

Alçak Gerilimde Aktif Filtre ile Akım Harmoniklerinin Etkisinin Azaltılması

¹ Latif TUĞ ve ²Cenk YAVUZ

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Böl., Sakarya, Türkiye

²Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Böl., Sakarya, Türkiye

Özet

Elektrik enerji sistemlerinde harmonikler, güç sisteminin kalitesini olumsuz etkilemektedir. Genel olarak güç sisteminde kayıplara, gerilim düşümlerine, rezonans olaylarına, güç faktörünün değişmesi gibi problemlere neden olurlar. Güç sistemlerinde harmonikli akım ve gerilimlerin bulunması, sinüzoidal dalganın bozulmasına neden olur. Bu çalışmada Matlab Simulink programı kullanılarak, doğrusal olmayan yük modeli için paralel aktif güç filtresi kullanarak akım harmoniklerinin durumu incelenmiştir. Şebeke ve yük üzerindeki değişimler ayrı ayrı incelenmiş, aktif filtrenin avantajları ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Aktif filtre, ani güç teorisi, reaktif güç kompanzasyonu, THD, THD₁

1. Giriş

Elektrik güç sistemlerinin tasarım ve işletmesinde alternatif akımın önemli bir yeri vardır. Alternatif akımla birlikte işletmelerde reaktif gücün varlığı da önem kazanmaktadır. Reaktif güç kompanzasyonunu, yükün ve şebekenin ihtiyacı olan reaktif gücün belli teknikler kullanılarak karşılanması olarak adlandırabiliriz. Reaktif güç tüketici için faydalı güç olarak kullanılamasa da tamamen vazgeçilemez. Elektrik tesislerinde kullanılan, magnetik veya statik alanla çalışan, transformatör, bobin, asenkron motor, doğrultucu, endüksiyon fırını, lamba balastı v.b gibi işletme araçları reaktif güce de ihtiyaç duyarlar. İhtiyaç duyulan reaktif gücü şebekeden karşılamak işletme için maliyetli olacağından, her işletme reaktif güç kompanzasyonu kurarak kendi reaktif güç ihtiyacını karşılamaktadır.

Reaktif güç kompanzasyonu ile gerilim düşümü, şebekenin ısı kayıpları, faz gerilim dengesizlikleri, gerilim dalgalanmaları ve harmonikler azalırken; şebekenin güç kapasitesi artar [1].

Harmoniklerin etkilerini azaltmak için uygulanan yöntemlerden biri filtre kullanmaktır. Bu çalışmada ani reaktif güç teorisi metoduyla, bir paralel aktif güç filtresi; lineer ve nonlineer yükler içeren sisteme uygulanmıştır. Matlab/Simulink ile simülasyonu sağlanmıştır. Aktif filtre; güç elektroniği elemanlarını kullanarak her an için, tespit ettiği harmoniğin aynı genlikte tam ters işaretlisini üreterek sisteme aktarır. Aktif filtrenin birçok avantajı bulunmaktadır. Aktif filtre her tür yük durumuna uygundur, tüm harmonikleri elimine

edebilir, rezonansa girme tehlikesi yoktur, sisteme farklı nonlinear yüklerin eklenmesi ile filtre devresinde bir değişiklik yapmaya gerek yoktur.

Uluslararası IEC 519-1992'ye göre standartlar içinde kabul edilen harmonik bozulma değerleri, Gerilim için %3, Akım için %5 olarak belirlenmiştir. Bu limit değerlerinin üzerinde bulunan harmonik oranlarında, elektrik sistemleri için tehlikeli ve büyük maddi zararlar oluşturabilecek problemler meydana gelmektedir. Elektrik enerji kalitesinin bozulma oranının tespiti için standartlarla belirlenmiş olan bazı bağıntılar kullanılabilir.

