır. PAGF'ler gerekli kompanzasyon akımlarını üretmek için kontrol edilir. Çalışma kapsamında PAGF'lerde kullanılan kontrol algoritmalarından anlık reaktif güç algoritması (PQ), senkron referans yapı (SRY) algoritması ve geliştirilmiş PQ algoritması karşılaştırılmıştır. Simülasyon çalışmaları, PSIM yazılımı kullanılarak test edilmiş ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan simülasyon çalışmalarında, anlık reaktif güç algoritması kullanıldığında kaynak akımındaki %23.06 oranındaki harmonik %2.5 oranına, geliştirilmiş PQ algoritması kullanıldığında kaynak akımındaki harmonik %4.03 oranına ve SRY algoritması kullanıldığında ise kaynak akımındaki harmonik %1.79 oranına düşürülmüştür. Yapılan çalışmada farklı

referans akım çıkartım algoritmalarıyla kontrol edilen 3-fazlı PAGF'nin doğrusal olmayan yük altında simülasyon sonuçları verilerek çalışma performanslarının karşılaştırılması sunulmaktadır. Simülasyon sonuçlarında, kaynak akımının sinüzoidal olduğu ve IEEE 519-2014 standardının önerdiği toplam harmonik bozulma (THB) sınır değerinin %5'ten düşük olduğu görülmüştür [1]. Ayrıca, SRY kontrol algoritması kullanılarak elde edilen sonuçların anlık reaktif güç algoritması ve geliştirilmiş PQ algoritmasından elde edilen sonuçlara göre harmoniklerin azaltılmasında daha başarılı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Harmonik Analizi, Reaktif Güç Kompanzasyonu, Paralel AGF, Güç Kalitesi, PSIM

1. Giriş

Endüstriyel teknolojideki hızlı büyüme nedeniyle, elektrik tüketimi her geçen gün artmaktadır. Tüketilen enerjinin, kayıp olmadan verimli ve sürekli olarak iletilmesi istenmektedir [2]. Güç elektroniği bileşenlerinin artan kullanımı ile birlikte şebekeye bağlı doğrusal olmayan yükler, güç kalitesi sorunlarına neden olmaktadır. Güç kalitesi problemleri; gerilim dalgalanmaları, gerilimde dengesizlikler, kaynak akımında yüksek harmonikler, gerilim düşüşleri, gerilim sarkmaları ve gerilimde çentiklerdir [3]. Tristörler ve diyotlar dahil olmak üzere alternatif akım/doğru akım (AA/DA) dönüştürücüler, enerji sisteminden büyük miktarda harmonik akım çekmektedir. Harmonik akımlar, kondansatörlerde arızaya, elektrik makinelerinin gürültülü çalışmasına, kullanılan makinelerde demir ve bakır kayıplarının artmasına ve elektronik cihazların aşırı ısınmasına neden olmaktadır [4]. Literatürde, güç kalitesi problemlerini, harmonik akımları, güç faktörlerini ve reaktif güç kompanzasyonunu ortadan kaldırmak için pasif ve aktif filtreler kullanılmaktadır. Pasif filtrelerin devre yapısının basit ve maliyetlerinin düşük olmasının yanında, büyük boyutlu olmaları, sabit kompanzasyon problemi ve ayar problemleri gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Ayrıca harmonik sayısı kadar filtreye ihtiyaçları vardır [5]. Günümüzde harmonikleri ortadan kaldırmak ve reaktif güç kompanzasyonu yapmak için aktif anahtarların yüksek frekanslarda tetiklenmesinden dolayı paralel aktif güç filtresi (PAGF) kullanılmaktadır.

PAGF kullanılarak doğrusal olmayan yüklerin kaynaktan çektiği harmoniklerin yok edilmesi, reaktif güç kompanzasyonu, yük akımlarının dengelenmesi ve DA bara gerilim regülasyonu amaçlanmıştır. Bu çalışmada 3 fazlı bir PAGF için kullanılan kontrol algoritmalarının karşılaştırılması sunulmaktadır. PAGF'ler bir DA barakapasitörüne sahip üç fazlı gerilim kaynağı invertöründen oluşmaktadır. Gerekli kompanzasyon akımlarını üretmek için kontrol algoritmaları kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında PAGF'lerde kullanılan kontrol algoritmalarından anlık reaktif güç algoritması (PQ), senkron referans yapı (SRY) algoritması ve geliştirilmiş PQ algoritması karşılaştırılmıştır. PAGF kontrol algoritmasında kullanılan anlık reaktif güç algoritması, doğrusal olmayan tristörlü yük akımları ve kaynak gerilimleri ölçülmektedir. Üç faz a-b-c koordinatlarındaki akımların ve gerilimlerin Clarke dönüşümü ile $\alpha\beta$ bileşenleri elde edilmektedir ve anlık aktif ve reaktif güçler hesaplanmıştır [6]. Hesaplanan aktif güç yüksek geçiren filtreden geçirilerek gücün AA bileşeni elde edilmiştir. PAGF kayıplarını gidermek ve DA bara gerilim salınım ve değişimlerini azaltmak amacıyla kayıp güç AA güce ilave edilmektedir. Elde edilen güç kullanılarak filtre akım bileşenleri elde edilmekte ve Ters Clarke dönüşümü kullanılarak referans akımın a-b-c bileşenleri elde edilmiştir. Elde edilen akımın a-b-c bileşenleri ve filtre akımları karşılaştırılarak anahtarlama sinyallerini elde edilmiştir [7].

