

# AKTİF GÜÇ FİLTRESİ İLE HARMONİK VE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

<sup>1</sup>Engin Özdemir,

<sup>2</sup>Şule Özdemir,

<sup>3</sup>Murat Kale

<sup>1,2,3</sup>Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, 41100 İzmit  
<sup>1</sup>[eoedemir@kou.edu.tr](mailto:eoedemir@kou.edu.tr), <sup>2</sup>[sozaslan@kou.edu.tr](mailto:sozaslan@kou.edu.tr), <sup>3</sup>[kale@kou.edu.tr](mailto:kale@kou.edu.tr)

Anahtar Sözcükler: Aktif Güç Filtresi, Harmonikler, Reaktif Güç Kompanzasyonu

## ABSTRACT

*This paper presents a new control algorithm for an active power filter to compensate harmonic and reactive power of a 3 phase diode rectifier. Reference currents of the active power filter is computed by sensing load current, DC bus voltage and source voltage. Active power filter driving signals are produced with these signals via a hysteresis band current controller. MATLAB/SIMULINK power system toolbox is used to simulate the proposed system. The simulation results are presented and discussed showing the effectiveness of the control algorithm. The proposed algorithm is found quite satisfactory to compensate the reactive power and harmonics.*

## 1. GİRİŞ

Güç elektroniği teknolojisinin son yıllardaki hızlı gelişimi ve statik güç dönüştürücülerini gibi doğrusal olmayan yüklerin kullanımı sonucu güç iletim ve dağıtım sistemlerinde güç kalitesi bozulmuş ve kompanzasyon ihtiyacı daha da artmıştır. Bunun sonucunda birçok gelişmiş ülkede doğrusal olmayan yüklerin ürettiği akım harmoniklerinden kaynaklanan gerilim harmonikleri ve kompanzasyon talebi ciddi bir problem haline gelmiştir. Anlık reaktif güç kompanzasyonu, yüksek gerilim iletim sistemlerinde ve birçok endüstriyel tesiste gerilim kararlılığı sağlamak ve güç kalitesini iyileştirmek için bir zorunluluk haline gelmiştir.

Günümüzde alçak gerilim elektrik enerjisi kalitesindeki sorunlar giderek endişe verici problemler yaratmakta ve güç kalitesinden kaynaklanan şikayetler artmaktadır. Enerji kesilmeleri, ani gerilim yükselmeleri ve düşmeleri, iklim şartlarından kaynaklanan hatalar, elektrik enerjisinin regülasyonu, ayarlanması ve dönüştürülmesi için kullanılan doğrusal olmayan alıcılar (doğrultucular, eviriciler ve kesintisiz güç kaynakları gibi) özel problemler ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, alçak gerilim sistemlerinde koruma cihazları gereksiz açmakta, otomatik kontrol sistemleri etkilenmekte ve aşırı harmonikler güç kalitesini bozarak elektriğin verimli kullanımını engellemektedir.

## 2. AGF

Güç sistemlerinde meydana gelen yukarıdaki problemlerin üstesinden gelmek için, güç sistem hat akım ve gerilimlerinin harmonik bileşenlerini azaltmak ve güç faktörünü arttırmak için filtreleme teknikleri geliştirilmiştir. Güç faktörü ve harmonik kompanzasyonu için en sık kullanılan teknik endüktans ve kapasiteden oluşan pasif filtrelerin uygulanmasıdır. Pasif filtreler, güç sistem akımlarındaki sadece 3. harmonik akımı ve 5. harmonik akımı gibi temel harmonik frekanslarını filtrelemek için ayarlanabilirler. Ayrıca pasif filtreler kaynak empedansından kolaylıkla etkilenerek kompanzasyon sürecinde istenmeyen rezonans problemlerine neden olurlar.

Doğrusal olmayan yüklerin pasif olarak filtrelenmesindeki bu önemli dezavantajlar nedeniyle, güç faktörü ve harmonik kompanzasyonu için "Aktif Filtreler" geliştirilmiştir. Güç elektroniği devrelerinin gelişimi ile aktif filtreler pasif filtrelerin bir alternatifini haline gelmiştir. Statik güç dönüştürücülerini ve diğer yüksek güçlü yüklerin ürettiği harmoniklerin bastırılması için 1980'den beri aktif filtreler geliştirilmektedir. Aktif filtreler sadece harmonik akımları kompanze etmekte değil aynı zamanda gerilim dengesizlikleri ve gerilim düşmelerinde de kullanılmaktadır.

