

DSP TABANLI GERİLİM KAYNAKLI ŞÖNT AKTİF GÜÇ FİLTRESİ UYGULAMASI

İ. Kocabaş, O. Uçak, A. Terciyanlı

TÜBİTAK-Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü 06531, ODTÜ/ ANKARA

ilker.kocabas@uzay.tubitak.gov.tr

Anahtar Kelimeler: Aktif güç filtresi, DSP, gerilim kaynaklı çevirgeç, harmonik

ÖZ

Doğrusal olmayan yüklerin oluşturdukları akım ve gerilim harmonikleri iletim ve dağıtım sisteminde güç kalitesinin düşmesine ve bundan kaynaklı problemlerin artmasına neden olmaktadır. Bu problemlerin etkin çözümlerinden birisi de aktif güç filtreleridir. Bu makalede akım harmoniklerinin süzülmesi ve reaktif güç kompanzasyonu amacıyla kullanılan gerilim kaynaklı, şönt bağlı bir aktif güç filtresinin tasarımı ve uygulaması anlatılmaktadır. Tasarlanan ve uygulanan sistemde referans akımların üretilmesi amacıyla Senkron Referans Düzlem (SRF) yöntemi; modülasyon amacıyla ise histerezis kontrol yöntemi kullanılmıştır. Tasarlanan sistemin başarımı Simplorer V7.0 kullanılarak gerçekleştirilmiş bilgisayara dayalı benzetim çalışmaları ile gösterilmekle birlikte 5 A-rms çıkış gücündeki aktif güç filtresinin deney sonuçları da makalede sunulmaktadır.

I. GİRİŞ

Güç elektroniği alanında yaşanan gelişmeler, anahtarlama güç kaynakları, ark ve pota ocakları, motor sürücüler, AA/DA dönüştürücüler ve çevirgeçler gibi doğrusal olmayan yüklerin kullanımını artırmıştır. Bu yüklerin kullanımındaki artış, iletim ve dağıtım sistemlerinde güç kalitesinin düşmesine ve bundan kaynaklı problemlerin artmasına neden olmaktadır. Önemli bir güç kalitesi parametresi olan akım ve gerilim harmonikleri ise modern hassas yüklerin üretim süreçlerindeki kullanımının artışına paralel olarak, daha ciddi bir problem; ve bu alanda çalışmaların yoğunlaştığı önemli bir konu başlığı haline gelmiştir.

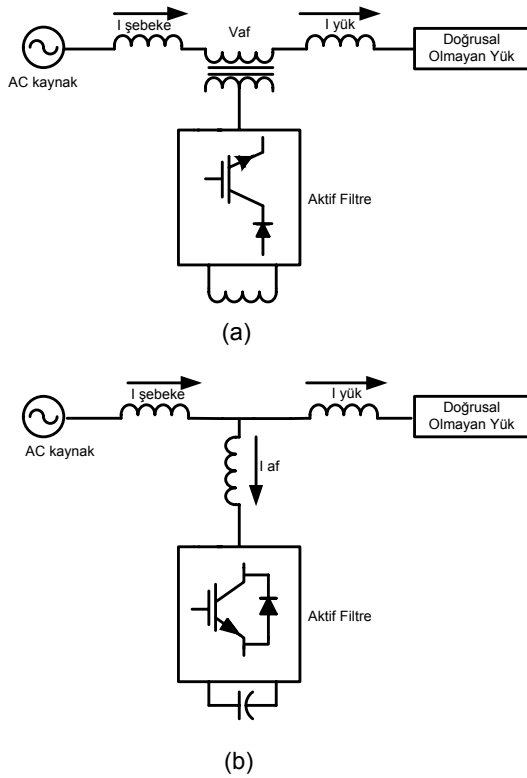
Harmonikler; kayıpların artması, koruma ve ölçüm devrelerinin hatalı çalışması, devre elemanlarında aşırı ısınma ve paralel rezonans gibi birçok istenmeyen probleme neden olmaktadır. Harmoniklerin bu olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması için uygulanagelen çözümlerin en başında pasif harmonik filtreler gelmektedir.