Toplam Harmonik Bozulma (Gerilim için)

$$\text{THD}_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \quad (1)$$

Toplam Harmonik Bozulma (Akım için)

$$\text{THD}_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (2)$$

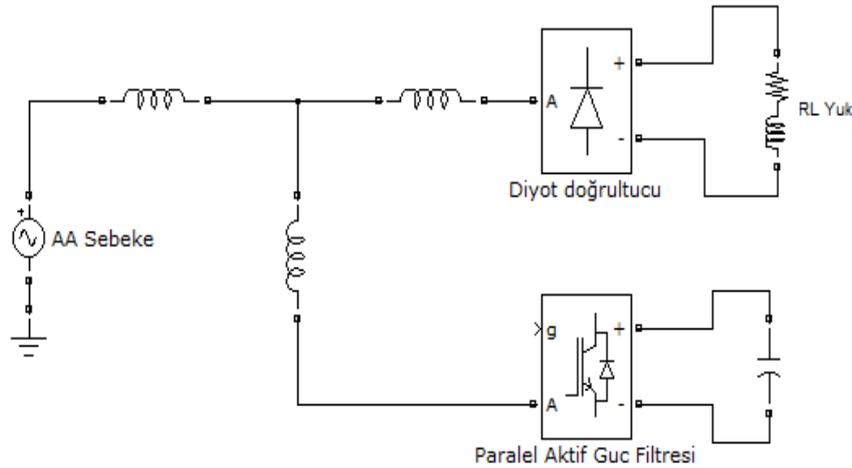
2. Aktif Güç Filtresi

Aktif güç filtreleri çoğunlukla akım ve gerilimin harmoniklerini kompanse etmek için kullanılmaktadır. Aktif güç filtreleri doğrusal olmayan yükün ürettiği akım harmoniklerini azaltmakta, reaktif güç çekebilmekte veya üretebilmektedir.

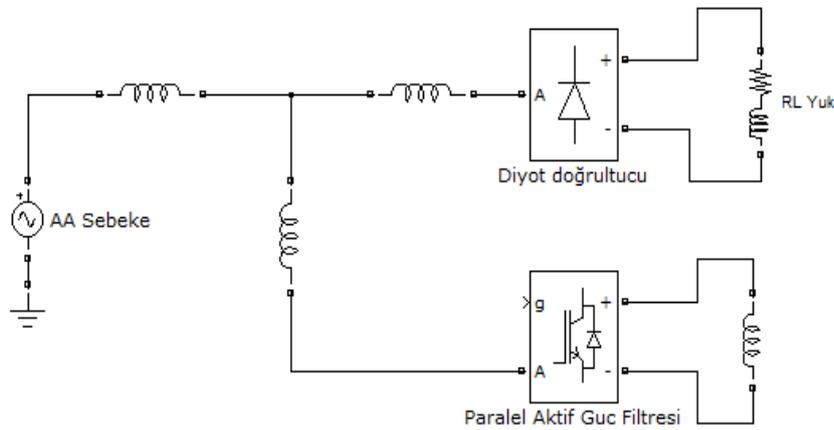
Aktif güç filtresinin çalışma ilkesi, yükün ürettiği harmonikle aynı genlikte fakat ters fazda bir akımın sisteme ilave edilmesi temeline dayanmaktadır [2].

Paralel aktif güç filtresi (PAGF), yük akımı harmoniklerinin filtrelenmesi, reaktif güç kompanzasyonu, yük akımlarının dengelenmesi ve nötr akımların yok edilmesi amacıyla yüke paralel bağlanır.

PAGF, Şekil 1. ve Şekil 2.'de görüldüğü gibi bir Gerilim Kaynaklı Evirici veya Akım Kaynaklı Evirici'den oluşmaktadır [3]. Gerilim kaynaklı evirici, düşük kayıpları ve başlangıç maliyeti ile akım kaynaklı eviriciye göre aktif güç filtresi uygulamalarında sıklıkla kullanılır.



Şekil 1. Gerilim Kaynaklı Evirici



Şekil 2. Akım Kaynaklı Evirici

3. Anlık Reaktif Güç Teorisi

1984 yılında Akagi [4] tarafından önerilen ve p-q teorisi olarak da bilinen bu teori; nötr hatlı veya hatsız üç fazlı sistemdeki anlık güç değerlerine bağlıdır. Ayrıca bu teori; ideal ve ideal olmayan akım ve gerilimlerde, sürekli ve geçici durumlarda da kullanılabilir.