Aktif Güç Filtresi (AGF), Şekil 1'de görüldüğü gibi akım denetimi sağlayabilmek için DA tarafına bir kondansatör bağlanmış üç fazlı bir evirici devresinden meydana gelmektedir. AGF temel fonksiyonu şebekeden sinüzoidal ve dengeli güç faktörlü akımlar çekilmesini sağlayarak yükün reaktif güç talebini karşılayıp harmonikleri yok etmektedir.

## 3. DENETİM SİSTEMİ

Aktif Güç Filtresi (AGF) denetimi için önerilen denetim sistemi blok diyagramı Şekil 1'de görülmektedir. Kaynak akımının referans bileşeni ( $I_{smd}^*$ ), DA taraftaki kondansatör kapasitesi ( $C_{dc}$ ), DA taraftaki ortalama gerilim ( $v_{dc}$ ) ve DA taraf için seçilen bir referans gerilim ( $v_{dc}^*$ ) kullanılarak hesaplanmaktadır. Yük akımlarının temel aktif güç bileşeni ( $I_{smp}^*$ ) algılanan yük akım ve gerilimleri

kullanılarak hesaplanmaktadır. Toplam referans kaynak tepe akımı ( $I_{sm}^*$ ),  $I_{smd}^*$  ve  $I_{smp}^*$  bileşenleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Referans anlık kaynak akımları da ( $i_{sa}^*$ ,  $i_{sb}^*$ , ve  $i_{sc}^*$ ), bunların tepe değerleri ( $I_{sm}^*$ ) ve algılanan kaynak gerilimlerinden türetilen birim akım şablonları ( $u_{sa}$ ,  $u_{sb}$  ve  $u_{sc}$ ) kullanılarak hesaplanmaktadır. AGF referans akımları ( $i_{ca}^*$ ,  $i_{cb}^*$  ve  $i_{cc}^*$ ), anlık kaynak referans akımları ( $i_{sa}^*$ ,  $i_{sb}^*$ , ve  $i_{sc}^*$ ) ve algılanan yük akımları ( $i_{La}$ ,  $i_{Lb}$ , ve  $i_{Lc}$ ) arasındaki farklar dikkate alınarak bulunmaktadır. AGF tetikleme sinyallerinin üretilmesi için, histerisiz ve taşıyıcısız PWM akım denetleyici, AGF referans akımlar ( $i_{ca}^*$ ,  $i_{cb}^*$  ve  $i_{cc}^*$ ) ve algılanan AGF akımları ( $i_{ca}$ ,  $i_{cb}$  ve  $i_{cc}$ ) arasında uygulanmaktadır. AGF anahtarları Güç Sistem Blok setinde IGBT anahtarlar olarak alınmaktadır. AGF'e seri bağlanan endüktans değeri ( $L_c$ ) kompanzasyon akımlarının uygun şekil alması için seçilmiştir.  $L_c$  endüktans değeri yüksek seçilirse, kompanzasyon akımları referans akımları izleyemez ve eğer düşük seçilirse de kompanzasyon akımlarında yüksek dalgalanmalar görülmektedir. AGF böylece lokal olarak yük akımlarının harmonik ve reaktif bileşenlerini karşılayarak sistemin işletim şartlarının değişimleri karşısında sinüzoidal bir güç ve ideal bir güç faktörü sağlamaktadır [1].

