

DOĞRUSAL OLMAYAN SİSTEMLER İÇİN BİR SERİ AKTİF GÜÇ FİLTRESİ TASARIMI VE ANALİZİ

Mahir DURSUN
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü
06500 Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Endüstri, ev ve ofislerde yarıiletken denetimli yüklerin yaygın olarak kullanımı enerji şebekelerinde gerilim dalga şeklinin bozulmasına yol açmaktadır. Bu durum elektrik şebekelerindeki enerjinin kalitesini düşürerek, alıcıların kayıplarını artırmakta ya da bozmaktadır. Şebekeyi, doğrusal olmayan yüklerden kaynaklanan harmoniklerin etkisinden korumak amacıyla geleneksel olarak, pasif paralel harmonik filtreleri kullanılmaktadır. Ancak bu filtreler, yük kaynaklı harmonikleri bastırırken, şebeke kaynaklı harmonikleri artırabilmektedir.

Bu makalede, hem şebeke kaynaklı harmoniklerin etkisini azaltan, hem de reaktif güç kompanzasyonu sağlayan bir seri aktif güç filtresi ele alınarak tasarımı ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan seri aktif güç filtresi, geleneksel paralel aktif güç filtrelerine bir alternatif olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Seri aktif güç filtresi, simülasyon, doğrusal olmayan sistemler

A SERIAL ACTIVE POWER FILTER DESIGN AND ANALYSIS FOR NONLINEAR SYSTEMS

ABSTRACT

Power semiconductors are widely used in industrial loads, home and office appliances causing voltage waveform distortion and deterioration of power quality. Shunt harmonic filters are traditionally used for protection of electrical system against harmonics currents, generated by large nonlinear loads. However, while shunt harmonic filters suppress harmonics generated by nonlinear loads, they cause an increase of supply originated harmonics.

In this paper, the design of a serial active power filter is proposed and simulation results are presented. In addition, series active power filter which suppresses both source and load originated harmonics and compensates reactive power are discussed. Proposed filter can be considered an alternative to traditional shunt active power filters.

Key Words : Serial active power filter, simulation, nonlinear systems

1. GİRİŞ

Harmonikler, güç katsayısını azaltırken, enerji hatlarındaki kayıpları ise arttırmaktadır. Ayrıca devredeki kondansatörler ile elektrik makinelerinin aşırı ısınmasına ve çalışma ömürlerinin azalmasına, sayaçların ve koruyucu devre elemanlarının hassasiyetinin bozulmasına, iletişim hatlarında ve radyo alıcılarında parazitlere, bilgisayar ve benzeri cihazların etkilenmesine sebep olmaktadır(1). Harmoniklerin etkisi çoğu zaman hissedilir, ancak ekonomik açıdan değerlendirilmesi zordur. Fakat dağıtım sisteminin ve kullanılan elektrikli cihazların güvenilirliğini azalttığı açıktır.

1950'li yıllardan beri doğrusal olmayan ve hızlı anahtarlama yüklerin endüstride kullanımı hızla artmıştır. Bu yükler enerji şebekesindeki dalga şeklinin bozulmasına yol açmaktadır. 1957'de silikon denetimli doğrultmacın (tristör) icadı ve güç elektroniğinin gelişimi enerji akış denetimini çok daha basitleştirmiş ve ucuzlatmıştır. Fakat bunun sonucunda, gerilim dalga şeklindeki bozulmalar (harmoniklerin) artmıştır. Günlük ha-

yatta sürekli olarak kullanılan çok sayıda düşük güçlü doğrusal olmayan yük vardır. Bunların başlıcaları, floresant lambaların balastları, tv ve müzik setleri, bilgisayarlar, kesintisiz güç kaynakları ve diğer elektronik ev araçlarıdır.

Gün geçtikçe artan gerilim bozucu etkilere yeni bir etken daha ilave edilmiş ve harmonik olarak adlandırılmıştır. Şebekedeki harmoniklerin alıcılar üzerinde oldukça önemli miktarda istenmeyen etkileri olmasına rağmen bazen dikkate alınmaması nedeniyle elektrik şebekesinde ve alıcılarda istenmeyen verim ve kalite düşüklüğüne sebep olmaktadır. Son yıllarda dağıtım sistemlerinde hatların iletim kapasitesini ve verimini arttırmak, gerilim profilini iyileştirmek gibi nedenlerle enerji dağıtım sisteminde daha fazla sayıda kondansatör yada kondansatör grubu kullanılmaktadır. Kompanzasyon amacıyla konulan bu kondansatörler hatların ve hatlardaki transformatörün endüktansları nedeniyle rezonans devresi oluşturabilmektedir. Gerçekte çok küçük değerli olan harmoniklerin etkisi, rezonans oluşumuyla yükselerek oldukça etkili hale gelebilmektedirler. Bu durum gerilim

dalga şeklinin bozulmasını önemli ölçüde arttırmaktadır.

1980'li yılların başlarına kadar reaktif güç kompanzasyonu işlemlerinde genellikle, kademeli ayar yapan kompensatör kullanılmıştır. Klasik kompanzasyon işleminde devreye mekanik olarak kondansatör veya kondansatör grupları eklenmekte ya da çıkartılmaktadır. Mekaniki hareketten dolayı kompanzasyonda kullanılan bu kompensatörlerin tepkisi yavaştır. Kademeli ayar yapan kompensatörler kompanzasyon işlemini doğrusal yükler için gerçekleştirebilmesine rağmen, doğrusal olmayan yüklerde tepki hızlarının düşük oluşu nedeniyle, yüksek frekanslı harmoniklerin bastırılmasında yeterli olamamaktadırlar. Ayrıca klasik kompanzasyon yönteminde, kontakların açılması sırasında mekanik hareket nedeniyle ark oluştuğundan yüksek ve düşük frekanslı harmonikler yayılarak şebeke geriliminde kalite düşüklüğüne neden olmaktadır. Bu nedenle, hızlı tepki veren güç elektroniği devrelerinde bu tip kompensatörlerin kullanılması, harmoniklerin bastırılması veya reaktif güç kompanzasyonunda kullanımları yeterli ve uygun değildir(2).