Üç fazlı akım ve gerilimlerin a-b-c koordinatlarından, iki fazlı α - β koordinatlarına cebirsel dönüşümü Clarke Dönüşümü olarak bilinmektedir. (3) ve (4) eşitlikleri ile gerilim ve akımların cebirsel dönüşümleri sağlanmaktadır.

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{2/3} \begin{bmatrix} 1 & -0.5 & -0.5 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \\ i_{Lc} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{2/3} \begin{bmatrix} 1 & -0.5 & -0.5 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (4)$$

(5) eşitliğinde üç fazlı sistem için anlık güç (p) ve anlık sanal güç (q) ifade edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_\alpha & V_\beta \\ -V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_\alpha \\ \dot{I}_\beta \end{bmatrix} \quad (5)$$

(5) eşitliğinde V_α, \dot{I}_α ve V_β, \dot{I}_β , aynı eksenlerdeki anlık akım ve gerilimlerin çarpımından oluşan anlık gücü (P) ifade eder ve birimi Watt'tır (W). Bununla birlikte V_α, \dot{I}_β ve V_β, \dot{I}_α birbirlerine dik eksenlerdeki akım ve gerilimlerin çarpımından oluştuğu için anlık sanal gücün (Q) birimi İmajiner Volt Amper (IVA) olarak tanımlanmıştır [4].

Doğrusal olmayan yük modeli için, reaktif güç kompanzasyonu ve harmonik akım kompanzasyonu (6) eşitliği ile sağlanmaktadır. Sanal gücün dalgalı ve doğru bileşenleri ile gerçek gücün dalgalı bileşenleri kullanılarak referans akımlar hesaplanır [5].

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{f\alpha} \\ \dot{I}_{f\beta} \end{bmatrix} = 1/(V_\alpha^2 + V_\beta^2) \begin{bmatrix} V_\alpha & -V_\beta \\ V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\tilde{P} + P_{kayıp} \\ -Q \end{bmatrix} \quad (6)$$

3 fazlı-3 telli sistem için α - β koordinatlarında tanımlı $\dot{I}_{f\alpha}^*, \dot{I}_{f\beta}^*$ akımları, (7) eşitliği kullanılarak 3 fazlı a-b-c koordinatlarına dönüştürülerek; $\dot{I}_{fa}^*, \dot{I}_{fb}^*, \dot{I}_{fc}^*$ referans filtre akımları elde edilir. Bu akımlar histerisiz denetleyici de gerçek filtre akımları ile karşılaştırılarak IGBT için gerekli olan tetikleme sinyalleri elde edilir.

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{fa}^* \\ \dot{I}_{fb}^* \\ \dot{I}_{fc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{2/3} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -0.5 & \sqrt{3}/2 \\ -0.5 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{f\alpha} \\ \dot{I}_{f\beta} \end{bmatrix} \quad (7)$$