### 3.2. Tepe Kaynak Akım Hesaplaması

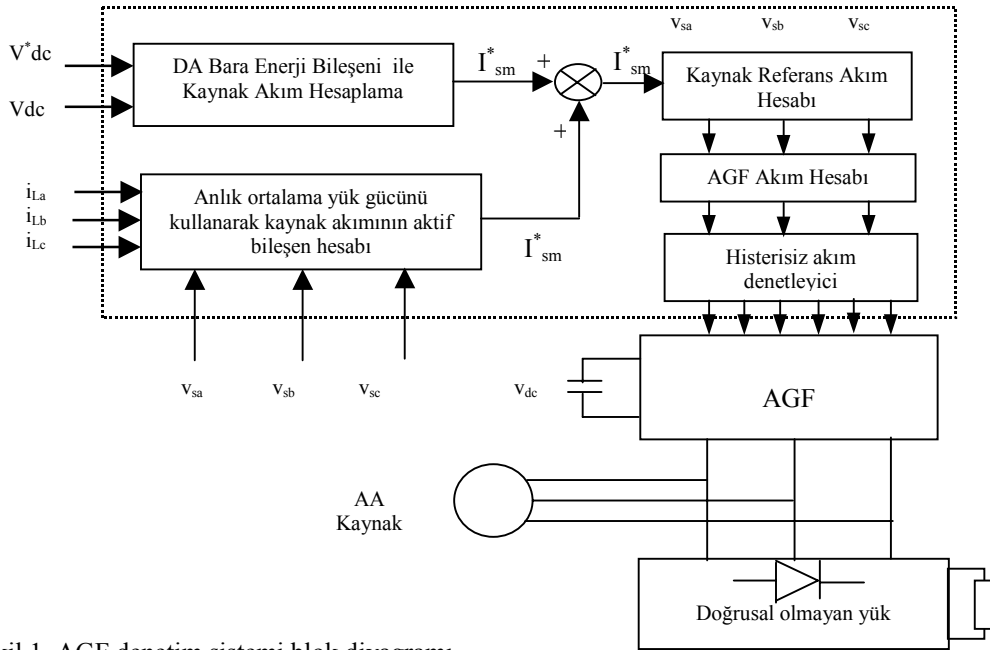
Tepe kaynak akımı ( $I_{sm}^*$ ) aşağıdaki gibi iki bileşenden oluşmaktadır. Yüke ( $I_{smp}^*$ ) bağlı kaynak aktif bileşeni, ortalama yük gücünden ( $P_s$ ) hesaplanmaktadır. Anlık güç (1) denklemi ile elde edilmektedir.

$$P_L = v_{sa} \cdot i_{La} + v_{sb} \cdot i_{Lb} + v_{sc} \cdot i_{Lc} \quad (1)$$

Denklemdaki  $i_{La}$ ,  $i_{Lb}$  ve  $i_{Lc}$  değerleri, üç fazlı algılanan yük akımları ve  $v_{sa}$ ,  $v_{sb}$  ve  $v_{sc}$  ise ideal şartlarda aşağıdaki (2) denklemi ile ifade edilebilen algılanan üç fazlı kaynak gerilimleridir.

$$\begin{aligned} v_{sa} &= V_{sm} \sin \omega t \\ v_{sb} &= V_{sm} \sin(\omega t - 2\pi/3) \\ v_{sc} &= V_{sm} \sin(\omega t + 2\pi/3) \end{aligned} \quad (2)$$

(2) denklemindeki  $V_{sm}$ , kaynak geriliminin tepe değeri,  $\omega$  ise AA şebeke geriliminin (rad/sn) cinsinden frekansdır.



Şekil 1. AGF denetim sistemi blok diyagramı.

### 3.1. Analiz ve Modelleme

Tüm sistem; AA kaynak, doğrusal olmayan yük (R-C yüklü bir doğrultucu), AGF ve önerilen denetim sisteminden meydana gelmektedir. Simülasyon için komple bir model geliştirmek üzere tüm sistem bileşenleri aşağıda ayrı ayrı analiz edilmektedir.

Denetim sisteminin çalışması giriş bölümünde açıklandığı gibi aşağıda eşitlikler ile ifade edilebilir.

Eğer yük gücü ( $P_L$ ), kaynak frekansının periyodunun altında birine ortalansa ortalama yük gücü ( $P_s$ ) aşağıdaki gibi elde edilir.

$$P_s = (3/2) V_{sm} I_{smp}^* \quad (3)$$

Dengeli güç faktörü kaynak akım bileşeni ( $I_{smp}^*$ ), (3) denklemi ile güç ve gerilim değerleri kullanılarak elde edilmektedir.  $I_{smp}^*$  elde edilmesi için kullanılan blok diyagram Şekil 2'de verilmektedir.