Doğrusal olmayan yüklerde reaktif güç kompanzasyonu ve harmoniklerin bastırılması sorunu karşısında araştırmacılar, yeni teoriler geliştirmişler yeni filtre tasarımlarına yönelmişlerdir. Kullanılan metodlardan başlıcaları Akagi ve Nabae ile Czarnecki metodlarına dayanır(2-4). Akagi ve Nabae ortaya koydukları ani reaktif güç teorisi ile aktif filtre tasarımının temellerini ortaya koymuşlardır. Bunun sonucunda yeni filtreler tasarlanmış ve bu yeni filtreler "Aktif Güç Filtreleri" olarak adlandırılmışlardır. Yarıiletken ve denetim tekniklerinin hızla gelişmesiyle, aktif güç filtrelerinin tepki hızlarının ve performanslarının daha da artmış, yüksek frekanslı harmoniklerin daha kolay bir şekilde bastırılması imkanı sağlanmıştır. Bu üstünlüklerinden dolayı aktif güç filtrelerinin kullanımları gittikçe yaygınlaşmaktadır.

Bu güne kadar yapılan aktif güç filtresi tasarımlarında referans akım sinyali üretimi için şebeke gerilimi kullanılmış ve bu gerilimin sinüsel olduğu varsayılmıştır. Gerçekte ise şebeke gerilimi her zaman sinüsel olmayabilir. Bu nedenle bazı araştırmacıların tasarladıkları paralel aktif güç filtreleri ve seri aktif güç filtrelerinin performansı, şebeke geriliminin dalga şeklinin değişimi ile orantılı olarak değişmektedir (5,6). İyi tasarlanmış bir aktif güç filtresi, şebeke geriliminin dalga şeklinde de-

şimler olsa bile, performansını koruyabilmelidir. Uygulamada, anahtarlama elamanlarının tetikleme frekansı arttıkça, anahtarlama kayıpları nedeniyle aktif güç filtresinin verimi de azalmaktadır. Bu durum aynı zamanda kondansatör üzerinde meydana gelen gerilmeleri de arttırmaktadır. Bu nedenle aktif güç filtresi tasarımında hem filtredeki kondansatör üzerinde düşen gerilimin hem de anahtarlama frekansının belirli bir seviyede olması istenmektedir. Filtredeki kondansatörün değeri ve filtrenin anahtarlama frekansı, sistemin performansı ve maliyetini önemli ölçüde etkiler.

Paralel aktif güç filtrelerinde, şebeke geriliminin harmonik içermesi durumunda, rezonans harmonik filtrelerinde olduğu gibi şebekedeki mevcut harmonikleri arttırma eğilimi görülebilir. Bu sakıncayı ortadan kaldırmanın yolu, iyi tasarlanmış bir seri aktif güç filtresi kullanmaktır. Bu çalışmada seri aktif güç filtresi tasarımı analizi ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Seri aktif güç filtresi tasarımında referans akım sinyali üretilirken şebekeyle aynı fazda sinüsel bir referans sinyali kullanılmıştır.

2. DOĞRUSAL OLMAYAN SİSTEMLER İÇİN BİR SERİ AKTİF GÜÇ FİLTRESİ

Harmoniklere karşı aşırı duyarlı cihazlar ile reaktif güç isteği çok ani değişen cihazların endüstride aynı anda kullanılma zorunluluğu, daha iyi kompanzasyon yapabilecek yeni tasarımları gerektirmektedir.

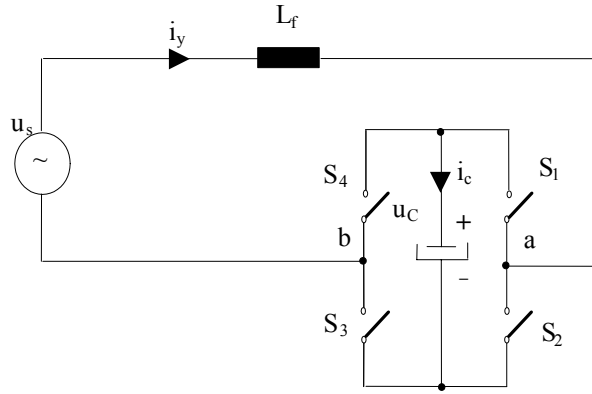
Alternatif akımda doğrusal olmayan yükler; sabit ve değişken güç katsayılı olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Bu yüklerle, birincisi için akımı sabit tetikleme açısıyla denetlenen triyak denetimli omik bir yük, ikincisi için ise; bir akü şarj devresi örnek olarak verilebilir. Akım yada gerilimi anahtarlama güç elektroniği devre elemanları ile denetlenen diğer yüklerde bu yüklerle benzer özellik göstermektedirler.