SRY algoritmasında, kaynak gerilimleriyle senkronizasyonu sağlamak için Faz Kilitlemeli Döngü (FKD) devresi kullanılmıştır. Üç faz a-b-c yük akımlarının ve kaynak gerilimlerinin park dönüşümü kullanılarak d-q bileşenleri elde edilmiştir. Yük akımında oluşan harmoniklerin ve dengesizliklerin yok edilmesi ve reaktif güç kompanzasyonu için yüksek geçiren filtre kullanılarak d eksenindeki akımın AA bileşeni elde edilmiştir. DA bara gerilimi kullanılarak kayıp güç elde edilmiş ve akımın AA bileşenine ilave edilmiştir. Ters Park dönüşümü kullanılarak referans akımın a-b-c bileşenleri elde edilmiştir ve filtre akımları ile karşılaştırılarak anahtarlama sinyallerini elde edilmiştir [8]. Geliştirilmiş PQ algoritmasında, kaynak gerilimleriyle senkronizasyonu sağlamak için FKD devresi kullanılmıştır. Üç faz a-b-c kaynak akımlarının ve kaynak gerilimlerinin park dönüşümü kullanılarak dq bileşenleri elde edilmiştir ve anlık aktif ve reaktif güçler hesaplanmıştır. Hesaplanan aktif güç alçak geçiren filtreden geçirilerek gücün DA bileşeni elde edilmiştir. Kayıp güç DA güce ilave edilmekte ve referans akım bileşenleri hesaplanmaktadır. Ters Park dönüşümü kullanılarak referans akım bileşenlerinden a-b-c akım bileşenleri elde edilmiştir [9].

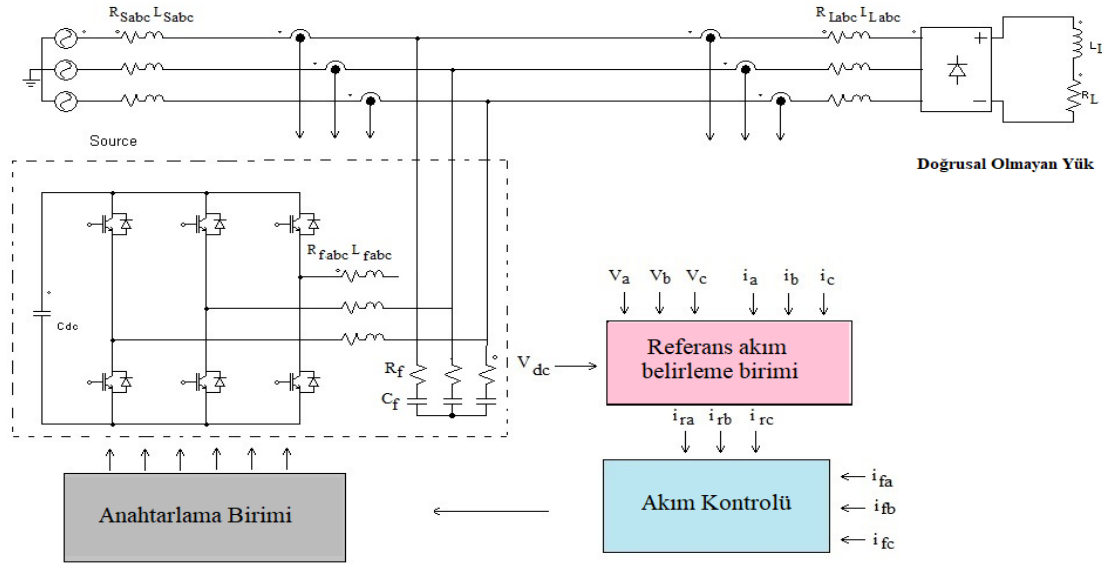
PAGF kullanılarak doğrusal olmayan yüklerin kaynaktan çektiği harmonikler, reaktif güç kompanzasyonu, yük akımlarının dengelenmesi ve DA bara gerilim regülasyonu yapılmaktadır. Fakat PAGF ile şebeke gerilim harmonik kompanzasyonu, gerilim yükselme-çöküşleri ve gerilim

dengelesizlikleri giderilememektedir. PAGF ile şebeke gerilim harmonik kompanzasyonu, gerilim yükselme-çöküşleri ve gerilim dengelesizlikleri giderilememektedir. Gerilimdeki harmonikleri yok etmek için seri AGF kullanılmaktadır.

2. Paralel Aktif Güç Filtresi

Paralel Aktif Güç Filtresi (PAGF), doğrusal olmayan tristörlü yüklerin oluşturduğu harmonikleri elimine etmek ve akımlarda oluşan dengelesizlikleri ortadan kaldırmak için kullanılır. Şekil 1'de PAGF, doğrusal olmayan yüke paralel olarak bağlanmış bir akım kaynağı gibi çalışmaktadır [10].