Bu makalede sunulan çalışmalar, TÜBİTAK Kamu Araştırma Projeleri Destekleme Programı (Program Kodu:1007) / 105G129 No.lu "Güç Kalitesi Milli Projesi" kapsamında yürütülmektedir.

Pasif devre elemanlarının (R-L-C) farklı bağlantı şekilleriyle elde edilen farklı filtre topolojileri mevcuttur[1]. Pasif filtrelerdeki temel amaç akım ve/veya gerilim harmoniklerine sistem empedansı ile karşılaştırıldığında ya çok küçük bir direnç göstererek (seri rezonans) yeni bir yol (path) açmak ya da çok büyük bir empedans göstererek (paralel rezonans) tıkaç görevi görmektir. Pasif harmonik filtreler ekonomik bir çözüm olmakla birlikte; çok yer kaplamaları, sabit bir kompanzasyon imkanı sunmaları, performanslarının şebeke empedansına bağlı olması ve en önemlisi şebeke ve/veya yük ile rezonans devreleri oluşturmaları gibi belirgin dezavantajlar sunmaktadır. Güç kalitesindeki bozulmanın giderek artması ve pasif filtrelerin bu olumsuz yönleri harmoniklerden kaynaklı problemlerin giderilmesinde aktif çözümlere olan ilgiyi artırmıştır.

Aktif güç filtreleri, harmoniklerin süzülmesi, reaktif güç kompanzasyonu, rezonansların bastırılması ve gerilim regülasyonu gibi güç kalitesini artıracak birçok uygulamaya imkan sağlamaktadırlar. Aktif güç filtrelerin bu yetenekleri, devre yapılarına ve sisteme bağlantı şekillerine göre değişiklik göstermektedir. Aktif güç filtreleri devre yapılarına göre akım veya gerilim kaynaklı; sisteme bağlantı şekillerine göre ise seri veya paralel olarak sınıflandırılmaktadır [1](Şekil-1). Paralel aktif güç filtreleri çoğunlukla akım harmoniklerinin süzülmesi ve reaktif güç kompanzasyonu amacıyla; seri aktif güç filtreleri ise çoğunlukla gerilim harmoniklerinin süzülmesi, gerilim regülasyonu ve harmonik izolasyon amacıyla kullanılmaktadırlar. Aktif güç filtrelerinin çalışma prensibi, örneklenen yük akım ve/veya gerilim dalga şekillerinden bir takım kontrol teknikleriyle üretilen referans akım ve/veya gerilim dalga şekillerinin kontrollü yarı iletken güç anahtarları yardımıyla üretilmesi ve şebekeye iletilmesine dayanmaktadır.

Bu çalışmada tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilen aktif güç filtresinin amacı 6-darbeleri bir diyot doğrultucu yükün akım harmoniklerinin süzülmesi ve reaktif güç kompanzasyonu yapılmasıdır. Bu nedenle, Şekil-1.b'de gösterildiği gibi sisteme paralel bağlı ve gerilim kaynaklı bir aktif güç filtresi tasarlanmış ve uygulanmıştır.



Şekil-1 (a) Akım kaynaklı, seri bağlı (b) Gerilim kaynaklı, şönt bağlı aktif güç filtresi

II. SİSTEM TASARIMI

i) Referans akımların üretilmesi

Bu çalışmada aktif filtre referans akımlarını hesaplamak için senkron referans düzlem yöntemi (synchronous reference frame method) kullanılmıştır [2,3]. Bu yöntemle ωt ile dönen üç faz akım ve gerilim