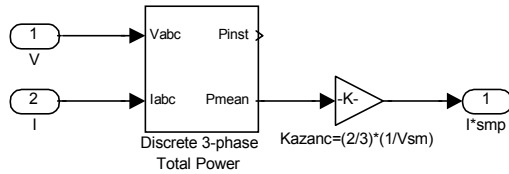
Kaynak akımının ikinci bileşeni ( $I_{smd}^*$ ), AGF'de anahtarlama, omik ve kondansatör kayıplarını karşılamak ve DA taraftaki gerilimi sabit tutmak içindir.  $I_{smd}^*$  akımı hesaplaması için referans bir DA taraf ortalama gerilim değeri ( $v_{dc}^*$ ) tayin edilir. Gerçek DA gerilimi örneklemesi ile ortalama değeri ( $v_{dc}$ ) kaynak frekansı periyodunun altıda biri ( $T_x$ ) oranında hesaplanır.  $T_x$  süresince,  $v_{dc}^*$  ve  $v_{dc}$  değerine karşılık gelen enerji farkı (4) denklemi ile hesaplanabilir.

$$\Delta e_{dc} = e_{dc}^* - e_{dc} = C_{dc} \left[ \left( v_{dc}^* \right)^2 - v_{dc}^2 \right] / 2 \quad (4)$$

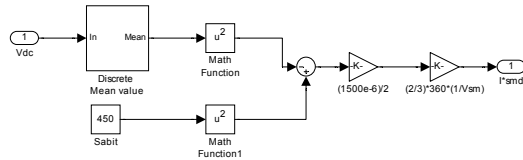
AGF aynı aralıkta ( $T_x$ ), bu enerji farkını ( $\Delta e_{dc}$ ) dengeli güç faktörü ve  $I_{smd}^*$  tepe değeri ile şebekeden çekmeye çalışır. Bu enerji ilişkisi de aşağıdaki (5) denklemi ile ifade edilmektedir.

$$\Delta e_{dc} = \left( \frac{3}{2} V_{sm} I_{smd}^* \right) T_x \quad (5)$$

$I_{smd}^*$  değeri (5) denklemi ile elde edilmektedir.  $v_{dc}^*$  iyi seçildiğinde, kararlı hal işletiminde  $v_{dc}$  hiçbir zaman  $v_{dc}^*$  değerine eşit olamaz fakat  $I_{smd}^*$  akım değeri AGF kayıpları için gerekli olan sabit bir değere oturacaktır. Geçici rejim şartlarında  $I_{smd}^*$  AGF ve yük arasındaki enerji alışverişi tarafından belirlenen pozitif veya negatif bir değer alabilecektir.  $I_{smd}^*$  elde edilmesi için kullanılan blok diyagram Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 2.  $I_{smp}$  hesaplama blok diyagramı.



Şekil 3.  $I_{smd}$  hesaplama blok diyagramı.

(3) ve (5) denklemleri ile elde edilen toplam kaynak referans tepe akımı aşağıdaki (6) denklemi ile

yukarıdaki iki akımın toplamı şeklinde bulunmaktadır.

$$I_{sm}^* = I_{smp}^* + I_{smd}^* \quad (6)$$

### 3.3. Kaynak Referans Akımları

Harmoniksiz dengeli güç faktörlü üç fazlı kaynak akımları, kaynak gerilimi fazında ve hesaplanan tepe değerler ile birim akım şablonları kullanılarak belirlenebilir. Denklem (2) den türetilen birim akım şablonları aşağıdaki (7) denklemi ile bulunabilir.