Seri aktif güç filtreleriyle reaktif güç kompanzasyonu yapılırken, tepki hızlarının çok yüksek olması nedeniyle aynı zamanda harmonikler de filtre edilebilmektedirler. Seri aktif güç filtrelerinin verimlerinin yüksek oluşu, güç katsayısının 1'e çok yakın bir değerde tutulabilmesi, doğrusal olmayan yüklerde kullanılabilmeleri ve akımın tam bir sinüs dalgasına benzetilebilmesi kullanımında tercih nedeni olmaktadır. Bu çalışmada, şebeke geriliminde oluşması muhtemel bozulmalar nedeniyle kompanzasyon ve filtre işlemlerindeki hataların

önemi vurgulanmıştır. Bu hataların ortadan kaldırılabilmesi şebeke geriliminden bağımsız orijinal bir referans sinyal kullanılmıştır. Bu referans sinyal şebekeyle aynı fazda ve frekanstadır. Böylece filtreleme ve kompanzasyon işlemi, şebekeden bağımsız hale getirilmiştir. Filtrelemede anahtarlama kayıplarını azaltmak amacıyla düşük anahtarlama frekansında da yeterli kompanzasyon yapabilen seri bir aktif güç filtresinin sabit ve değişken güç katsayılı olmak üzere farklı yükler üzerindeki etkisi araştırılmış ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

2.1. Seri Aktif Güç Filtresinin Matematiksel Modeli

Bu çalışmada bir fazlı seri aktif güç filtresiyle kompanzasyon amaçlandığından, bir fazlı seri aktif güç filtresininin matematiksel modeli gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.'de seri aktif güç filtresinin tasarım prensibi şeması görülmektedir.



Şekil 1. Aktif güç filtresinin tasarım prensibi şeması

Şekil 1.'de verilen prensip şemasında S anahtarı, (1,2,3,4) rakamları da anahtar numaralarını temsil etmektedir. Anahtarlar (x) değişkeni ile temsil edilirse; anahtar açıkta $u_x = 0$, kapalıysa $u_x = 1$ mantığı kullanılarak matematiksel model Eş. (1) elde edilir.

$$u_x = \begin{cases} 1 & S_x \text{ kapalıyken} \\ 0 & S_x \text{ açıkken} \end{cases} \quad (1)$$

Şekil 1.'deki filtre devresinde anahtarların durumuna bağlı olarak a ve b noktaları arasındaki gerilim u_{ab} olmak üzere, Eş. (2) ile veya Eş. (3) ile bulunur.

$$u_{ab} = [u_1 + u_3 - 1]u_c \quad (2)$$

$$u_{ab} = [u_2 + u_4 - 1]u_c \quad (3)$$

Eş.(3) ve Eş. (4)'de u_c filtre gerilimini temsil etmektedir. Aynı şekilde filtre akımı, Eş. (4) veya Eş. (5) ile gösterilebilir.

$$i_c = [u_1 + u_3 - 1]i_y \quad (4)$$

$$i_c = [u_2 + u_4 - 1]i_y \quad (5)$$

Eş.(4) ve Eş. (5)'de i_c seri aktif güç filtresindeki kondansatör akımını, i_y ise yük üzerinden geçen akımı göstermektedir. Filtre bobin akımı ve kondansatör uçlarındaki gerilimin ifadesi ise; u_s herhangi bir anahtar üzerinde düşen gerilimi temsil etmek üzere, durum uzay formunda, Eş (6) ve Eş (7) olarak elde edilir.

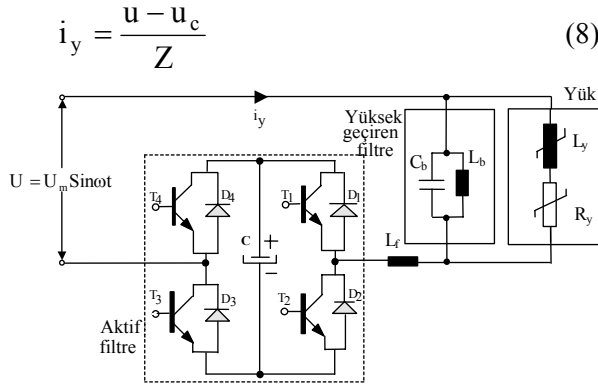
$$\frac{d}{dt} i_y = \frac{1}{L_f} [u_s (2u_x - 1)]u_c \quad (6)$$

$$\frac{d}{dt} u_c = \frac{1}{C} [2u_x - 1]i_y \quad (7)$$

2.2. Seri Aktif Güç Filtresi Tasarımı

Aktif güç filtreleri, klasik kompanzasyon tekniklerinde olduğu gibi yüke paralel değil seri olarak da bağlanabilmektedir. Paralel bağlantıda anahtarlama frekansının ve kondansatör gerilim değerinin seri bağlantıya göre daha yüksek olması gerekir. Bu nedenle seri aktif güç filtrelerinin verimleri paralel aktif güç filtrelerine göre daha yüksektir. Üstelik kondansatör fiyatı gerilim değeri ve frekansla birlikte arttığından seri aktif filtre daha ucuza imal edilebilir. Simülasyonu yapılan seri aktif güç filtresinin devre şeması Şekil 2.'de görülmektedir. Filtre yüke seri olarak bağlandığından yük akımının tamamı filtre kondansatörü üzerinden geçmektedir. Yük akımı, aktif güç filtresindeki kondansatör geriliminin denetimiyle filtre edilmektedir. Başlangıçta şarjsız olan kutuplu kondansatöre alternatif akım uygulanırsa kondansatör doğru polarmada şarj, ters polarmada ise deşarj olmaktadır.

