

İdeal Olmayan Şebeke Gerilimi ve Dengesiz Yük Akımları Altında Sönt Aktif Filtre Denetimi

Control of Shunt Active Filter under Non-ideal Grid Volage and Un-Balanced Load Conditions

Özgür Cemal Özerdem¹, Samet Biricik²

¹Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
Yakın Doğu Üniversitesi
oozerdem@neu.edu.tr

² Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
Lefke Avrupa Üniversitesi
sbiricik@eul.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, DQ teori ile kontrol edilen Şönt Aktif Güç Filtresi (AGF) dengesiz ve harmonik bozulmalar içeren (ideal olmayan) şebeke voltajı ve dengesiz yük durumunda etkin kontrolü sağlanmıştır. Yapılan çalışmada, ideal olmayan şebeke voltajı ve dengesiz yük akımının DQ teorisi ile kontrol edilen AGF performansını önemli ölçüde düşürdüğü görülmüştür. İdeal olmayan şebeke voltajının kontrol sistemi üzerinde yaratmış olduğu olumsuz etkiler self-tuning filtre (STF) adaptasyonu ile çözülmesi önerilmiştir. Benzetim sonuçları, önerilen yöntemin DQ teori ile kontrol edilen aktif güç filtre performansını artırdığını göstermiştir.

Abstract

This paper is about a Shunt Active Power Filter that effectively controls the unbalanced grid voltage containing harmonics using DQ theory. It was observed that by applying the SAPF mentioned above the unbalanced grid voltage and the current has been corrected. It was suggested to correct the effect of the unbalanced voltage on the control system to be corrected adapting a self tuning filter to the system. Simulation results have proven that the suggested system has improved the performance of the APF controlled by DQ theory.

1. Giriş

Günümüzde, harmonik bozulma en önemli güç kalite sorunlarından biri haline gelmiştir. Bu bozulmaların başlıca nedenleri yumuşak yol verici, doğrultmaç devreleri ve bunun gibi yarı iletken devrelerin artması olarak sıralanabilir. Bu doğrusal olmayan yükler şebekeden sinüzoidal olmayan akımlar çıkarak gerilim ve akım bozulmalarına, başka bir deyişle harmoniklere neden olmaktadır. [1]. Harmonikler güç sistemleri, elektrikli cihazlar ve transformatörler üzerinde aşırı ısınmalara, nötür akımlarının normalin üzerine çıkmasına ve düşük güç faktörü gibi çeşitli sorunlara neden olurlar [2].

LC tip pasif filtreler harmoniklerin bastırılmasında endüstride sıkça kullanılmaktadırlar. Fakat bu filtrelerin rezonans gibi istenmeyen olaylara sebep oldukları bilinmektedir. Ayrıca pasif filtreler sadece ayarlandıkları firekanstaki akım harmoniklerini bastıra bildiklerinden ötürü çoğu zaman yetersiz kalmaktadırlar. Öte yandan, harmoniklerin yaratmış oldukları sorunları azaltmak için, Aktif Güç Filtre (AGF) kullanımı 1970'lerden bu yana incelenmektedir [3], [4]. Son yıllarda araştırmacılar harmonik akımlarını en iyi şekilde bastırmak ve aynı anda şebekeden çekilen reaktif gücü indirmek için çalışılmaktadırlar.

AGF'leri doğrusal olmayan yük veya yük guruplarına, paralel olarak bağlanarak bir harmonik akım kaynağı olarak kontrol edilmektedirler. Temel prensip doğrusal olmayan yüklerin şebekeden çektikleri harmonik akımlar ile aynı genlikte fakat zıt fazda harmonik akım enjekte etme olarak açıklanabilir. Kullanılan kontrol tekniği maliyet ve filtre performansını direk olarak etkilemektedir. Bu yüzden, AGF'lerinin performansı büyük ölçüde kontrol tekniğine bağlıdır. AGF kontrol teknikleri arasında DQ Teori'ye literatürde geniş bir yer verilmiştir. Bu yöntem ideal olmayan şebeke voltajı altında performansı önemli ölçüdedüşmektedir. [6]. Ayrıca DQ teori tabanlı AGF dengesiz yük akımları altındada tam bir filtreleme yapamamaktadır.

Bu çalışmada, DQ teori tabanlı AGF'nin ideal olmayan şebeke voltajı ve dengesiz yük akımları altında performansı sunulmuştur. Daha sonra AGF'nin harmonik bastırma performansını artırmak amacıyla DQ teoriye self-tuning filtre (STF) adapte edilerek üretilen çözüm incelenmiştir.