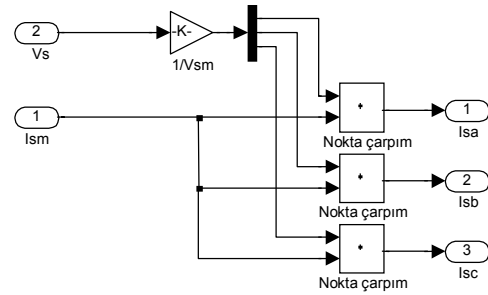
$$\begin{aligned} u_{sa} &= v_{sa} / V_{sm}; \\ u_{sb} &= v_{sb} / V_{sm}; \\ u_{sc} &= v_{sc} / V_{sm} \end{aligned} \quad (7)$$

Üç fazlı referans kaynak akımları aşağıdaki gibi bulunur. Şekil 4'de referans kaynak akım hesaplama blok diyagramı görülmektedir.

$$\begin{aligned} i_{sa}^* &= I_{sm}^* u_{sa}; \\ i_{sb}^* &= I_{sm}^* u_{sb}; \\ i_{sc}^* &= I_{sm}^* u_{sc} \end{aligned} \quad (8)$$

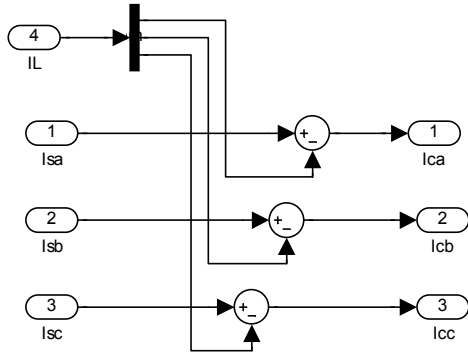
### 3.4. AGF Referans Akımları

Üç fazlı AGF referans akımları, (8) denklemindeki referans kaynak akımları ve algılanan yük akımları kullanılarak (9) denklemi ile bulunmaktadır. Şekil 5'de AGF referans akım hesaplama blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 4. Kaynak referans akım hesaplama.

$$\begin{aligned} i_{ca}^* &= i_{sa}^* - i_{La}; \\ i_{cb}^* &= i_{sb}^* - i_{Lb}; \\ i_{cc}^* &= i_{sc}^* - i_{Lc} \end{aligned} \quad (9)$$



Şekil 5. Referans akım hesaplama.

### 3.5. Histerisiz Tabanlı Akım Denetleyici

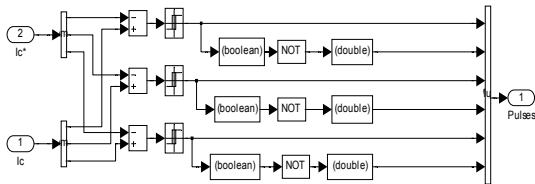
Histerisiz tabanlı akım denetleyici, aşağıda açıklanan mantık ile AGF anahtarlama fonksiyonlarını belirlemektedir. Buna göre;

- Eğer  $i_{ca} < (i_{ca}^* - hb)$  a kolu için üst anahtar açık ve alt anahtar kapalıdır (SA=1).
- Eğer  $i_{ca} > (i_{ca}^* + hb)$  a kolu için üst anahtar kapalı ve alt anahtar açıktır (SA=0).

Diğer b ve c fazları için SB ve SC anahtarlama fonksiyonları, bu fazlara karşılık gelen referans ve algılanan akımlar ile histerisiz bant kullanılarak benzer biçimde bulunmaktadır.

- Eğer  $i_{cb} < (i_{cb}^* - hb)$  b kolu için üst anahtar açık ve alt anahtar kapalıdır (SB=1).
- Eğer  $i_{cb} > (i_{cb}^* + hb)$  b kolu için üst anahtar kapalı ve alt anahtar açıktır (SB=0).
- Eğer  $i_{cc} < (i_{cc}^* - hb)$  c kolu için üst anahtar açık ve alt anahtar kapalıdır (SC=1).
- Eğer  $i_{cc} > (i_{cc}^* + hb)$  c kolu için üst anahtar kapalı ve alt anahtar açıktır (SC=0).

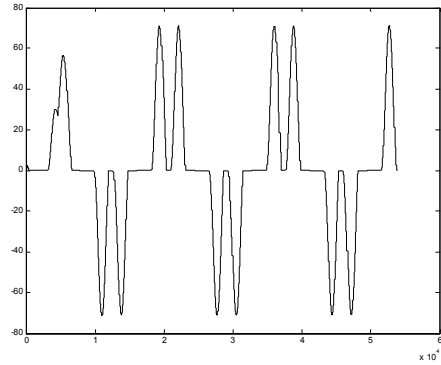
Histerisiz tabanlı akım denetleyici ile AGF anahtarlama fonksiyonlarını belirleyen akım regülatörü bloğunun içeriğini gösteren blok diyagramı Şekil 6'da verilmektedir.