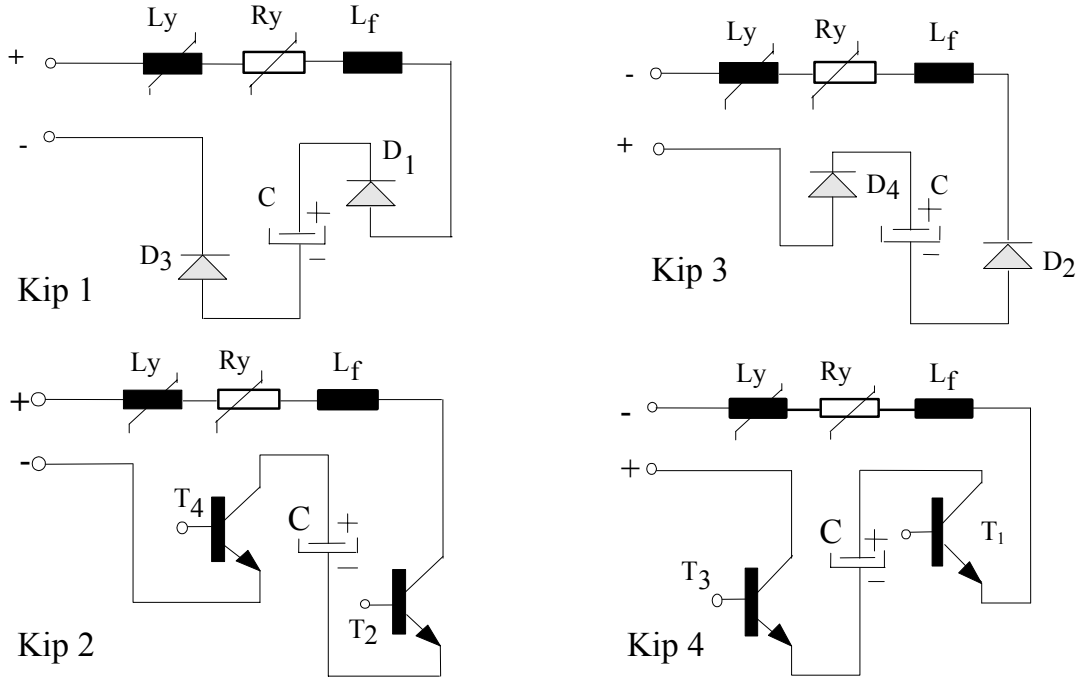
Devrenin toplam giriş empedansı Z olmak üzere, kondansatör şarj olurken gerilimi arttıkça devreden geçen akım, filtre bobini (şok bobini) üzerinde düşen gerilim ihmal edilirse, Eş. (8)'e göre azalmaktadır.



Şekil 2. Seri aktif güç filtresi ve RL yüküne bağlantı şeması

olmaktadır. Seri aktif güç filtresinin toplam endüktans L ve devreden geçen yük akımı I_y 'dir. Yük akımı, aynı zamanda kaynak akımı ve kondansatör akımına eşittir. İkinci kipte, T2 ve T4 transistörleri iletimde ve kondansatör ters polarımadır. Üçüncü kipte ise kaynak geriliminin polaritesi değişmektedir. Bu durumda D2 ve D4 diyodları iletimde ve kondansatör polaritesi kaynak gerilimiyle aynıdır. Dördüncü kipte, kondansatörün polaritesi terstir ve kaynak geriliminin polaritesi değiştiğinden T1 ve T3 transistörleri iletimdedir.

Seri aktif güç filtresi sisteminin matematiksel modeli elde edilirken, transistörlerin iletimde ol-



Şekil 3. Seri Aktif güç filtresinin Çalışma Kipleri

Ters polarmada ise kondansatör gerilimi azalırken devreden geçen akım Eş. (9) ile hesaplanmaktadır.

$$i_y = \frac{u + u_c}{Z} \quad (9)$$

2.3. Seri Aktif Güç Filtresinin Matematiksel Modellenmesi

Seri aktif güç filtresinin matematiksel modeli dört farklı çalışma kipine göre elde edilmektedir. Şekil 3.'de filtrenin çalışma kipleri görülmektedir. Birinci kipte, D1 ve D3 diyodları iletimdedir. Bu durumda C kondansatörü doğru polarmada ise şarj

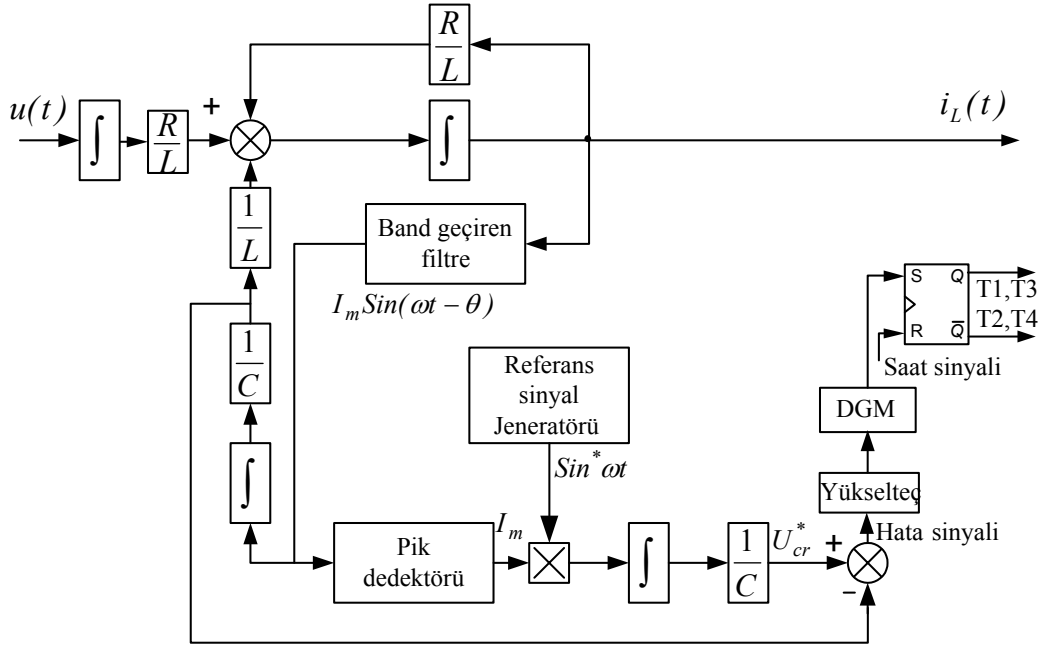
duğu kiplere göre T1-T3 veya T2-T4 anahtarları anahtarları iletimdeyken ayrı, D1-D3 veya D2-D4 diyodları iletimdeyken ayrı bir matematiksel modeli yazılmaktadır. D1-D3 veya D2-D4 diyodları iletimde iken sistemin durum uzay şartlarındaki matematiksel modeli Eş. (10) olarak bulunmuştur.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_y \\ u_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & \frac{1}{L} \\ -\frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_y \\ u_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [u] \quad (10)$$