Paralel Aktif Güç Filtresi kaynak tarafındaki 3 faz gerilimleri ve akımları veya doğrusal olmayan yük tarafında ölçülen akımları kullanarak sistemde oluşan harmonikleri elimine etmek için kullanılmaktadır. Harmonik akım kompanzasyonu için, akımlar Park veya Clarke dönüşümleri kullanılarak iki fazlı bileşenlere ayrılmaktadır. Kullanılan kontrol algoritmasına göre FKD devresi ile Sinüs ve kosinüs fonksiyonları elde edilmektedir. Bu fonksiyonlar kaynak gerilimi ve akımı ile senkronizasyonu sağlamaya yardımcı olmaktadır. Filtreler kullanarak, harmonikler ve temel bileşenler kolayca ayrılmaktadır. İki fazlı bileşenler ters dönüşüm matrisleri kullanılarak a-b-c filtre referans akımlarına dönüştürülmektedir. Daha sonra kaynak akımları veya yük akımları elde edilen akımlarla karşılaştırılarak anahtarlama sinyalleri elde edilmektedir.

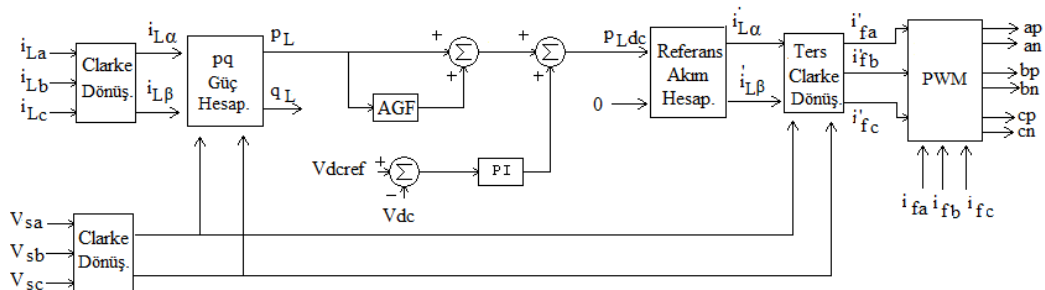


Şekil 1. Paralel aktif güç filtresi

3. Araştırmanın Yöntem ve Algoritmaları

3.1. PQ Kontrol Algoritması

PQ algoritması, anlık aktif ve reaktif güçlerin hesaplanmasına dayanmaktadır [7]. Şekil 2'de detaylı PQ kontrol algoritması gösterilmiştir.



Şekil 2. PQ kontrol algoritması

Yük akımlarının ve kaynak gerilimlerinin $\alpha\beta$ bileşenleri Clarke dönüşümü ile denklem 1 ve 2 kullanılarak elde edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

Anlık aktif ve reaktif güç, üç fazlı kaynak akımlarının $\alpha\beta$ bileşenleri denklem 3'te üç fazlı gerilimler kullanılarak hesaplanmıştır [11].

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (3)$$

DA bara gerilimi referans değeri ile karşılaştırılarak gerekli aktif güç kaybı $p_{kayıp}$ bir PI kontrolörü ile elde edilmiştir. Anlık aktif ve reaktif güç AA ve DA bileşenleri içermektedir. P ve Q'nun DA bileşenleri yük akımının pozitif dizi bileşeninden oluşmaktadır. AA bileşenleri, yük akımının harmonik ve negatif dizi bileşenlerinden oluşmaktadır.

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{p} + \tilde{p} \\ \bar{q} + \tilde{q} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Gücün AA temel bileşeni yüksek geçiren filtre (YGF) kullanılarak elde edilmiştir. Referans $\alpha\beta$ akımı, kaynak gerilimi ve AA güç bileşeni, kayıp gücü ve sıfır reaktif güç bileşeninin ters dönüşüm matrisi kullanılarak bulunmuştur.

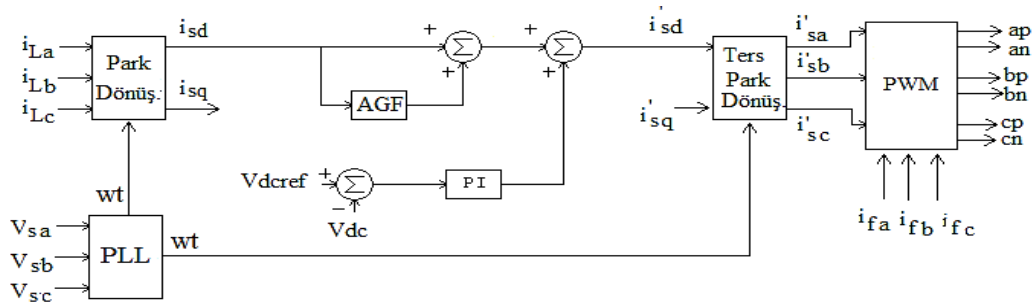
$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \quad (5)$$

Son olarak, üç fazlı a-b-c referans akım bileşenleri, denklem 5'te üretilen referans akım değerlerinin ters Clarke dönüşümüyle elde edilmiştir. Bu akımlar algılanan filtre akımları ile karşılaştırılıp hata bir PI denetleyiciden geçirilip anahtarlama sinyalleri üretilmiştir.

