

DOĞRUSAL OLMAYAN YÜKLERİN KOMPANZASYONUNDA REZONANS OLGUSUNUN İNCELENMESİ

Alper Terciyanlı

TÜBİTAK-BİLTEN 06531, ODTÜ/ANKARA

alper.terciyanli@bilten.metu.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Güç kalitesi, kompanzasyon, doğrusal olmayan yük, rezonans, harmonik filtre

ÖZ

Bu makalede temel olarak elektrik güç kalitesi problemlerinin başında gelen reaktif güç bileşeninin kompanzasyonu ve akım harmoniklerinden kaynaklı rezonans olgusu üzerine bilgisayar simülasyonuna dayalı bir çalışma yapılmıştır. Sanayide AG seviyesinde en çok kullanılan geleneksel (kontaktör) anahtarlama yalnız kondansatör bankalarının doğrusal olmayan yüklerin kompanzasyonunda kullanılması halinde oluşabilecek rezonans ve aşırı yüklenme durumları simülasyon yardımı ile gösterilmiştir. Ayrıca bu yüklerin kompanzasyonunda akord edilmemiş (de-tuned) filtrelerin kullanılması ile elde edilecek iyileşmelerde karşılaştırmalı bir biçimde sunulmuştur.

I. GİRİŞ

Günümüzde güç elektroniği endüstrisi ve sanayisindeki gelişmelere paralel olarak anahtarlama güç kaynakları, ark ve pota ocakları, motor sürücüleri, AA/DA dönüştürücüler ve çevirgeçler gibi doğrusal olmayan yüklerin kullanımını artırmış, bu durum ise elektrik iletim ve dağıtım şebekelerinde güç kalitesi problemlerine neden olmuş ve olmaya da devam etmektedir. Doğrusal olmayan yüklerin bağlı olduğu baralardan aynı zamanda elektrik güç kalitesine duyarlı yüklerin de beslenmesi ve çoğu zaman nedeni bile anlaşılamayan güç kalitesi problemlerinden kaynaklı arızalarla daha çok karşılaşılması bu konuya olan ilgiyi giderek artırmaktadır.

Endüstride kullanılan elektrikli aletler şebekeden aktif ve reaktif enerji çekmektedirler. Aktif enerji gerçek işi yapan enerji olmasına rağmen Reaktif enerji motorlarda olduğu gibi mıknatıslanma amaçlı ya da ark ve endüksiyon ocaklarında olduğu gibi yükün karakteristiğine bağlı olarak çekilen enerjidir. Şebekeden çekilen bu sanal enerjinin akım bileşeni çekilen şebekede hattın empedansına bağlı olarak elektriksel kayıplara, iletim hatlarında kapasitesinin azalmasına, üretim kapasitesinin tam kullanılmamasına ve ek yatırımlara neden olmaktadır. Bütün bu olumsuzluklar, reaktif enerji ihtiyacı olan yük ya da yük grubunun bağlı bulunduğu

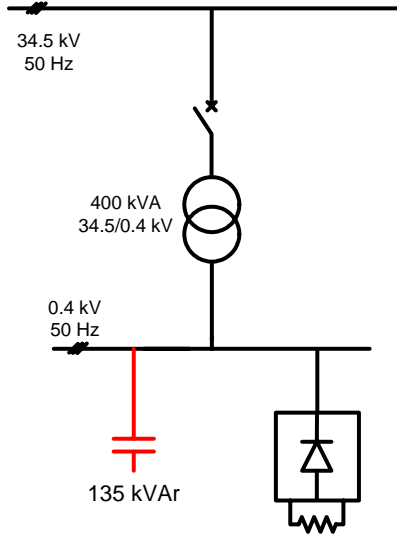
baraya Reaktif Güç Kompanzasyonu (RGK) sistemlerinin tesis edilmesi ile giderilmektedir[1,2]. Böylece bu yüklerin reaktif enerji ihtiyacı yükün hemen yanısından temin edilmekte ve iletim hatlarından daha fazla aktif güç çekilebilmektedir.

İletim ve dağıtım şebekelerinde rastlanılan diğer önemli güç kalitesi problemlerinin başında akım ve gerilimde görülen harmoniklerdir[2-4]. Yarı iletken teknolojisinin son elli yılda hızla gelişmesi endüstrinin tüm alanlarında kontrolsüz ya da kontrollü çevirgeç/evirgeç kullanımını yaygın hale getirmiştir. Bu tür çevirgeç/evirgeç sistemleri doğaları gereği şebekeden 50 Hz ana bileşenin yanı sıra 50 Hz'in katlarında akım harmonik bileşenleri çekmektedir. Örnek olarak 6-darbeli bir diyot doğrultucu şebekeden 50 Hz temel bileşenin yanısıra $5 \times 50 = 250$ Hz, $7 \times 50 = 350$ Hz, $11 \times 50 = 550$ Hz gibi değişik frekanslarda akım harmonikleri çekerler. Akım harmonikleri ve dolaylı olarak oluşan gerilim harmonikleri 50 Hz saf sinüs akım ve gerilimine göre tasarlanan elektrikli aletlerin bozulmasına ya da yanlış ve zamansız çalışmasına sebep olurlar. Aynı zamanda bu harmonikler iletim ve dağıtım şebekelerinde kayıplara, güç transformatörleri ve kablolarında aşırı ısınmalara, koruma rölelerinde yanlış açmalara ve dolayısıyla kesintilere, şebekede kullanılan devre elemanlarında rezonans dolaylı bozulmalara ve kalıcı hasarlara yol açmaktadır. Bir bütün olarak bakıldığında harmonikler her yıl şebekelerde yüzbinlerce dolar seviyelerinde maddi kayıplara yol açmaktadır. AG seviyesinde bu konuda TEK tarafından 1992 yılında yayınlanan tavsiye niteliğinde bir döküman [5] mevcut olmakla birlikte herhangi bir yasal sınırlama söz konusu değildir.