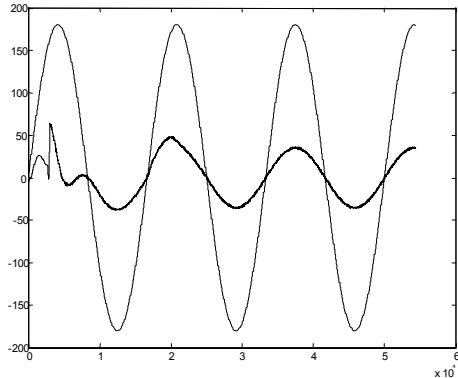
Şekil 6. Histerisiz tabanlı akım denetleyici.

## 4. SİMÜLASYON SONUÇLARI

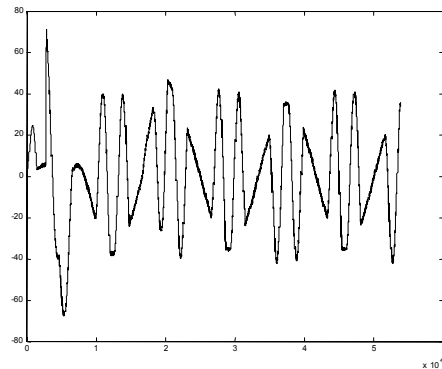
Histerisiz bant karşılaştırıcı ile yapılan denetim sistemi ile alınan simülasyon sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmektedir. Şekil 7'de üç fazlı doğrultucu çıkışına omik-kapasitif yük bağlandığında AGF bağlı olmadan gerilim ve akım dalga şekilleri görülmektedir. Doğrultucu kaynaktan doğrusal olmayan bir akım çekmektedir. Şekil 8'de ise kompanzasyon yapıldıktan sonraki şebeke akım ve gerilim dalga şekilleri görülmektedir. Bu sırada AGF'nin sisteme verdiği akım dalga şekli Şekil 9'da verilmektedir. Tüm sistemin simülasyon blok diyagramı Şekil 10'da görülmektedir.



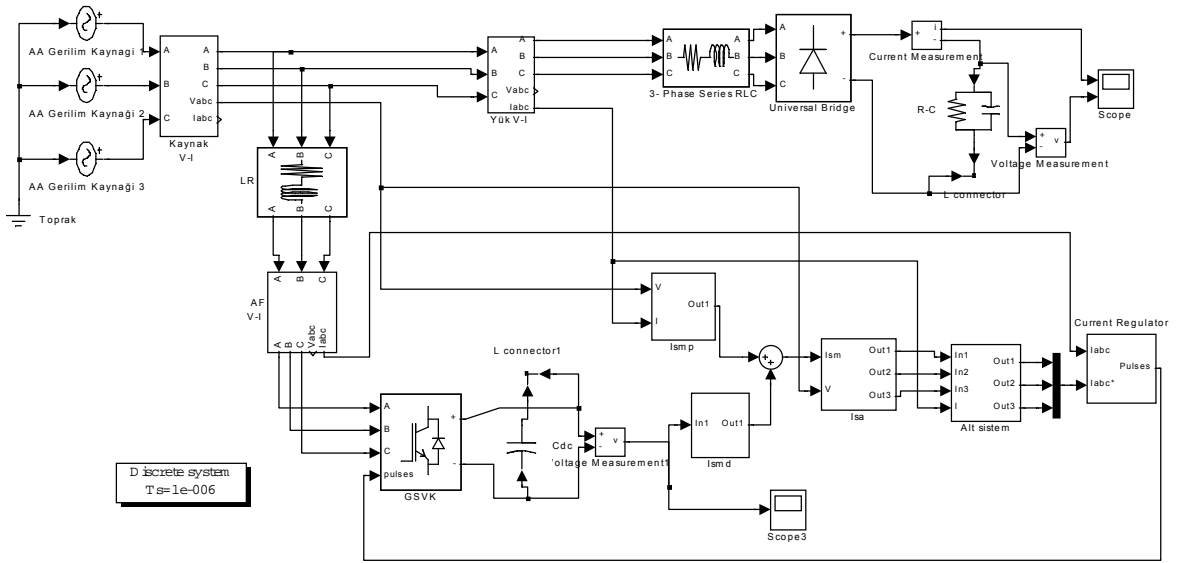
Şekil 7. R-C yüklü doğrultucu akımı.