Aktif güç filtresindeki T1-T3 veya T2-T4 anahtarları iletimdeyken çalışma kiplerinin matematiksel modeli, Eş. (11) olarak elde edilmiştir.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_y \\ u_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_y \\ u_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [u] \quad (11)$$

gerçek filtre gerilimi arasındaki hata %1'lik histerisiz bandı sınırları içerisinde sabit tutulmuştur. Simülasyonda örnekleme zaman aralığı 0.0001 saniye ve anahtarlama frekansı 10 kHz'dir. Pratikte kompanze edilecek reaktif akımının büyüklüğü,



Şekil 4. Seri aktif güç filtresinin denetim devresi blok diyagramı

Şekil 4'de seri aktif güç filtresinin denetiminde kullanılan blok diyagramı görülmektedir. Blok diyagramında, band geçiren filtre ile yük akımı filtre edilerek band sınırlı yük akımı elde edilmektedir. Filtrede f_o şebeke frekansıdır ve band aralığı orjinal akımın ± 1 'i olarak alınmıştır.

Referans sinyal ($\sin^* \omega t$), band aralığıyla sınırlı yük akımının tepe değeri ile çarpımın integrali alınarak filtre kondansatörünün referans gerilim değeri (U_c^*) elde edilmektedir. Bu değer filtre kondansatöründeki band sınırlı gerilim değeri ile karşılaştırılarak hata değeri bulunur. Elde edilen hata akımında, band genişliği ile sınırlı akımdaki muhtemel harmoniklerin genlikleri de azaltılmıştır. Hata değeri yükselerek denetleyici ve darbe genişlik modülatörü (DGM) vasıtasıyla anahtarlar denetlenmekte ve bu şekilde yük akımının sinüsel olması sağlanmaktadır.

3. SİMÜLASYON VE SONUÇLAR

Simülasyondaki faz geriliminin tepe değeri $U_m = 311$ V, minimum yük direnci $R = 31.1 \Omega$ ve yük endüktansı 0.001-0.1 H aralığında değişmektedir. Yük akımının maksimum değeri 10A ile sınırlandırılmıştır. Referans kondansatör gerilimi ile

anahtarlama kullanılacak yarıiletken elemanların akım taşıma kapasitesi ile sınırlıdır. Aktif güç filtresinde kullanılan anahtarlama elemanları ideal olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle bu elemanların iletme ve kesime gitme süreleri ile üzerlerindeki gerilim düşümü ve bu elemanların harcadıkları aktif güçler dikkate alınmamıştır. Seri aktif güç filtresi simülasyonlarında darbe genişlik modülasyonu (DGM) denetim sinyali kullanılmış ve geri besleme sinyallerindeki zaman gecikmesi ihmal edilmiştir.

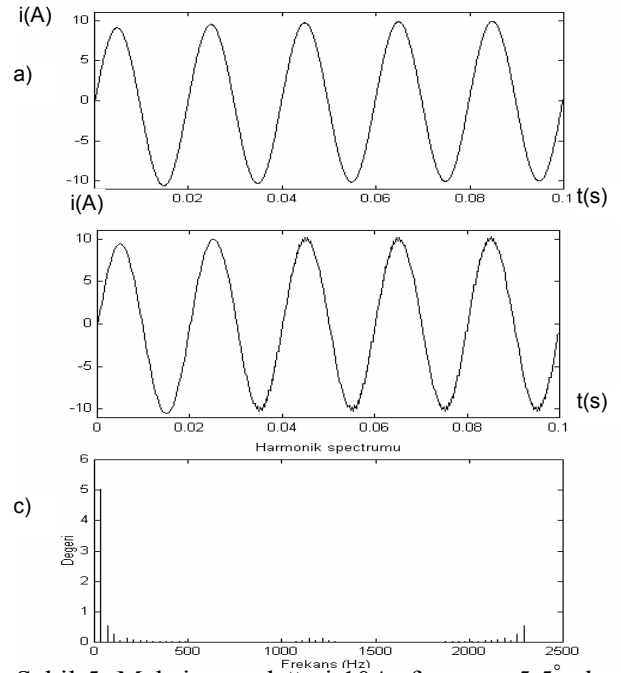
Tasarımı ve simülasyonu yapılan seri aktif güç filtresinin performansı çeşitli yük akımları için omik-kapasitif (RC) ve omik-endüktif (RL) yük durumunda yaptığı kompanzasyon sonuçları incelenmiştir. Yük önce doğrusal ve daha sonra doğrusal olmayacak şekilde ayarlanmıştır. Bu işlem için, yük girişine bir triyak bağlanarak yükün doğrusallığı triyakin tetikleme açısına göre değiştirilmiştir. Triyak 0 derecede tetiklendiğinde yük doğrusal, diğer durumlarda ise doğrusal değildir. Triyakin maksimum tetikleme açısı 90 derece olarak seçilmiştir.