4. Histerisiz Denetleyici

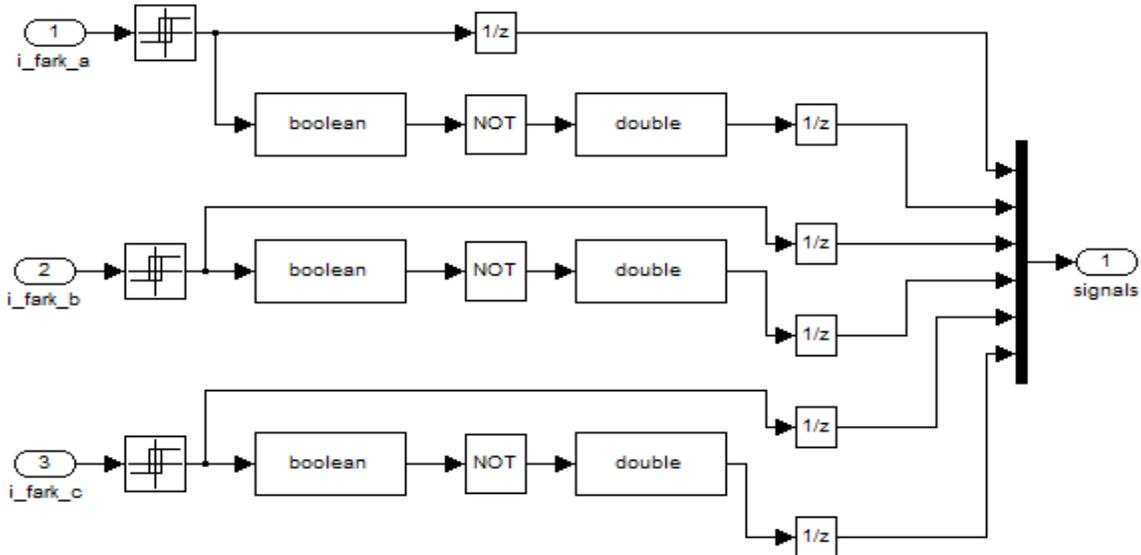
Histerisiz tabanlı akım denetleyici, aşağıda açıklanan mantık ile Aktif güç filtresi anahtarlama fonksiyonlarını belirlemektedir. Buna göre;

- Eğer $i_{fa} < (i_{fa}^* - hb)$ a kolu için üst anahtar açık ve alt anahtar kapalıdır (SA=1).
- Eğer $i_{fa} > (i_{fa}^* + hb)$ 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 aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

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

- Eğer $i_{fc} < (i_{fc}^* - hb)$ c kolu için üst anahtar açık ve alt anahtar kapalıdır (SC=1).
- Eğer $i_{fc} > (i_{fc}^* + hb)$ c kolu için üst anahtar kapalı ve alt anahtar açıktır (SC=0) [6].



Şekil 3. Histerisiz Akım Denetleyici

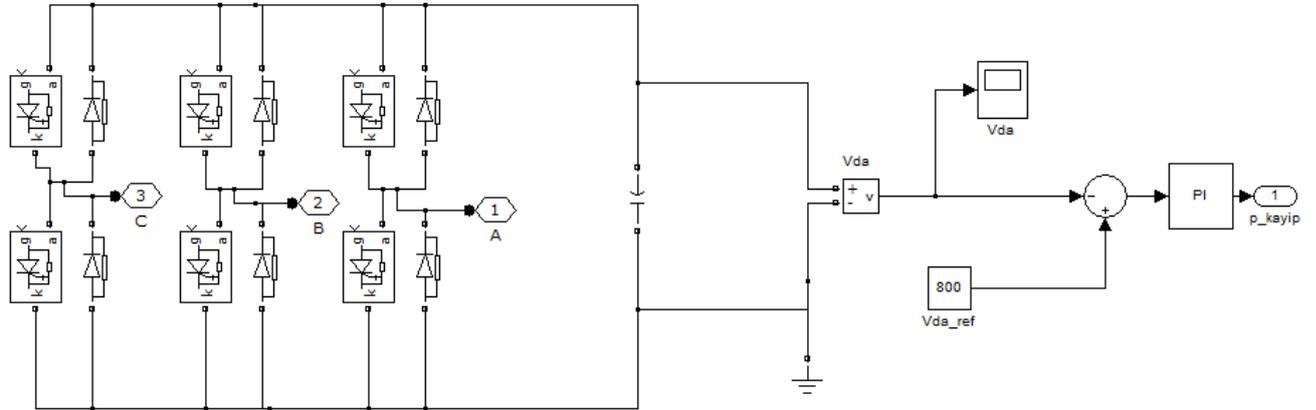
5. Anlık Reaktif Güç Teorisi ile Paralel Aktif Güç Filtresi Tasarımı ve Simülasyonu

Matlab/Simulink yardımıyla, anlık reaktif güç teorisi metodunu kullanarak tasarlanan sistem modeli Şekil 5.'te görülmektedir. Bu çalışmada, diyot doğrultuculu endüktif-omik yükün, filtre kullanarak akım harmonik bozunum değerinin (THD) istenen uluslararası standart değerlere çekilmesi amaçlanmıştır.