D-Q Method

D-Q Method park transformasyonuna dayanan ve yük akımlarını d-q koordinat sistemine göre id, iq, ve i0 anlık akımlarını temel ve harmonik bileşenlerine ayıran bir method'tur. Senkron dönüşüm aşağıdaki denklemdeki gibidir.

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_o \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin \theta & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

θ senkron referansın açısız pozisyonunu temsil etmektedir ve kaynak voltajının açısız pozisyonunun linear fonksiyonudur. Bu açı PLL kullanılarak tespit edilebilir. Yük akımlarının senkron referansa dönüşümünden sonra filtre yardımıyla temel ve harmonik akımları elde edilir. Referans akımları eşitlik (2) matrix'i kullanılarak üç fazlı referans filtre akımları elde edilir.

$$\begin{bmatrix} i_{fa}^* \\ i_{fb}^* \\ i_{fc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{i}_{fd} \\ \tilde{i}_{fq} \end{bmatrix} \quad (2)$$

İdeal olmayan şebeke voltajı θ açısının elde edilmesinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu olumsuz durum DQ method ile elde edilen referans filtre akımının doğruluğunu düşürmektedir [6].

2. Kendi Kendini Ayarlayan Filtre (Self Tuning filter)

Türkçede kendi kendini ayarlayan filtre olarak tanımlana bilecek olan Self Tuning Filter (STF) [7] Hong Song tarafından, pwm dönüştürücülerinin ürettiği gerilimin faz açılarını tahmin etmek için önerilmiş bir transfer fonksiyonudur. Bu transfer fonksiyonu eşitlik (3)'te verilmektedir.

$$H(S) = \frac{V_{xy}(S)}{U_{xy}(S)} = \frac{S + j\omega}{S^2 + \omega^2} \quad (3)$$

Eşitlik (3)'de geçen V_{xy} , eşitlik (4)'de verilmektedir.

$$V_{xy}(t) = e^{j\omega t} \int e^{-j\omega t} U_{xy}(t) dt \quad (4)$$

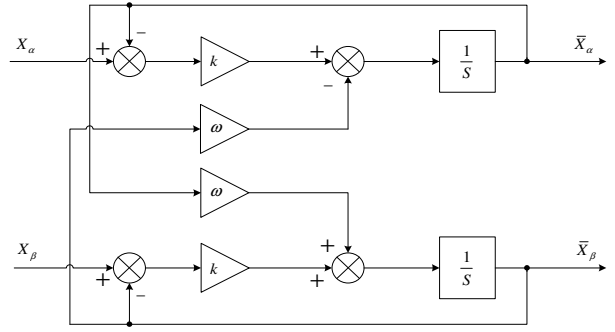
Bu eşitlikte, girişteki $U_{xy}(S)$ ve çıkıştaki $V_{xy}(S)$ nin aynı fazda olduğu gösterilmektedir. Ayrıca, bu transfer fonksiyonunun genlik ve faz tepkileri genel bir bant pass filtreye benzer olduğu görülmüştür.

$$H(S) = \frac{V_{xy}(S)}{U_{xy}(S)} = k \frac{(S + k) + j\omega}{(S + k)^2 + \omega^2} \quad (5)$$

Fonksiyonun blok diyagramı Şekil 1'de görülmektedir. Temel bileşenleri sabit bir referans olarak verilmektedir.

$$\bar{X}_\alpha(S) = \frac{k}{S} [X_\alpha(S) - \bar{X}_\alpha(S)] - \frac{\omega}{S} \bar{X}_\beta(S) \quad (6)$$

$$\bar{X}_\beta(S) = \frac{k}{S} [X_\beta(S) - \bar{X}_\beta(S)] - \frac{\omega}{S} \bar{X}_\alpha(S) \quad (7)$$



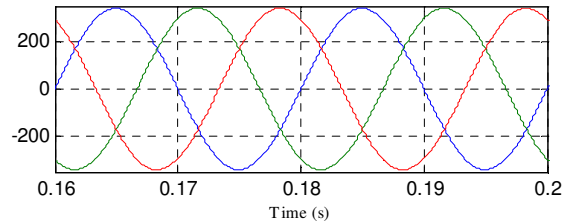
Şekil 1: STF prensip şeması.