Doğrusal yük durumunda her iki yükün kaynaktan çektiği akım kompanzasyon öncesi si-

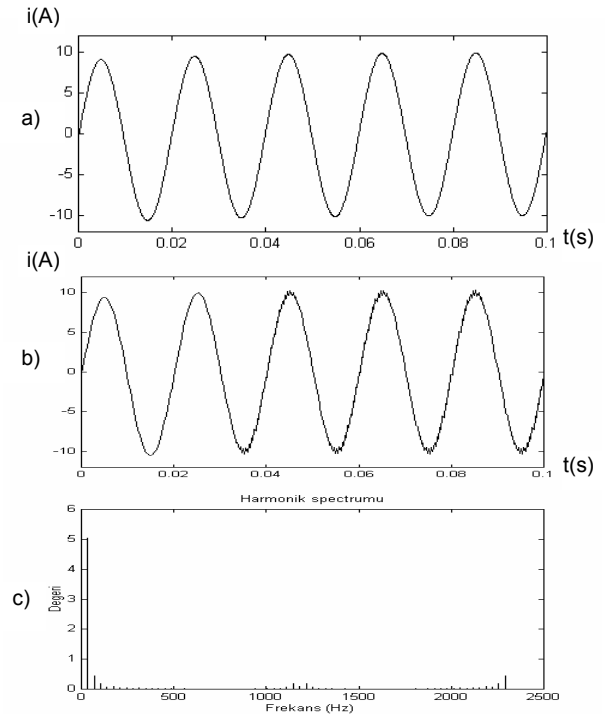
nüsel ve θ_y açısı kadar geridedir. Kompanzasyon sonrası bu değer 0° 'ye çok yaklaşmıştır. Şekil 5.'de şebeke gerilimi ve RC yükün omik direnci 31.1Ω ve faz açısı $\theta_y = 5.5^\circ$ ileri iken yükün şebekeden çektiği akımın kompanzasyon öncesi ve sonrası dalga şekli görülmektedir. Şekil 6.'da yükün faz açısı $\theta_y = 1.5^\circ$ ileri yapılarak yine güç katsayısının aynı kaldığı görülmüştür. Bu yükün kompanzasyon yapılmadan önce şebekeden çektiği akımın grafiği Şekil 6.a'da, kompanzasyon sonrası akımın grafiği Şekil 6.b'de verilmektedir. Aynı şekilde yükün endüktansı artırılarak faz açısı $\theta_y = 4.05^\circ$ iken ve $\theta_y = 22.43^\circ$ iken yapılan simülasyon sonuçları Şekil 7. ve Şekil 8.'de verilmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi faz farkının küçük olduğu yüklerde harmonik değerleri temel frekansa oranla ihmal edilebilecek değerdedir. Faz farkı arttığında harmonik değerlerinde bir miktar artış olmaktadır. Fakat bu artış yine de temel dalgaya oranla oldukça küçük olup faz açıları da sifıra yakın değerdedir.

Yük akımlarının düzeltilmesinde kullanılan filtre parametrelerini bulmak için devresini triyak üzerinden tamamlayan ve tepe değeri 10 A olan yük akımının etkin değerleri triyakın 30° gecikmeyle tetiklenmesinde 6.972 A, 60° gecikmeyle tetiklenmesinde 6.341 A ve 90° gecikmeyle tetiklenmesinde 5.728 A'dir. Triyaktan akım geçmediği zaman direnç, filtre kondansatörü ve şok bobininde depo edilen enerjiyi harcar. Bu nedenle filtrede kullanılan kondansatör ve şok bobininde depo edilen enerjilerin toplamı direncin harcayacağı enerjiyi depolayabilecek uygun bir degerde seçilerek

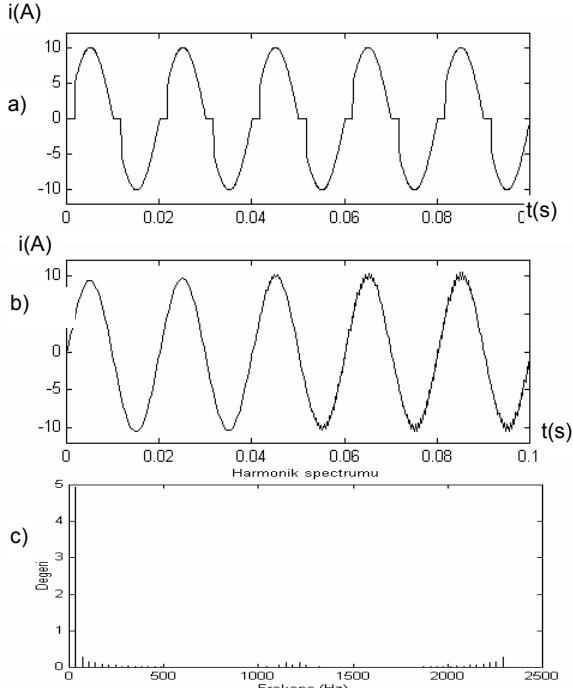
30° 'lik tetikleme açısı için $L_f=10.23$ mH, $C=1.56$ mF, 60° 'lik tetikleme açısı için $L_f=20.5$ mH, $C=1.3$ mF, 90° 'lik tetikleme açısı için $L_f=31.21$ mH, $C=3.58$ mF olarak bulunmuştur. Devredeki yükün omik direnci 31.1Ω ve endüktansı $0.02H$ olan yük triyak ile beslenmiştir. Triyakın $30^\circ, 60^\circ$ ve 90° 'lik açılarla tetiklenmesi durumunda yükün şebekeden çektiği akımın dalga şekilleri, düzeltilmeden önceki ve seri aktif güç filtresiyle düzeltildikten sonraki durumları için Şekil 9., Şekil 10. ve Şekil 11.'de gösterilmektedir. Şekil 12.'de ise herhangi bir nedenle bozulan bir şebeke gerilimi ve bu şebekeden beslenen bir yükün şebekeden çektiği akım görülmektedir.