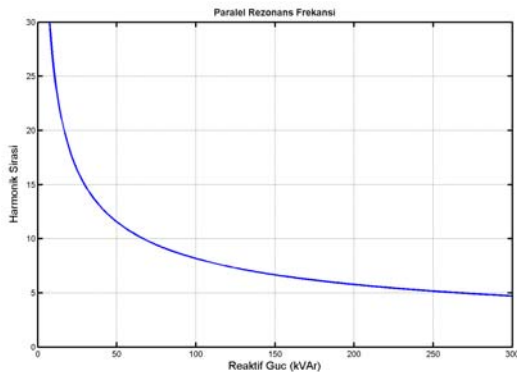
II. PROBLEM TANIMI

Sanayide AG seviyesinde reaktif güç kompanzasyonu için en çok kullanılan sistemler kontaktör anahtarlama yalnız kondansatör bankalarıdır. Yalnız kondansatör bankalarının avantaj ve dezavantajlarına bundan önce birçok makalede değinilmiştir [2]. Bu sistemlerin tesis edildiği baralarda doğrusal olmayan yüklerinde bulunması, rezonans olaylarına veya kondansatörlerin aşırı yüklenmelerine neden olmaktadır. Şekil.1'de altı darbeli bir doğrultucu yükü ve yalnız kondansatör bankası şeklinde tesis edilmiş bir reaktif güç kompanzasyon sistemi gösterilmektedir.

Yalın kondansatör bankası, şebeke ve transformatör empedansı ile paralel rezonansa neden olacak eşdeğer bir devre oluşturmaktadır. Şekil.2’de 400 kVA, $U_k=6\%$ olan bir transformatör ve gücü 0-300 kVAr arasında değişen yalın kondansatör bankasının oluşturacağı paralel eşdeğer devrenin akord frekansının reaktif güce karşı değişimi verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere yalın kondansatör bankasının gücü arttıkça şebekede görülebilecek akım harmoniklerine karşılık gelen frekanslarda paralel rezonans devresi oluşmaktadır. Örnek olarak 135 kVAr kompanzasyon gücü için 7. harmoniğe tekabül eden frekansta (350 Hz) bir rezonans devresi oluşmaktadır. Yalın kondansatör bankaları anahtarlandıkça eşdeğer devre ve paralel rezonans frekansı değişmektedir. Bu sebeple kompanzasyon sisteminin bağlı olduğu barada doğrusal olmayan yüklerin bulunması ve kompanzasyon sisteminin gücünün anahtarlama vasıtası ile sürekli değiştirilmesi paralel rezonans riskini artırmaktadır.

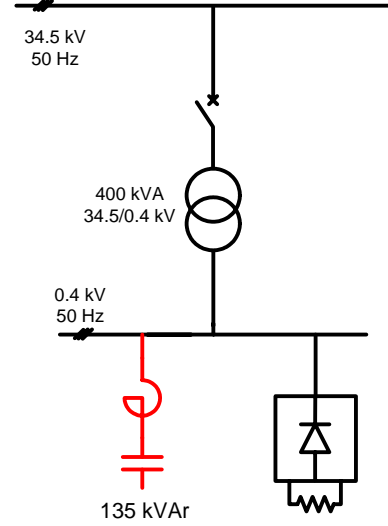


Şekil.1. Yalın kondansatör bankası ile gerçekleştirilen reaktif güç kompanzasyonu devre şeması

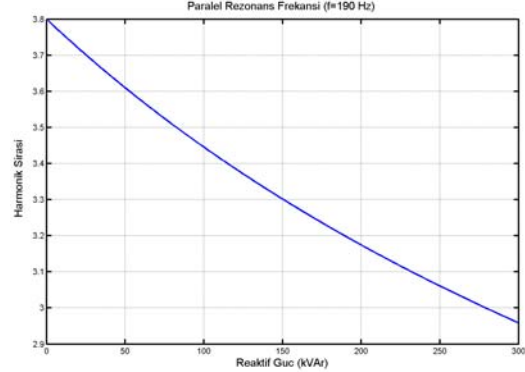


Şekil.2. Yalın kondansatör bankası için paralel rezonans frekansının reaktif güce karşı değişimi

Aynı sistem için yalın kondansatör bankası yerine akord frekansı 190 Hz’e ayarlanmış bir anti-harmonik (de-tuned) filtresi kullanılması durumunda (Şekil.3) paralel rezonans frekansının reaktif güce karşı değişimi ise Şekil.4’te verilmektedir. Anti-harmonik filtre kullanılması durumunda paralel rezonans frekansı üç faz sistemlerde görülebilen temel harmoniklerden uzak bir noktaya kaymakta ve paralel rezonans riskini neredeyse ortadan kaldırmaktadır.