İdeal olmayan şebeke voltajı ve yük akımı altında, STF adapte edilmiş DQ Teorisi ile kontrol edilen AGF performansını artırmak mümkündür. Başka bir deyişle ideal olmayan şebeke voltajının kontrol tekniği üzerindeki olumsuz etkileri basit ve etkili bir şekilde giderilebilmektedir. önerilen kontrol tekniğinin AGF' sine uygulanmasını gösteren diyagram şekil'3 de verilmektedir. Şekil 3' de görüldüğü üzere şebeke gerilim sinyalleri STF'den geçirilerek üç fazlı sinüzoidal ve simetrik gerilim sinüzoidal ve simetrik olmayan şebeke geriliminden ayıklanabilmektedir. Aynı şekilde üç fazlı dengesiz yük akımlarına aynı yöntem uygulanması ile kontrol tekniği için gerekli dengeli üç fazlı akımlar elde edinebilir.

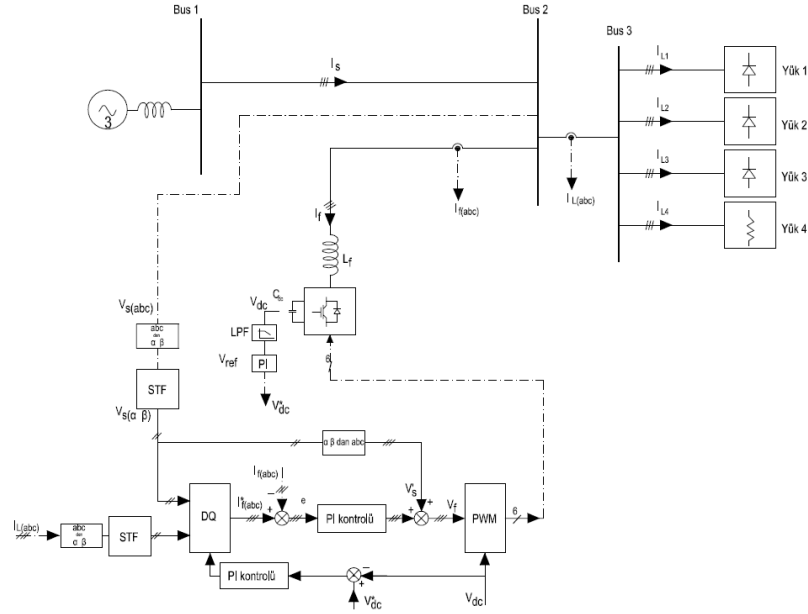
3. İdeal Olmayan Şebeke Voltajı ve Yük Akımları Altında DQ Teori Tabanlı AGF Performansının İncelenmesi

İdeal bir şebeke voltajına ait matematiksel ifade eşitlik (8)'te verilmiş ve dalga şekli ise şekil 2'de sunulmuştur.

$$\left. \begin{aligned} v_{sa}(t) &= \sum_{n=1}^n \sqrt{2}V_{sa} \sin(n\omega t + \phi) \\ v_{sb}(t) &= \sum_{n=1}^n \sqrt{2}V_{sb} \sin(n\omega t + \phi) \\ v_{sc}(t) &= \sum_{n=1}^n \sqrt{2}V_{sc} \sin(n\omega t + \phi) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

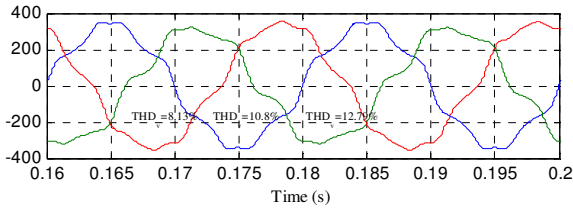


Şekil 2: İdeal şebeke voltajı dalga şekli.



Şekil 3: Önerilen kontrol tekniğinin AGF kontrol sistemi üzerine uygulanmasına ait şema.

Bu çalışmada kullanılan kaynak voltajı için şekil (4)'de verilen dengesiz ve harmonik bileşen içeren şebeke voltajı kullanılmıştır. Şekil 4'de verilen 3 fazlı şebeke gerilimi eşitlik (4) ile elde edilmiştir. Bu dalga geriliminin Toplam Harmonik Bozulum (THB) a fazı için %8.13, b fazı için %10.8 ve c fazı için %12.70 olduğu görülmektedir.