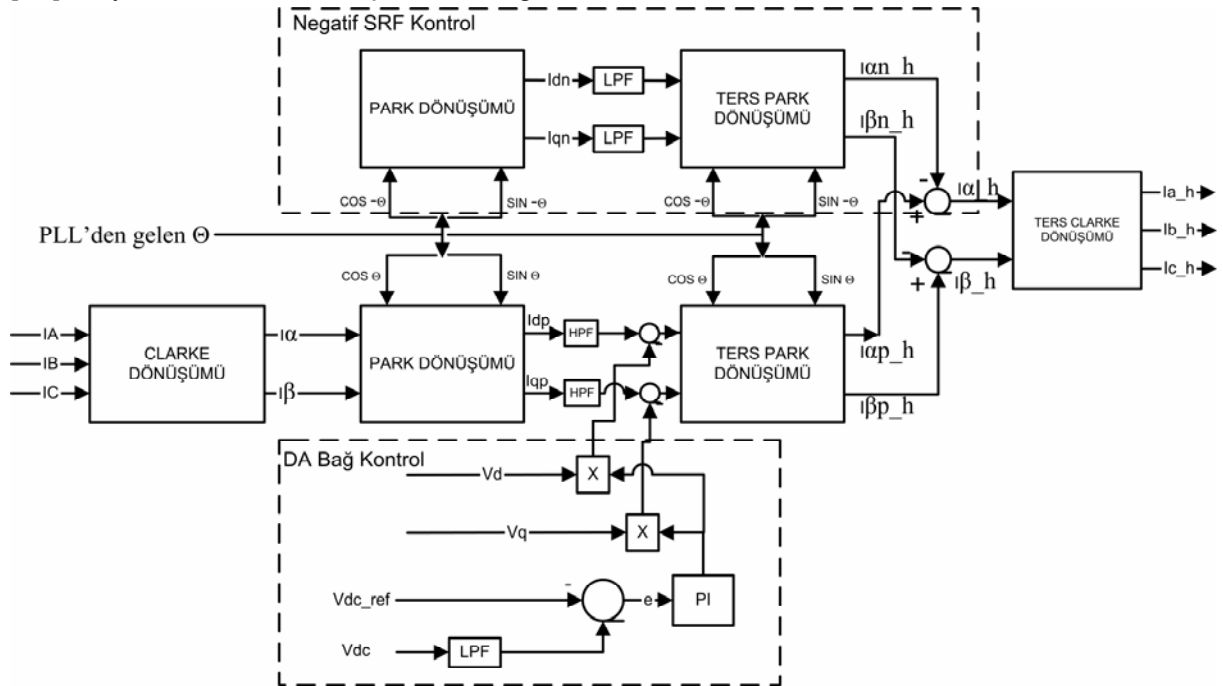
vektörleri d (direct) ve q (quadrature) vektörlerine dönüştürülmektedir (Şekil-2).

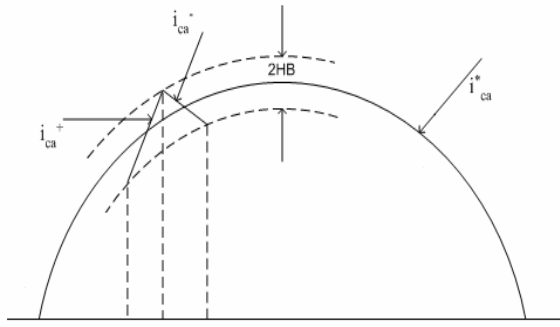
Öncelikle üç fazdan iki faza dönüştürülen akım-gerilim vektörleri, daha sonra şebeke gerilimlerine kilitlenmiş[4][5] ve aynı ωt hızı ile (senkron) dönen bir uzaya/düzleme taşınmaktadır. Böylece senkron hızda dönen d-q referans düzleminde, yük akımının temel bileşeni DA sinyale dönüştürken, harmonik bileşenlerin dönme hızları (frekansları) senkron hızı ve dönme yönüne göre kaymaktadır [3].

Dönüşümler neticesinde elde edilen d-q bileşenler yüksek geçirgen bir filtreden geçirilerek ana bileşen ayrıştırılmakta ve sonuç olarak filtrelenmek istenilen akım harmoniklerinin d-q bileşenleri elde edilmektedir. Bu vektörlere ters Park, ve ters Clarke dönüşümleri uygulanarak abc düzleminde referans akımlar üretilmektedir. Şekil-2’de gösterildiği gibi, bununla birlikte, DA bağ kondansatörü geriliminin sabit tutulabilmesi için bir PI kontrol döngüsü kullanılmakta, ve buradan elde edilen referans akımda yukarıda bulunan referans akımlara eklenmektedir. Bununla birlikte örneklenen akımlar arasındaki dengesizlik ve bunun neticesinde ortaya çıkacak 50 Hz negatif bileşenin, çıkış akımlarında 100 Hz bir bileşene sebep olmasını engellemek için Şekil-2’de gösterildiği üzere Negatif SRF kontrolü kullanılmaktadır[3].

ii) Modülasyon yöntemi

Bu çalışmada, aktif güç filtresinin referans akımları üretebilmesi amacıyla histeresis akım kontrol yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde aktif filtre çıkış akımlarının, yarı-iletken anahtarları uygun bir biçimde anahtarlayarak, bir aralık içerisinde kalması sağlanmaktadır (Şekil-3).