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1 & 0 \\ 1/\sqrt{2} & -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ 1/\sqrt{2} & -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (6)$$

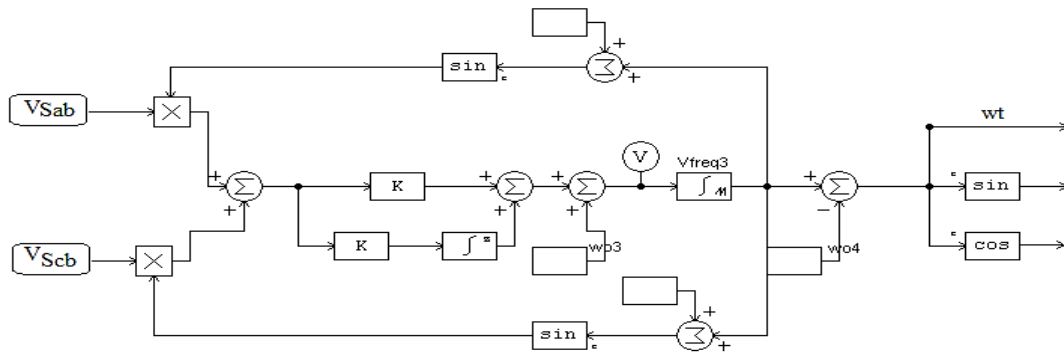
3.2. SenkronReferansYapı (SRY) KontrolAlgoritması

Detaylı SRY kontrol algoritması Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. SRY kontrol algoritması

Park dönüşümü olarak bilinen dq0 dönüşümü, senkron referans yapı algoritmasında kullanılmaktadır. Bu dönüşüm için üç fazlı kaynak gerilimi bilgisi gerekmektedir. Şekil 4'te gösterilen SRY FKD devresi, sistem gerilim sinyallerinin pozitif sıralı bileşenlerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır.



Şekil 4.SRY FKD kontrol devresi

Üç fazlı hat gerilimi, ölçülerek FKD devresinin girişine uygulanmıştır. FKD devresinin çıkış sinyali olarak ωt dönüşüm açısı hesaplanmıştır [12].

İlk olarak, FKD devresinin girişine, üç fazlı anlık faz gerilimi $V_{sab}=V_{sa}-V_{sb}$ ve $V_{scb}=V_{sc}-V_{sb}$ uygulanmıştır. Daha sonra, hesaplanan kaynak gerilimleri, üç fazlı anlık aktif güç elde etmek için birleşme genliği ile geri besleme akımları çarpılmıştır. Referans temel açısal frekans $2\pi f$ oransal-integral PI çıkışına eklenmiştir. Son olarak, bu hesaplamaların entegrasyonu ile oransal dönüşüm açısı elde edilmiştir. Sonuç olarak, SRY FKD çıkışındaki ωt , ölçülen kaynak gerilimi V_{sa} 'nın temel pozitif dizi bileşenleri ile aynı faz açısındadır.

Yük akımlarının ve kaynak gerilimlerinin d ve q bileşenleri, Park dönüşümü ile denklem 7 ve 8 kullanılarak elde edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_d \\ V_q \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} i_0 \\ i_d \\ i_q \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$[T] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ \sin(\omega t) & \sin(\omega t - 2\pi/3) & \sin(\omega t + 2\pi/3) \\ 0 & \sin(\omega t - 2\pi/3) & \cos(\omega t + 2\pi/3) \end{bmatrix} \quad (8)$$

DA bara gerilimi referans değeri ile karşılaştırılır ve kayıp akımın d bileşeni ($i_{dkayıp}$) bir PI kontrolörü ile elde edilmiştir. Referans akımının d bileşeni kaynak akımının d bileşeni YGF'den geçirilerek ve kayıp

akıma ilave edilerek hesaplanmıştır. Referans akımın q bileşeni denklem 9'da verildiği gibi sıfır olarak alınmaktadır.

$$i'_{sq} = 0, \quad i'_{sd} = i_{dkayıp} + YGF(i_{sd})(9)$$

Üç fazlı abc referans akım bileşenleri denklem 10 ve 11 kullanılarak Ters Park dönüşümü ile elde edilmiştir.

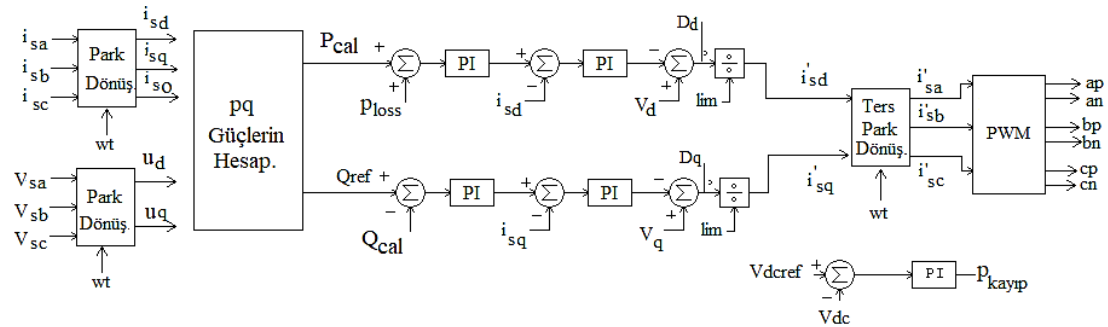
$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} V_0 \\ V_d \\ V_q \end{bmatrix} (10)$$

$$[T]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & \sin(\omega t) & \cos(\omega t) \\ 1/\sqrt{2} & \sin(\omega t - 2\pi/3) & \cos(\omega t - 2\pi/3) \\ 1/\sqrt{2} & \sin(\omega t + 2\pi/3) & \cos(\omega t + 2\pi/3) \end{bmatrix} (11)$$

SRY kontrol algoritması tarafından üretilen referans akım değerleri, filtre akım değerleri ile karşılaştırarak anahtarlama sinyalleri elde edilmiştir.