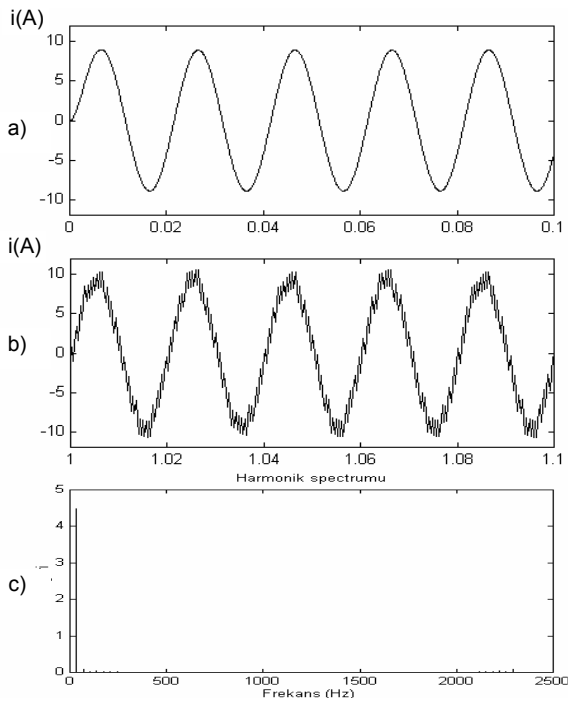
Şekil 5. Maksimum değeri 10A, faz açısı 5.5° olan kapasitif yükün seri aktif güç filtresiyle kompanzasyon yapılmadan, yapıldıktan sonra dalga şekli ve düzeltilmiş akımın harmonik spektrumu



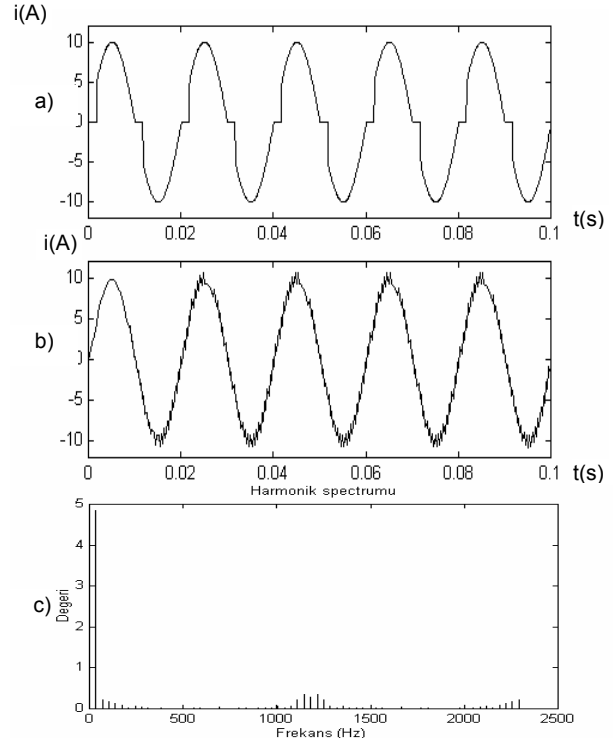
Şekil 6. Maksimum değeri 10A, faz açısı 1.5° olan kapasitif yükün akımının seri aktif güç filtresiyle kompanzasyon öncesi ve sonrası akım dalga şekli ve düzeltilmiş akımın harmonik spektrumu



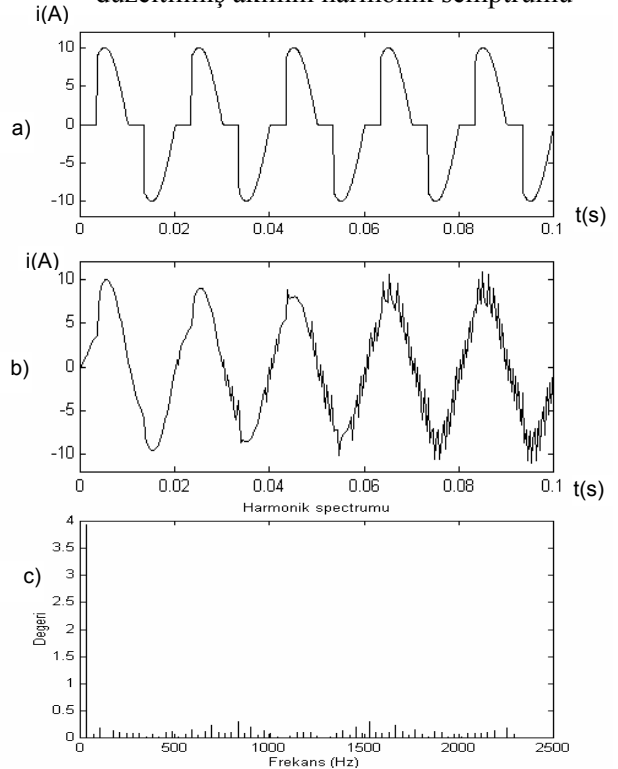
Şekil 7. Maksimum değeri 10A, faz açısı 4.05° olan endüktif yükün seri aktif güç filtresiyle kompanse edilmeden, yapıldıktan sonra dalga şekli ve düzeltilmiş akımın harmonik spektrumu



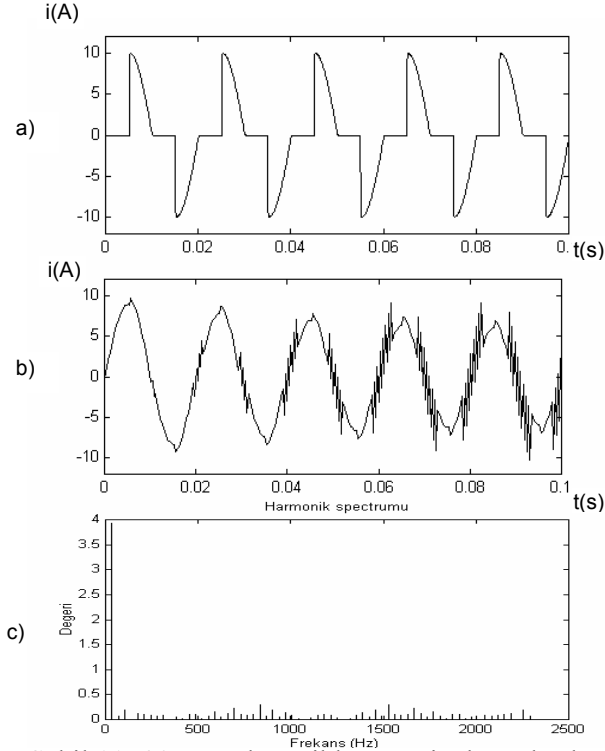
Şekil 8. Maksimum değeri 10A, faz açısı 22.43° olan endüktif bir yükün akımının seri aktif güç filtresiyle kompanse edilmesi öncesi ve sonrası dalga şekli ve düzeltilmiş akımın harmonik spektrumu