Şekil-3 Histerezis akım kontrol yöntemi

Filtre giriş reaktöründeki akım, histeresinin üst limitini aştığı takdirde, reaktör negatif gerilime maruz kalmakta ve akımın düşmesi; aynı şekilde, akım alt limit değerine ulaştığında ise pozitif gerilim uygulayarak reaktör akımının çıkışa geçmesi sağlanmaktadır [6]-[10]. Senkron referans düzlem kullanılarak her bir faz için elde edilen referans filtre akımları (i_{abc}^*) gerçek filtre akımlarıyla karşılaştırılmakta ve aktif filtrenin anahtarlama düzeni aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır.

i_{ca}^* : Referans filtre akımı (a fazı için)

i_{ca} : Gerçek filtre akımı (a fazı için)

2HB : Histerezis bant genişliği

- $i_{ca} < (i_{ca}^* - HB)$ ise üst anahtar KAPALI ve alt anahtar AÇIK
- $i_{ca} > (i_{ca}^* + HB)$ ise üst anahtar AÇIK ve alt anahtar KAPALI tutulmaktadır.

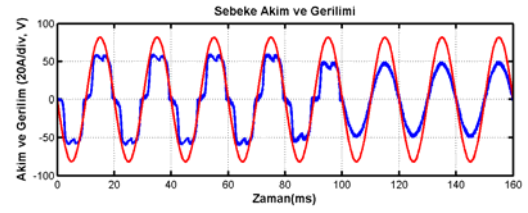
Gerek simülasyonlarda gerekse uygulamada kullanılan sistem parametreleri ise aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Çizelge-1 Sistem parametreleri

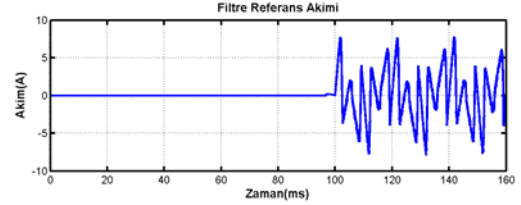
Şebeke Gerilimi	100 V-rms
Temel Frekans	50 Hz
Kaynak Reaktörü	343 μ H
Doğrultucu Reaktörü	520 μ H
Yük Direnci	10 Ω
Filtre Giriş Reaktörü	1.5 mH
DA Bara Kondansatörü	1.1 mF

III. SİMÜLASYONLAR

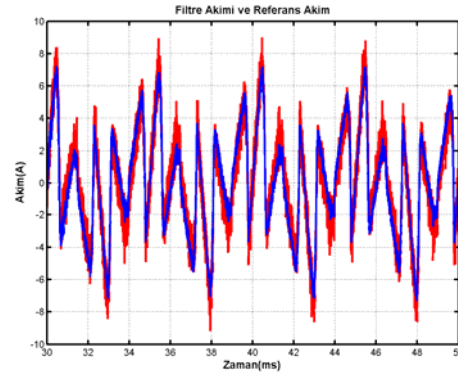
Benzetim çalışmaları Çizelge-1'de verilen sistem parametreleri ve Simpler V7.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şebeke, yük ve aktif filtre akımları ile ilgili şekiller aşağıda verilmektedir.