Paralel aktif güç filtresinin tasarımında kullanılan parametre değerleri Tablo 1.'de gösterilmektedir.

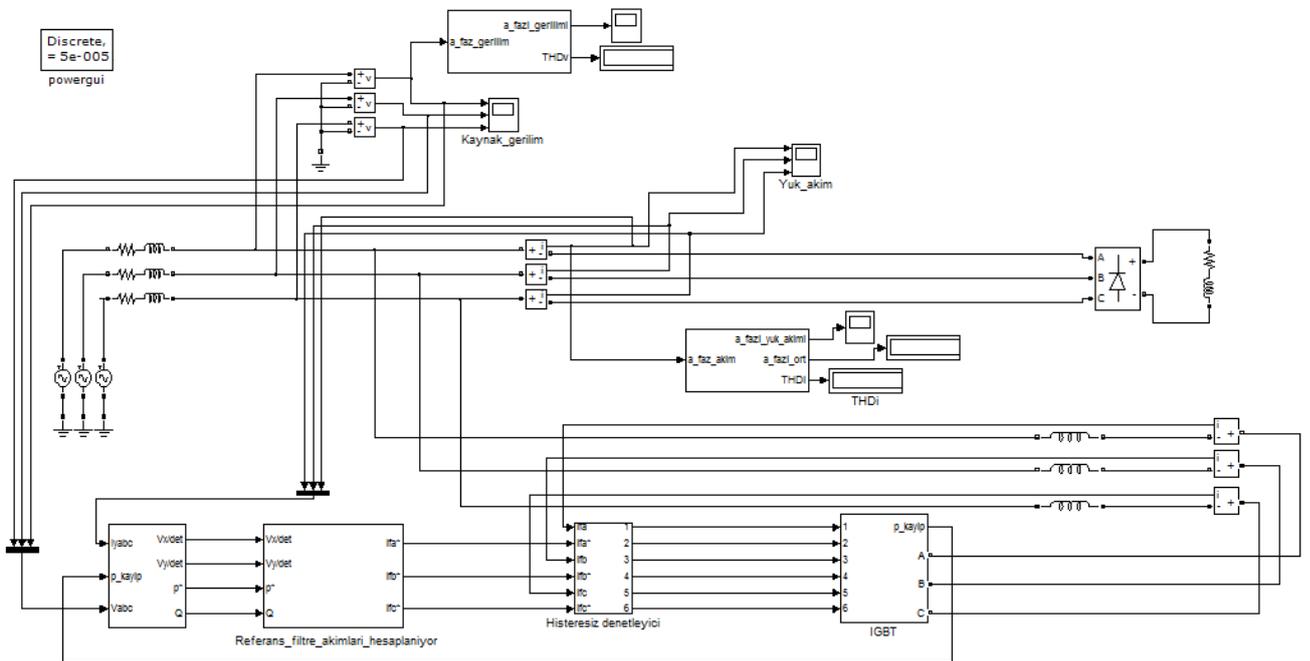
Tablo 1. PAGF parametre değerleri

V_s (faz-nötr) rms	220 V
Frekans	50 Hz
R_s	$0.1e-6$ (Ω)
L_s	$10e-5$ H
L_f	0.1 mH
C_{DA}	$1000e-6$ F
V_{DA_REF}	800 V
R_L	5 (Ω)
L_L	$35e-3$ H