Şekil 8. Kompanze edilen omik yüklü doğrultucu şebeke akım ve gerilimi.

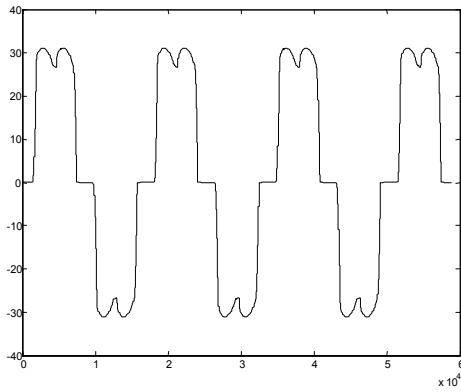


Şekil 9. AGF kompanzasyon akımı.

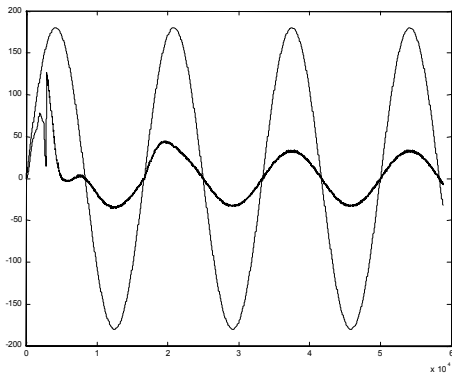


Şekil10. Tüm sistemin simülasyon blok diyagramı.

Şekil 11'de doğrultucu çıkışı sadece omik bir yüke bağlandığı durumdaki yük akımı dalga şekli görülmektedir. Şekil 12'de kompanzasyon sonrası kaynak akım ve gerilim değişimi görülmektedir. Şekillerden yükün çektiği akımın AGF ile hem reaktif güç hem de harmoniklerini yok edildiği açıkça görülmektedir.



Şekil 11. Omik yüklü doğrultucu akımı.



Şekil 12. Kompanzasyon sonrası kaynak akım ve gerilimi.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışma paralel bağlı bir aktif güç filtresi için geliştirilen denetim algoritmasının geçerliliğini göstermektedir. AGF önerilen denetim algoritması ile, sistem verimini artırarak, yük akımının harmonik ve reaktif akım bileşenlerini yok ederek, şebekeden dengeli bir güç faktörü ile sinüs şeklinde bir akım çekilmesini sağlamaktadır. Geçici rejim durumlarında bile şebeke akımı kararlılığını korumaktadır. Önerilen algoritmanın deneysel çalışmaları halen sürmektedir. Test sonuçları daha sonraki çalışmalarda verilecektir.

## 6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Araştırma Fonu 2001/13 nolu proje kapsamında desteklenmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Singh, B., Haddad K., Chandra, A., A New Control Approach to Three-Phase Active Filter for Harmonics and Reactive Power Compensation, IEEE Trans. on Power Systems, Vol.13, No.1 pp 133-138, 1998.
- [2] Akagi, H., Nabae, A., Atoh, S., Control Strategy of Active Power Filters Using Multiple Voltage-Source PWM Converters. IEEE TRANS. INDUSTRY APPLICATIONS Vol.1A-22, pp. 460-465, 1986.
- [3] Afonso, J., vd., Active Filters with Control Based on the p-q Theory. IEEE Industrial Electronics Society Newsletter, Vol.47, No.3, Page(s): 5-11, 2000.
- [4] Hingorani, N. G. ; Gyugyi L., Understanding FACTS. IEEE Press. New York, 2000.
- [5] Özdemir, E. Vd., The Simulation of Fuzzy Logic Based Advanced Static Var Compensator in MATLAB, PCIM 2002 Power Quality Conference, pp:151-155.