Şekil-4 Şebeke akım (20 A/div, mavi) ve gerilimi



Şekil-5 Aktif filtre çıkış akımı

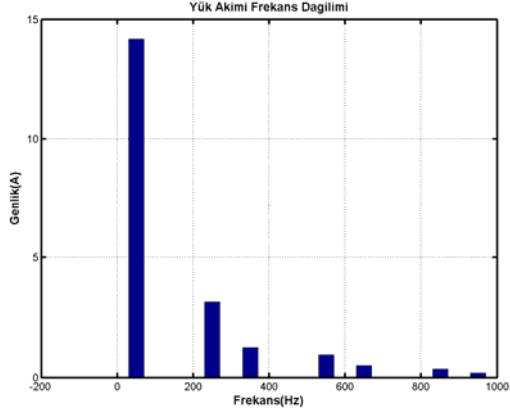


Şekil-6 Filtre akımı (kırmızı) ve filtre referans akımı(mavi)

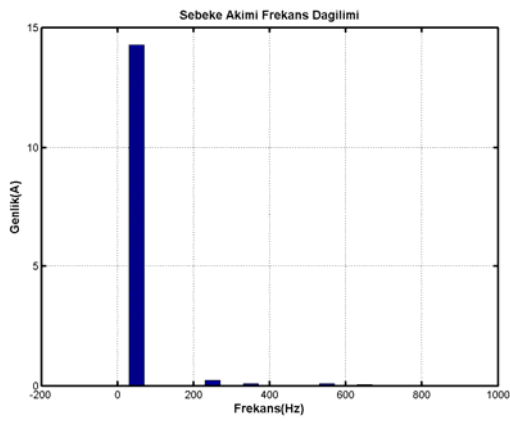
Şekil-4'te aktif filtre devreye girmeden önce ve aktif filtre devreye girdikten (@100ms) sonraki şebeke akım ve gerilim dalga şekilleri verilmektedir. Aktif filtre devreye girdikten sonra giriş akım dalga şeklindeki bozulma neredeyse tamamen ortadan kalmış ve saf sinüse yakın bir dalga şekli elde edilmiştir. Şekil-5'te aktif filtrenin basması gereken akım referansı, Şekil-6'da ise referans ve gerçekleşen akım dalga şekilleri verilmektedir.

DA bağ kondansatörü üzerindeki gerilimi istenilen sabit bir değerde tutabilmek amacıyla kullanılan PI regülatörün orantılı ve integral kazanç terimi sırasıyla $K_p=2.8m$, $K_i=35.12m$ olarak hesaplanmıştır [11]. Şebeke fazlar arası gerilimin 100 V-rms olması dikkate alınarak, DA bağ gerilimi 250 V-dc'de tutulmuştur.

Şekil-7'de ise yük akımının ve aktif filtre devreye girdikten sonraki şebeke akımının harmonik spektrumları verilmektedir. Aktif güç filtresi 6-darbeli doğrultucunun oluşturduğu baskın harmonikleri neredeyse tamamen filtreleyebilmektedir.



(a)

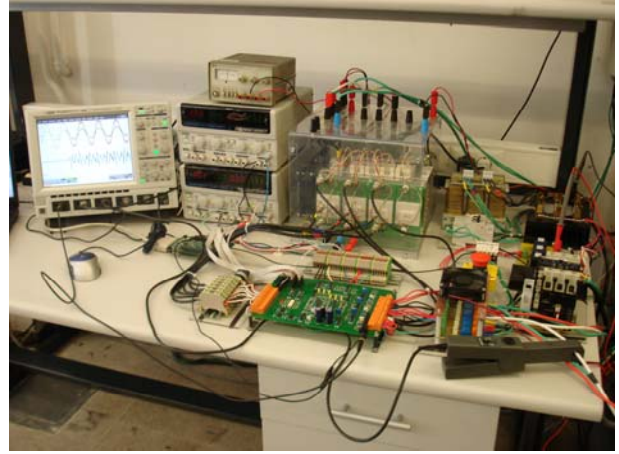


(b)

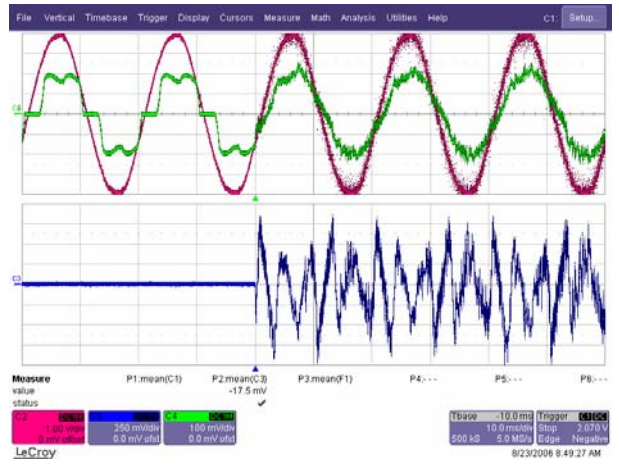
Şekil-7 (a) Yük akımı (b) Şebeke akımı harmonik spektrumu