Şekil 4. IGBT blok diyagramı

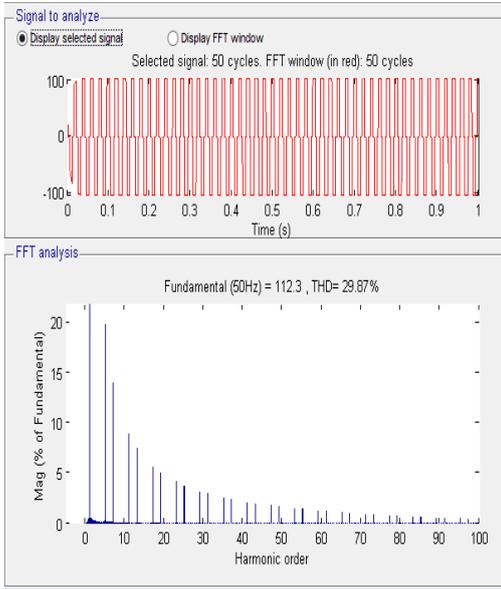
Histerisiz denetleyicide referans ve gerçek filtre akımlarının karşılaştırılması sonucunda elde edilen tetikleme sinyalleri Şekil 4.'te görülen IGBT blok diyagramında değerlendirilmekte ve uygun anahtarlamalar sağlanmaktadır.



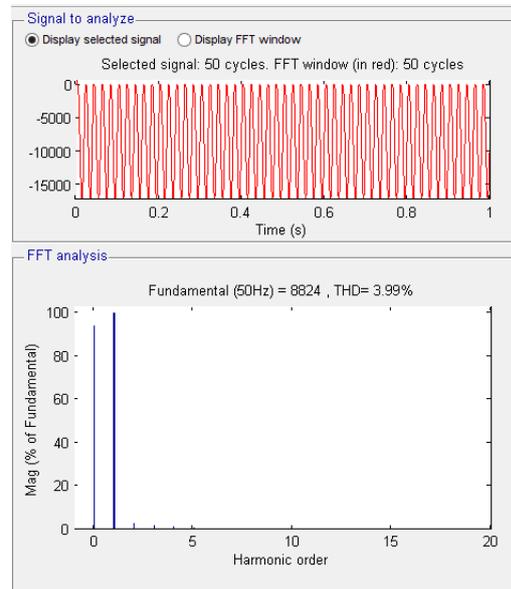
Şekil 5. Paralel Aktif Güç Filtresi Matlab/Simulink Blok Diyagramı

Şekil 6. ve Şekil 7.'de paralel aktif güç filtresinin etkin olduğu ve olmadığı durumlarda Matlab/Simulink programının Powergui FFT Analysis Tool ile gerçekleştirilen FFT analizi görülmektedir. Şekil 6.'da filtresinin etkin olmadığı durumda bozucu harmoniklerin genliklerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 7.'de aktif güç filtresinin devreye

girmesiyle birlikte THD değerleri istenen sınırlar içerisinde tutulabilmekte ve bozucu harmoniklerin etkisi azaltılabilmektedir.