3.3. Geliştirilmiş PQ Algoritması

Detaylı geliştirilmiş PQ kontrol algoritması, Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Geliştirilmiş PQ kontrol algoritması

Kaynak akımlarının ve gerilimlerinin PQ bileşenleri Park dönüşümü ile Denklem 7 kullanılarak hesaplanmıştır. DA bara gerilimi referans değeri ile karşılaştırılmış ve gerekli aktif güç kaybı $p_{kayıp}$ bir PI kontrolörü ile elde edilmiştir. Anlık aktif ve reaktif güç denklem 12 kullanılarak hesaplanmıştır. Anlık aktif ve reaktif güç AA ve DA bileşenlerini içermektedir.

$$\begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = \frac{3}{2} \begin{bmatrix} u_d & u_q \\ u_q & -u_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} (12)$$

Gücün DA bileşeni, alçak geçiren filtre (AGF) kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen DA güç ile kayıp güç toplanarak referans akım bileşeni hesaplanmıştır. denklem 13 ve denklem 14 kullanılarak gerilimin d ve q bileşenleri elde edilmiştir. Referans akım bileşeni (i_d ve i_q) ile hesaplanan gerilim değerleri karşılaştırılarak Ters park dönüşümüne gönderilmiştir. Ters park dönüşümü kullanılarak abc akım bileşenleri hesaplanmıştır [9].

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3(u_d^2 + u_q^2)} \begin{bmatrix} u_d & u_q \\ u_q & -u_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$V_d = \frac{u_d - (I_{sd} \times \omega_0)}{V_{dc}}, V_q = \frac{u_q - (I_{sq} \times \omega_0)}{V_{dc}} \quad (14)$$

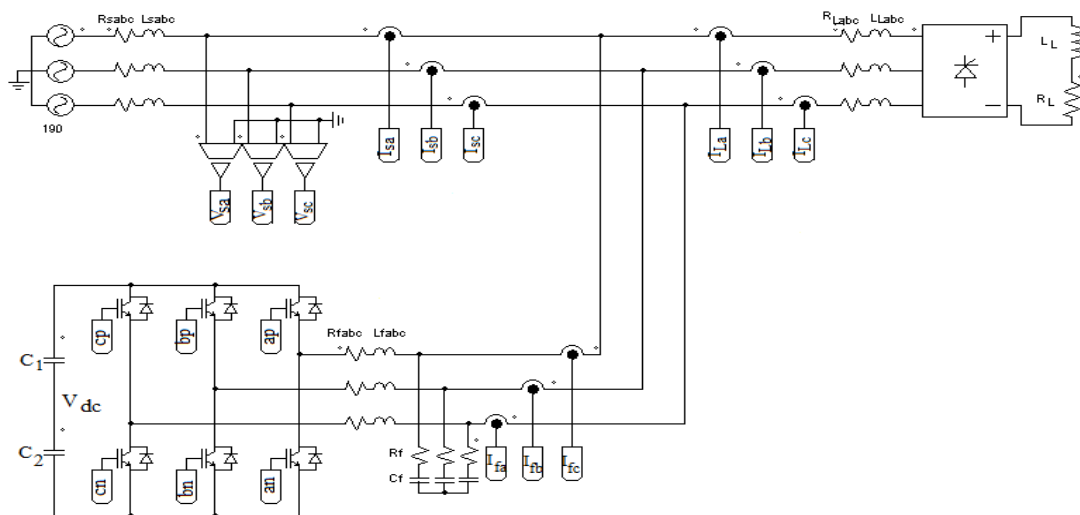
Anahtarlama sinyalleri, kontrol algoritması tarafından elde edilen referans filtre akım değerleri, kaynak akım değerleri ile karşılaştırarak oluşturulmuştur.

4. Simülasyon Çalışmaları

Bu çalışmada, doğrusal olmayan tristör yüküne sahip üç fazlı bir sistem olan PAGF kontrol algoritmalarının simülasyonu, PSIM yazılımı ile test edilmiştir. Simülasyon çalışmasının parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Çalışma kapsamında senkron referans yapı algoritması, PQ algoritması ve geliştirilmiş PQ algoritması olmak üzere üç farklı simülasyon yapılmıştır. Şekil 6'da simülasyon blok şeması göstermiştir.