III. DENEY SONUÇLARI

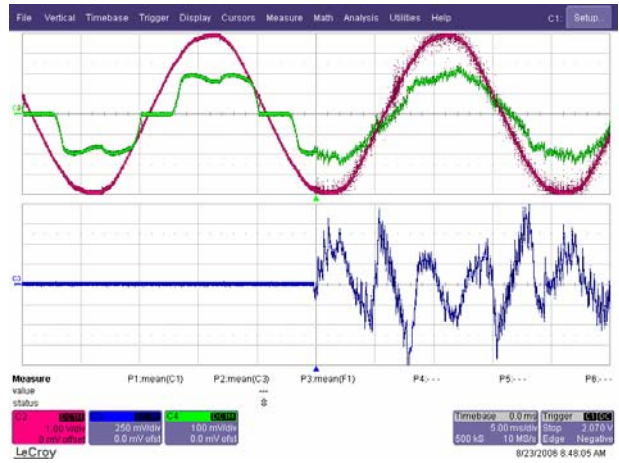
Yukarıda sistem parametreleri ve simülasyon sonuçları verilen aktif güç filtresi laboratuvarında oluşturulan deney düzeneği ile test edilmiştir. Kullanılan kontrol teknikleri ise Texas Instruments'ın üretmiş olduğu DSP F2812 ile uygulanmıştır. Kurulan denekten bir görünüş Şekil-8'de verilmektedir. Laboratuvar prototipi kurulduktan sonra simülasyonda denenen ve başarımlı görülen histerezis kontrol yöntemi ile kontrol edilerek gerilim kaynaklı aktif güç filtresi çalıştırılmıştır. Şekil-9'da şebeke gerilimi ve akımı ile birlikte, aktif güç filtresinin bastığı akımların dalga şekilleri verilmektedir. Bu şekilde, aktif filtre devreye girmeden önce ve aktif filtre devreye girdikten sonra arasındaki fark gösterilmektedir. Aktif filtrenin devreye girmesiyle, yükün oluşturduğu düşük frekanslı baskın harmonikler filtrelenmiştir. Osiloskop ile kaydı yapılan yük ve aktif filtre devreye girdikten sonra oluşan şebeke akımı dalga şekillerinin harmonik spektrumları ise Şekil-10'da verilmektedir. Harmonik spektrumların simülasyon çalışmalarında verilen sonuçlara çok yakın olduğu gözlenmektedir.



Şekil-8 Aktif filtre prototipinden bir görünüş

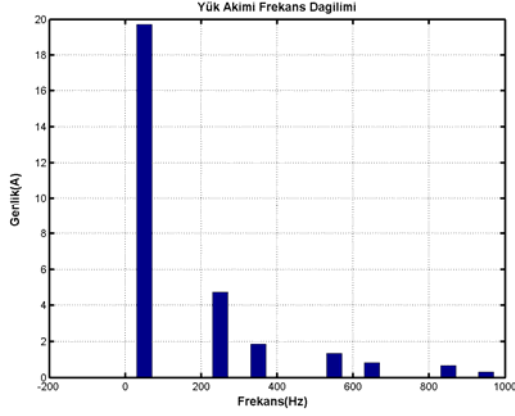


(a)

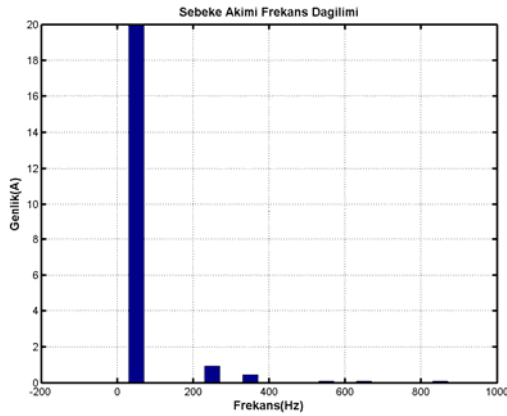


(b)