Şekil 4: İdeal olmayan harmonikli şebeke voltaj dalga şekli

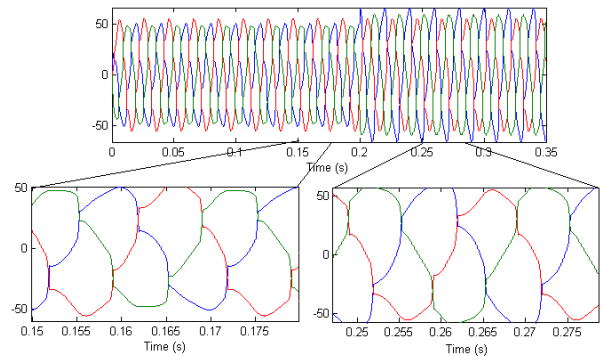
$$\left. \begin{aligned} V_a &= 340\sin(\omega t) + 30\sin(5\omega t) + 20\sin(7\omega t) + 7\sin(11\omega t) \\ V_b &= 320\sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + 35\sin(5\omega t - \frac{2\pi}{3}) + 9\sin(7\omega t - \frac{2\pi}{3}) + 10\sin(11\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ V_c &= 350\sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) + 19\sin(5\omega t + \frac{2\pi}{3}) + 15\sin(7\omega t + \frac{2\pi}{3}) + 13\sin(11\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Benzetimi yapılan AGF sisteminin blok diyagram gösterimi, Şekil (4)'de görülmektedir. Sistem değişkenleri Tablo 1'de ayrıca verilmektedir. Önerilen yöntemin filtreleme performansını göstermek amacıyla tek fazlı üç adet köprü tipi diyot ile beslenen RL tipi yük kullanılmıştır. Ayrıca, B ve C fazlarından beslenen RL tipi doğrusal yük 20 ms den sonra devreye alınarak yük değişiminde kontrol yönetimi üzerindeki etkileride incelenmiştir. Benzetim çalışmalarında verilen sistem değişkenleri Tablo 1'de verilmektedir.

Yüklerin devreye alınması ile şebekeden çekilen yük akımları Şekil (5)'te görülmektedir.

Tablo 1: Benzetim çalışmalarında kullanılan sistem değişkenleri

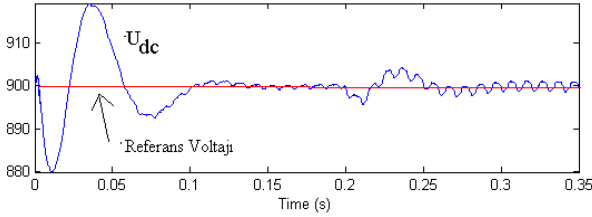
Sembol	Değer
v_s	Kaynak Gerilimi (L-N rms) 240 V
f	Frekans 50 Hz
R_k	Kaynak Direnci 3 mΩ
L_k	Kaynak Empedansı 2.6 μH
RL_{iy1}	Yük 1 16 Ω, 30 mH
RL_{iy2}	Yük 2 20 Ω, 30 mH
RL_{iy3}	Yük 3 18 Ω, 30 mH
RL_{iy4}	Yük 4 40 Ω
R_f	Filtre direnci 20 mΩ
L_f	Filtre empedansı 3 mH
C_{dc}	Filtre kondansatör sıhası 5000 μf
V_{dc}	Filtre kondansatör voltajı 900 V



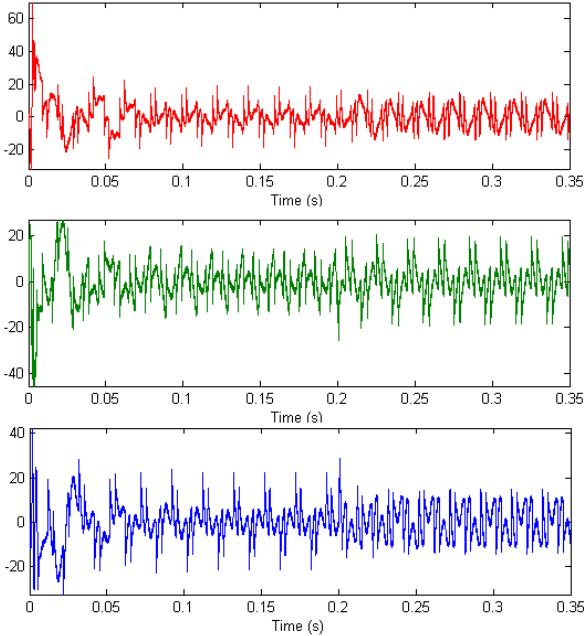
Şekil 5: Yük akımları dalga şekilleri

Yük 1, Yük 2, ve Yük 3 devrede iken faz akımlarındaki toplam harmonik bozulum sırası ile %11.76, %13.22 ve %15.15 şeklinde olmuştur. Yük 4'ün devreye alınması ile harmonik bozulum, %11.77, %12.35 ve %13.26 şeklinde olmuştur. Yukarıda bahsedilen yükler Şekil 4'de verilen giriş kaynak gerilimi ile beslenmiştir.