Tablo 1. Simülasyon Parametreleri

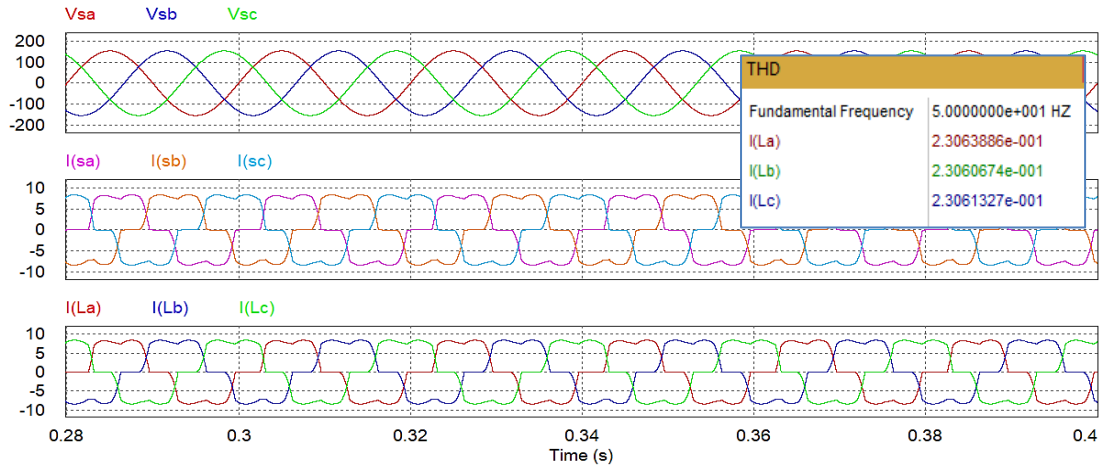
Kaynak	
V_{Sabc}	190Vrms
f	50Hz
R_{Sabc}	100m Ω
L_{Sabc}	3mH
Yük	
R_{Labc}	0.25 Ω
L_{Labc}	1.47mH
R_L	30 Ω
L_L	11.53mH
PAGF	
R_{Fabc}	0.6m Ω
L_{Fabc}	35mH
R_F	5 Ω
CF	4.7 μ F
C_1, C_2	2200 μ F
V_{dc}	700V
Anahtarlama frekansı	10kHz



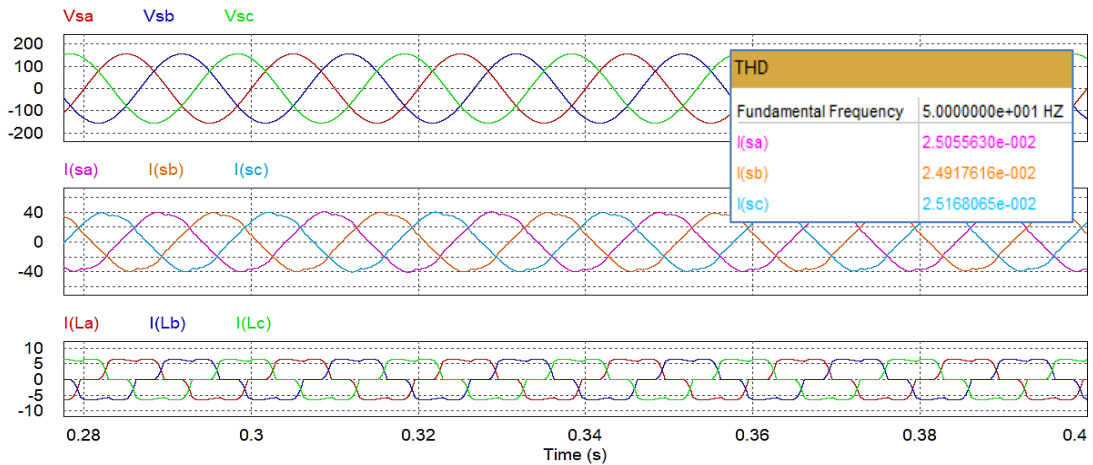
Şekil 6.Paralel aktif güç filtresi PSIM tasarımı

4.1. PAGF'nin PQ Kontrolörü ile Simülasyon Sonuçları

Şekil 7, PAGF olmadan simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Şekil 8'de PAGF ile kaynak gerilimleri ve akımlarının harmonikleri elimine edilmiş ve dengeli ve sinüzoidal dalga şekli gösterilmektedir. Kaynak akım dalga formları, PAGF'nin yük harmonik akımını dengelediği ve kaynak akımının toplam harmonik bozulma değerini (THB) %23.06'dan %4.03'e düşürdüğü tespit edilmiştir.