Şekil-9 Faz-nötr gerilimi, yük ve aktif filtre akımı (C2: Faz Gerilimi-20 V/div, C3: Aktif Filtre Akımı-2.5 A/div, C3: Yük Akımı-10 A/div)



(a)



(b)

Şekil-10 (a) Yük akımı (b) Şebeke akımı harmonik spektrumu

IV. SONUÇ

Elektrik güç kalitesi problemleri elektrik enerjisini kullanan tüm tüketiciler için tehlikeli boyutlara ulaşmış ve her yıl yüzbinlerce dolar seviyesinde kayıp ve hasarlara neden olmaktadır. Bu problemlere yönelik doğru çözümlerin tasarlanıp uygulanması her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Böyle bir ortamda aktif güç filtresi gerek reaktif güç düzenlenmesi gerekse harmonik akım filtrelenmesi yönünden giderek önemini artırmaktadır.

Bu makalede 5 A-rms çıkış gücünde bir aktif filtrenin tasarımı, benzetim çalışmaları ve uygulaması anlatılmıştır. Uygulamasının kolaylığı açısından seçilmiş olan histeresis akım kontrol metodunda THD (toplam harmonik bozulma) %11 gibi bir değerden filtreleme sonucu %4 gibi bir değere düşmüş olmasına rağmen anahtarlama frekansı kontrolümüz dışında olduğu için anahtarlama frekansı değişkenlik göstermekte ve 20kHz'e kadar çıkmaktadır. Bu değer yüksek güçlerde sorun yarattığı için gelecekte, kurulan prototip üzerinde daha karmaşık modülasyon teknikleri denenerek anahtarlama frekansı istenilen değerde ve sabit tutulmaya çalışılacaktır. Daha ilkeri

aşamalarda ise güç olarak daha büyük bir gerilim kaynaklı aktif filtre prototipi kurulup onun üzerinde çalışmalara devam edilecektir.

V. KAYNAKÇA

- [1] H. Akagi, "Active Harmonic Filters" Proceedings of the IEEE, Vol. 93, pp 2128-2141, 2005
- [2] A. Altıntaş, O. Bingöl, "Aktif güç filtrelerinde kullanılan matematiksel metodların değerlendirilmesi ve karşılaştırılması" Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi pp 145-150, 2004
- [3] S.Bhattacharya, T.M. Frank, D.M. Divan, and B. Banerjee "Active Filter System Implementation" IEEE Industry Applications Magazine, Vol. 4, pp 47-63, 1998
- [4] Se-Kyo Chung, "A Phase Tracking System for Three Phase Utility Interface Inverters" IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.15, pp 431-438, 2000
- [5] Diogo R. Costa, Jr., Luis G. B. Rolim, and Mauricio Aredes, "Analysis and Software Implementation of a Robust Synchronizing Circuit- PLL Circuit" Industrial Electronics, 2003. Vol.1, pp 292 - 297, 2003
- [6] Simone Buso, Luigi Malesani, Paolo Mattavelli, "Comparison of Current Control Techniques for Active Filter Applications" IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.45, pp 722-729, 1998
- [7] Bimal K. Bose, "An Adaptive Hysteresis-Band Current Control Technique of a Voltage-Fed PWM Inverter for Machine Drive System" IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.37, pp 402-408, 1990
- [8] Murat Kale, Engin Ozdemir, "A Novel Adaptive Hysteresis Band Current Controller for Shunt Active Power Filter" IEEE Conference, Vol. 2, pp 1118 - 1123, 2003
- [9] M. Lafoz, I. J. Iglesias, C. Veganzones, M. Visiers "A Novel Double Hysteresis-Band Current Control for Three-Level Voltage Source Inverter" Power Electronics Specialists Conference, Vol. 1, pp 21 - 26, 2000
- [10] David M.E. Ingram, S.D. Round "A Novel Digital Hysteresis Current Controller for an Active Power Filter" Power Electronics and Drive Systems, Vol. 2, pp 744-749, 1997
- [11] Vladimir Blasko, Vikram Kaura, "A New Mathematical Model and Control of a Three-Phase AC-DC Voltage Source Converter" IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.12, pp 116-123, 1997