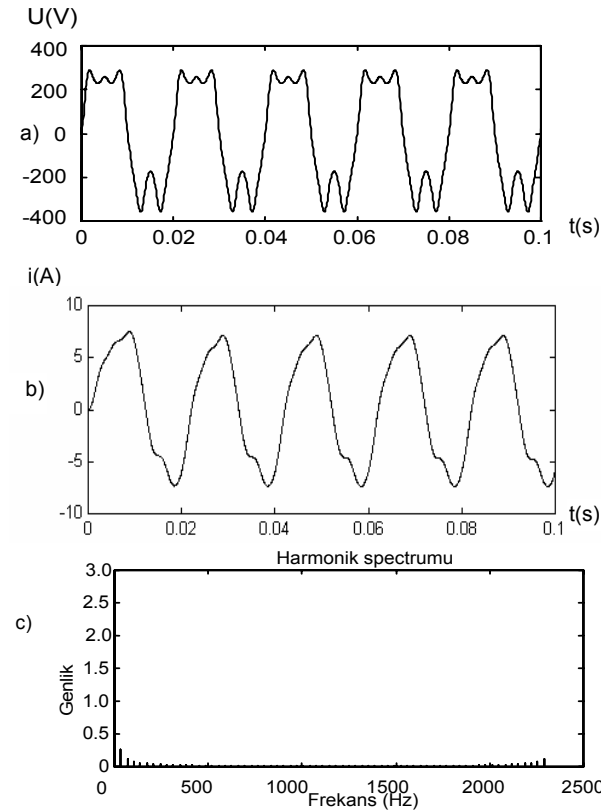
Şekil 9. 30° açıyla tetiklenen triyaktan beslenen omik bir yükün akımının kompanse edilmesi öncesi ve sonrası dalga düzeltilmiş şekli ve düzeltilmiş akımın harmonik spektrumu



Şekil 10. 60° açıyla tetiklenen triyaktan beslenen omik yükün bir seri aktif güç filtresiyle kompanse edilmesi öncesi ve sonrası akım dalga şekli ve düzeltilmiş akımın harmonik spektrumu



Şekil 11. 90° açıyla tetiklenen triyaktan beslenen omik bir yükün akımının kompanzasyon öncesi ve sonrası dalga şekli ve düzeltilmiş akımın harmonik spektrumu



Şekil 12. 3. ve 5. harmoniğin etkilediği 311V'luk şebeke geriliminden beslenen alıcının kaynaktan çektiği akımın dalga şekli ve bu akımın harmonik spektrumu

4. SONUÇ

Simülasyon sonuçlarından seri aktif güç filtresiyle kompanzasyon yapılırken, aynı zamanda yüksek frekanslı harmoniklerin etkilerinin de azaltılabildiği görülmüştür. Filtre devresi üzerinden yük akımının tamamı geçtiğinden uygulamada hem anahtarlama elemanları, hem de kondansatör yük akımının tamamını taşıyabilecek özellikte seçilmelidir. Yük akımının tamamının filtre kondansatörü üzerinden geçmesi, yük akımının denetimi açısından bir avantaj, uygun kondansatör seçimi açısından ise dezavantajdır. Ancak, filtre devresi şebekeye bağlanırken herhangi bir transformator kullanılmaması ve kondansatör gerilimi denetlenirken yük akımının da tamamının denetlenebilmesi, doğrusal olmayan yük akımlarının denetiminde büyük bir üstünlük sağlamaktadır. Fakat, şebeke geriliminin tamamının kondansatör üzerinde düşmemesi, kondansatörün gerilim değerinin düşük olmasına imkan tanır. Paralel aktif güç filtreleriyle karşılaştırıldığında seri aktif güç filtresinin daha düşük anahtarlama frekansında kompanzasyon yapabilmeye ve harmoniklerin etkilerini bastırabilme imkanı sunmaktadır. Ayrıca, bozulmuş bir şebeke geriliminde bile şebekeden çekilen akımı sinüs şekline yaklaştırmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Akagi, H., Kazanawa, Nabae, A. "Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components", IEEE Trans. Ind. App., Vol. IE-20, No.3, pp.625-630, 1984
2. Czarnecki, LS. "Minimization of Reactive Power Under the nonsinusoidal Condition", IEEE Trans. on. Ins. And Meas., Vol. IM-6, No. 1, pp.18-22, March, 1987
3. Czarnecki, LS. "Harmonic Blocking Compensator: An Alternating for improving Power Quality", Proc. Of IEEE ICHPS VI, pp. 1-6, September, 1994
4. Juo H-L, Chu H-Y and Wu J. H "New Single-Phase Active Power Filter" INT. J. Electronics, Vol. 75, No.3 May, 1993
5. Nastran J., Cajhen, SELIGER M. and JEREB p., "Active Power Filters for Nonlinear AC Loads", IEEE Trans on Power Electronics, Vol. 9, No. 1 January, 1994
6. Torrey D. ADEL M. and Al-ZAMEI "Single-Phase Active Power Filter For Multiple Nonlinear Loads" IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 10, No 3, pp. 263-272, May,1995