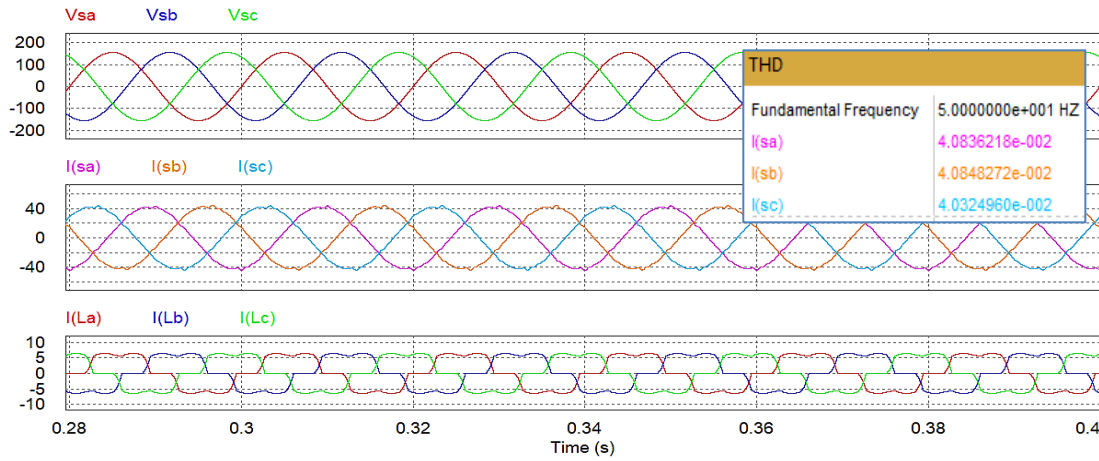
Şekil 7. 3 Faz kaynak gerilimlerinin (V_{sa} , V_{sb} , V_{sc}), kaynak akımlarının (i_{sa} , i_{sb} , i_{sc}), yük akımlarının (i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc}) filtresiz simülasyon sonuçları ve %23.06 THB ölçüm sonucu



Şekil 8. PQ kontrolörünü (V_{sa} , V_{sb} , V_{sc}) kaynak gerilimlerinin, (i_{sa} , i_{sb} , i_{sc}) kaynak akımlarının ve (i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc}) yük akımlarının simülasyon sonuçları ve filtreli kaynak akım harmoniği (THB) sonucu %2.5

4.2. PAGF'nin geliştirilmiş PQ kontrolörü ile simülasyon sonuçları

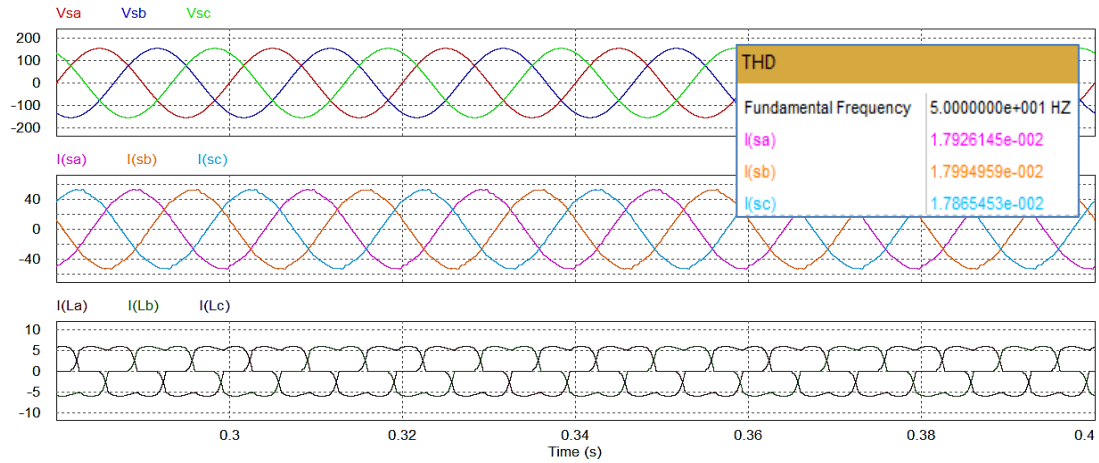
Şekil 9, PAGF'nin geliştirilmiş PQ kontrolörü ile simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Kaynak akım dalga formları, yük harmonik akımını dengelemekte ve kaynak akımının THB değeri %23.06 oranından %4.03'e düşürüldüğü görülmektedir.



Şekil 9. Geliştirilmiş PQ kontrolörü ile (V_{sa} , V_{sb} , V_{sc}) kaynak gerilimlerinin, (i_{sa} , i_{sb} , i_{sc}) kaynak akımlarının ve (i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc}) yük akımlarının simülasyon sonuçları ve THB ölçüm sonucu %2.5

4.3. PAGF'nin SRY kontrolörü ile simülasyon sonuçları

Şekil 10, PAGF'nin SRY kontrol cihazı ile simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Yapılan kompanzasyon sonrası kaynak gerilimlerinin ve akımlarının dengeli ve sinüzoidal olduğu görülmektedir. Kaynak akımının THB değerini %23.06 oranından yaklaşık %1.79'a düşürülmektedir.



Şekil 10. SRY kontrolörün kaynak gerilimlerinin (V_{sa} , V_{sb} , V_{sc}), kaynak akımlarının (i_{sa} , i_{sb} , i_{sc}) ve yük akımlarının (i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc}) simülasyon sonuçları ve filtreli THB ölçüm sonucu %1.79

Simülasyon çalışmaları, PSIM yazılımı kullanılarak test edilmiş ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan simülasyon çalışmalarında, AGF'ye anlık reaktif güç algoritması uygulandığında kaynak akımındaki %23.06 oranındaki harmonik %2.5 oranına, geliştirilmiş PQ algoritması uygulandığında kaynak akımındaki harmonik %4.03 oranına ve SRY algoritması uygulandığında ise kaynak akımındaki harmonik %1.79 oranına düşürülmüştür.