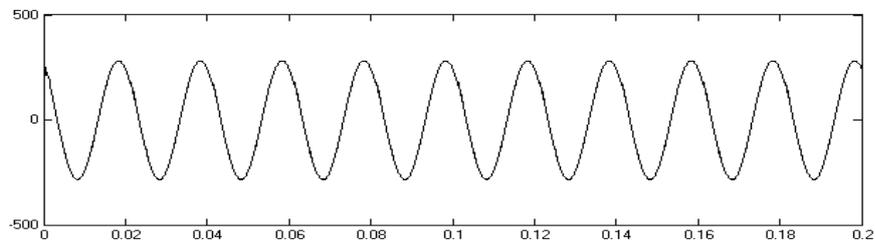


Şekil 6. Aktif filtrenin bağlı olmadığı durumda kaynak akımı FFT analizi

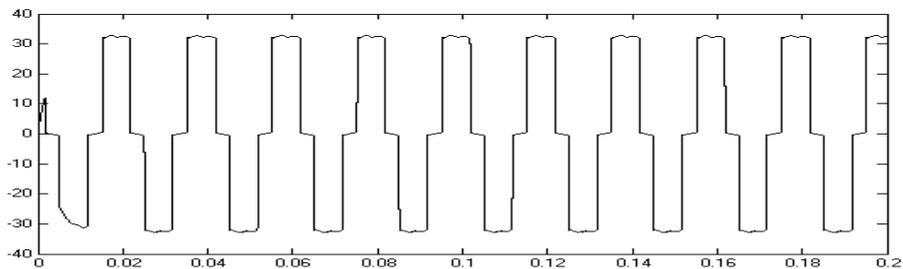


Şekil 7. Aktif filtrenin bağlı olması durumunda kaynak akımı FFT analizi

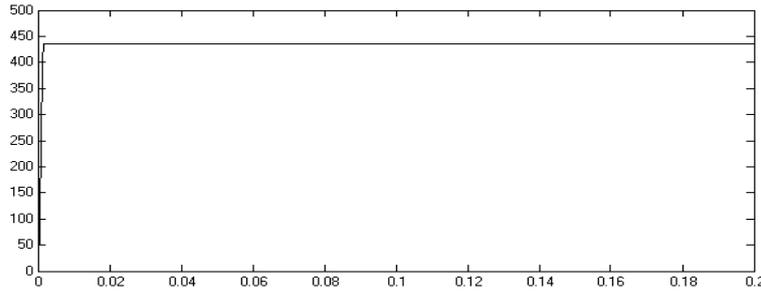
Simulasyon sonucunda elde edilen kaynak gerilimi, yük akımı, kondansatör gerilimi grafikleri aşağıda görülmektedir.



Şekil 8. Kaynak Gerilimi



Şekil 9. Yük akımı



Şekil 10. V_{DA} Kondansatör Gerilimi

Anlık reaktif güç teorisi kullanılarak tasarlanan paralel aktif güç filtresi simülasyonu sonucunda, diyot doğrultuculu, omik-endüktif yük barındıran sistemin akım harmoniği bozunum değeri (THD); %29,8 düzeyinden %3,9 düzeyine düşmüştür. Bu sonuç, uluslararası standartlara göre istenen %5 akım harmoniği bozunum değerinin (THD) altında olması bakımından son derece önemlidir.

6. Sonuç

Bu çalışmada paralel aktif güç filtresinin, akım harmoniklerini elimine edebilme konusunda son derece kullanışlı bir yöntem olduğu görülmüştür. Önceki çalışmalarda da aktif filtrenin elektronik eleman yoğun sistemlerde akım harmoniklerinin ortadan kaldırılması için kullanılabileceğinden bahsedilmiş ve özellikle DALI tabanlı aydınlatma sistemlerinde aktif filtre uygulamalarının ihtiyaç duyulan bir uygulama olduğu söylenmiştir [7]. Harmoniklerin güç sistemlerinde; ek kayıplar, ek gerilim düşümleri, rezonans olayları, güç kalitesinin bozulması gibi teknik ve ekonomik olarak olumsuz etkilerini göz önüne aldığımızda, aktif filtre kullanarak harmoniklerin etkisinin azaltılması ve makul sınırlar içerisinde tutulması oldukça önem kazanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] ARİFOĞLU, U., “Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi”, 1.Baskı, pp. 343- 346, 2002
- [2] PENG, F.Z., “Application Issues of Active Power Filters”, IEEE Industry Applications Magazine, vol.4, pp. 21-30, 1998
- [3] SINGH, B., ALHADDAD, K., CHANDRA, A.,”A Review of Active Filters for Power Quality Improvement”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.46, no.5, pp.960-971, 1999
- [4] AKAGI, H., KANAZAWA, Y., NABAE, A.,”Instantaneous Reactive Power Compensator Comprising Switching Devices without Energy Storage Components”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 20, no.3,pp.625-630,1984
- [5] KALE, M.,”Paralel Aktif Güç Filtresi ile Harmonik Akım ve Reaktif Güç Kompanzasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, pp.26-72, Kocaeli, 2004
- [6] ÖZDEMİR, Ş., KUŞDOĞAN, Ş., ”Doğrusal Olmayan Yüklerde Aktif Güç Filtresi ile Harmoniklerin Filtrelenmesi ve Reaktif Güç Kompanzasyonu”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 20, no.2, pp.225-232, 2005.

- [7] YAVUZ, C, YANIKOĞLU, E, GÜLER, Ö, "Evaluation of Daylight Responsive Lighting Control Systems According to the Results of a Long Term Experiment" , LIGHT & ENGINEERING, Vol. 20, no.4, pp.75-83, 2012