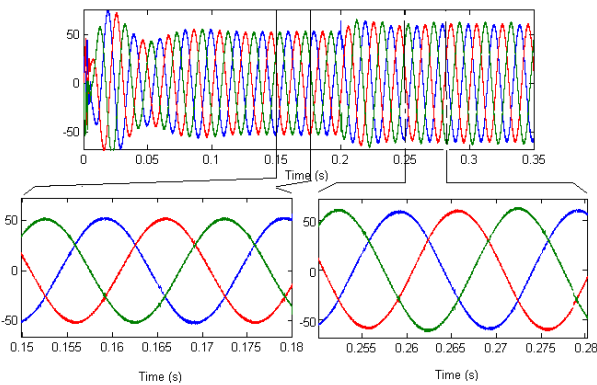
STF adapte edilmiş DQ teori ile kontrol edilen AGF'si devreye alınması ile DC bara kondansatör gerilimi şekil 6'teki gibi gözlemlenmiştir. Tavsiye edilen şekil 7'deki gibi gösterildiği şekilde üretilen filtre akımları şebekeye enjekte edilerek, kaynak akımının şekil 8 deki sinusoidal yakın bir form elde edilmiştir.



Şekil 6: Filtre kondansatörü üzerindeki gerilim değişimi



Şekil 7: Filtre akımı dalga şekilleri (yukardan aşağıya, a,b,c fazları)



Şekil 8: Filtreleme sonrası şebekeden çekilen akım dalga şekli

Şekil 7'de verilen kaynak akımı dalga şekli üzerinde yapılan analizde, Toplam Harmonik Bozulum oranının ilk yük grubunda (Yük1, Yük2, Yük3), a fazın'da %1.57, b fazın'da %1.91 ve c fazın'da ise %1.91 şeklinde elde edilmiştir. İkinci yük grubu olan ilk yük grubuna Yük 4'ünde eklenmesi ile (Yük1, Yük2, Yük3, Yük4), kaynaktan çekilen akım bozulumu faz sırasına göre, %1.63, 1.74 ve %1.63 civarına kadar düşürülmüştür. Bu değerlerin, IEEE 519-1992 standart gereksinimlerinin altında olduğu görülmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, DQ teori tabanlı AGF'nin ideal olmayan şebeke voltajı ve dengesiz yük akımları altında filtreleme performansı artırılması için self-tuning filtre STF adapte edilmiş DQ teori sunulmuştur. Tavsiye edilen yöntem üzerinde bezetim çalışmaları yapılmıştır. Her iki durumda, gerilim bozulmaları ve dengesiz yük koşullarının kontrol yöntemi üzerinde oluşturmuş olduğu olumsuz etkiler giderilmiştir.

5. Kaynaklar

- [1] W. Mack Grady, S. Santoso, "Understanding power system harmonics", IEEE Power Eng. Rev. 21 8-11 November 2001.
- [2] S. Biricik, O. C. Ozerdem "Experimental Study and Comparative Analysis of Transformer Harmonic Behaviour under Linear and Nonlinear Load Conditions", IEEE IEEEIC 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering (10th IEEEIC), 8 - 11 May 2011, Roma, Italy.
- [3] L. Gyugyi and E. C. Strycula, "Active ac power filters," in Proc. IEEE/Ind. Appl. Soc. Annual Meeting, 1976, p.529-535.
- [4] N. Mohan, H. A. Peterson, W. F. Long, G. R. Dreifuerst, and J. J. Vithayathil, "Active filters for AC harmonic suppression," in Proc. IEEE-PES Winter Meeting, 1977, pp. 168-174.
- [5] H. Akagi, Y. Kanazawa, A. Nabae, "Generalized Theory of the Instantaneous Reactive Power in Three-Phase Circuits, IPEC'83- Int. Power Electronics Conf., Tokyo, Japan, 1983, pp. 1375-1386.
- [6] S. Biricik, O. C. Ozerdem, S. Redif and M. O. I. Kmail, "Performance Improvement of Active Power Filters based on P-Q and D-Q Control Methods under Non-ideal Supply Voltage Conditions", 7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO 2011), 1-4 Dec. 2011, Bursa, Turkey.
- [7] H. S. Song, Control scheme for PWM converter and phase angle estimation algorithm under voltage unbalance and/or sag condition, Ph.D. in Electronic and Electrical Engineering. South Korea, 2000