Tablo 2. PQ algoritması, geliştirilmiş PQ algoritması ve SRY algoritmasının karşılaştırılması

PAGF kontrolalgoritmaları	Filtresiz THB (%)	Filtreli THB (%)
Geliştirilmiş PQ algoritması	%23.06	%4.03
PQ algoritması	%23.06	%2.50
SRY algoritması	%23.06	%1.79

5. Sonuç

Güç sisteminde doğrusal olmayan yük kullanıldığı durumda, üç fazlı paralel aktif güç filtresine üç farklı kontrol algoritması uygulanarak kaynak akımındaki harmonikler azaltılmaya çalışılmıştır. PAGF kontrol algoritması, yük akımları veya kaynak akımları ve gerilimleri filtre akımları ve DA bara gerilimi kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Simülasyon sonuçlarında, PAGF'ye anlık reaktif güç algoritması uygulandığında kaynak akımındaki %23.06 oranındaki harmonik %2.5 oranına düşürülmüştür. Geliştirilmiş PQ algoritması uygulandığında kaynak akımındaki harmonik %4.03 oranına düşürülmüştür. Son olarak SRY algoritması uygulandığında ise kaynak akımındaki harmonik %1.79 oranına düşürülmektedir. Yapılan PSIM tabanlı simülasyon çalışmalarında, SRY kontrol algoritmasında alınan sonuçların diğer kontrol algoritmalarından alınan sonuçlara göre reaktif güç kompanzasyonunda ve kaynak akımındaki harmoniklerin azaltılmasında daha başarılı görülmektedir. Ayrıca kaynak akımının sinüzoidal olduğu ve IEEE 519-2014 standardının önerdiği toplam harmonik bozulma (THB) sınır değerinin % 5'ten düşük olduğu görülmektedir.

İleriki çalışmalarda, daha yüksek veri işleme kapasitesi ile yapay zeka teknikleri PAGF kontrol algoritmasında kullanılabilir ve algoritmanın performansı incelenebilir. Ayrıca DA bara hattına ultra kapasitör bağlanarak PAGF'nin performansı incelenebilir. Gelişmekte olan yenilenebilir enerji kaynaklarının PAGF sistemine dahil edilerek çalışmalar gerçekleştirilebilir.

Kaynaklar

- [1] IEEE Pes., (2014). IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. IEEE Std 519-2014 (Revision of IEEE Std 519-1992), New York, 1-29.
- [2] Kesler, M., (2010). Birleşik Güç Kalite Düzenleyicisinin Senkron Referans Yapı Tabanlı Uygulama Tasarımı ve Analizi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli
- [3] Pedapenki, K., Swathi, G., (2017) Analysis of shunt active power filter with unit voltage template method, International Conference on Computation of Power. Energy Information and Communication (ICCPEIC), India, 749–753.
- [4] Shabib, G., Hussein M. M., Haseeb M. M., (2017). Comparative study of different control algorithms of shunt active power filter for non-linear loads. Nineteenth International Middle East Power Systems Conference (Mepcon), Cairo, Egypt, 1037–1043.
- [5] Gali, V., Gupta, N., Gupta A. R., (2017). Improved dynamic performance of shunt active power filter using particle swarm optimization. IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control Optimization and Signal Processing (INCOS), India, 1-7.
- [6] Açıkgöz, H., Şekkel, M., (2014). Elektronik Güç Transformatörlerinin Bulanık Mantık Denetleyici İle Benzetim Çalışması Uluslararası Hakemli Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi (UHMFD), 1(1):28-44. ISSN: 2148-4783. Issue:01 Volume:01 Spring Summer ID:03 K:21

- [7] Czarnecki S. L., (2006). Instantaneous Reactive Power p-q Theory and Power Properties of Three-Phase Systems” IEEE Trans on Power, Vol. 21, No. 1, pp 362-367.
- [8] Şekkeli, M., Açıkgöz, H., Keçecioglu, F.Ö., Gani, A., (2015). Üç Fazlı Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyon Tabanlı Doğrultucuların Bulanık-PI Denetleyici ile Modellenmesi Ve Analizi. Uluslararası Hakemli Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi (UHMFD), 2(3):75-90. Vol.2, ISSN: 2149-2484, Doi: 10.17366/UHMFD.2015310576
- [9] Guihua, L.,Lei, G., Hailiang, T., Xiaohui, Z., Wei, W., (2017). PQ-U control method of grid-connected PV inverter under weak grid. IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), Harbin, China, 1–6.
- [10] Panchbhai, A.,Parmar, S., Prajapati, N., (2017). Shunt Active Filter For Harmonic And Reactive Power Compensation Using P-Q Theory. International Conference on Power and Embedded Drive Control (ICPEDC), Chennai, India, 260-264.
- [11] Thanh, P. H., Van, D. H., Duy, N. A., Duy N. C., (2017). Optimizing Parameters Of The Shunt Active Power Filter Using Genetic Algorithm. 9th International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE), Hue, Vietnam, 233–238.
- [12] Silva C. H.,Pereira R. R., Silva B. E. L., Torres L. G., Bose, K. B., (2008). Improving The Dynamic Response Of Shunt Active Power Filter Using Modified Synchronous Reference Frame PLL, 34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, Orlando, FL, USA, 790–795.