Şekil.3. Anti-harmonik filtresi ile gerçekleştirilen reaktif güç kompanzasyonu devre şeması



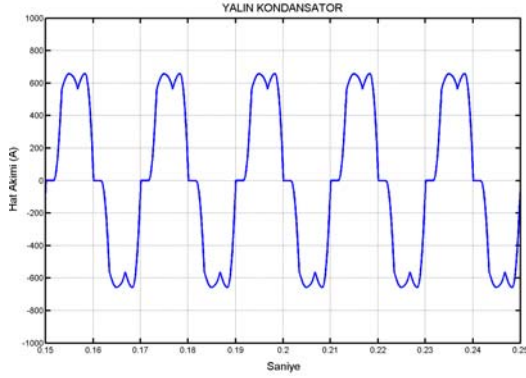
Şekil.4. Anti-harmonik filtresi için paralel rezonans frekansının reaktif güce karşı değişimi

III. SİMULASYONLAR

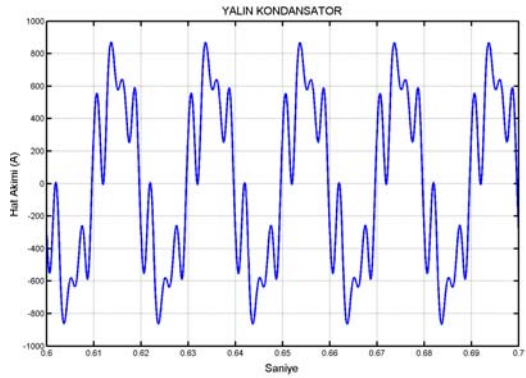
Simulasyonlar Şekil.1 ve Şekil.3’de verilen devre topolojileri için Simplerer ve Matlab/Simulink programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 34.5/0.4 kV, 400 kVA, $U_k=6\%$ olarak seçilen dağıtım trafosunun eşdeğer empedansının sistem eşdeğer empedansından çok yüksek olması sebebiyle, sistem eşdeğer empedansı ihmal edilmiştir. Ayrıca yalın kondansatör bankasının ve anti-harmonik filtresinin ($f=190$ Hz) reaktif güçleri 135 kVAr olarak alınmıştır. Böylece trafo empedansı ve yalın kondansatör bankası 7. harmoniğe tekabül eden bir frekansta (350 Hz) paralel rezonans devresi oluşturmaktadır.

İlk olarak Şekil.1’de verilen devre için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Şekil.5’te doğrusal olmayan altı-darbeleri doğrultucu yükün kompanzasyon devre dışı iken şebeke tarafında görülen akım dalga şekli gösterilmektedir. İlk 400 ms devreye sadece yük bağlı, kompanzasyon ise devre dışıdır. 400 ms’den sonra kompanzasyon sistemi devreye alınmakta ve şebekede görülen giriş dalga şekli Şekil.6’da ki gibi olmaktadır. Şekilden görüleceği üzere 135 kVAr yalın kondansatör bankasının devreye girmesiyle giriş akımının hem dalga şekli bozulmuş hem de genliği artmıştır.

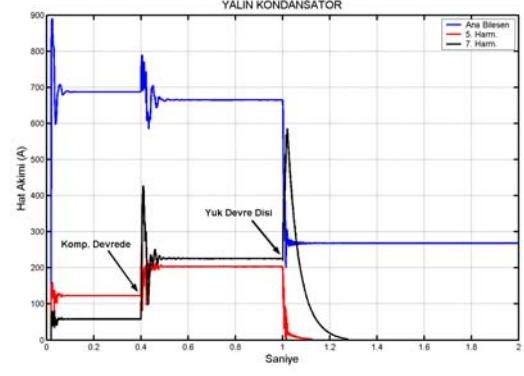
Giriş akımının ana bileşeninin, ve 5. ve 7. harmonik bileşenlerinin zamana karşı değişimi Şekil.7’de verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere kompanzasyon devreye girdiği zaman giriş akımının hem 5. hem de 7. harmonik bileşeninde artış olmaktadır. 7. harmonik bileşeni 40 A’den 220 A’ye, 5. harmonik bileşeni ise 120 A’den 200 A’ye yükselmektedir. Şekil.8’de ise kondansatör akımının ana bileşeni ve harmonik bileşenleri gösterilmektedir. Yükün devrede olduğu zaman süresince kondansatör akımında ana bileşen kadar 7. harmonik bileşen ve yarısı kadar 5. harmonik bileşen bulunmaktadır. Bu durumda kondansatör üzerindeki akımın gerçek etkin değeri oldukça yükselmekte ve kondansatörün aşırı yüklenmesine sebep olmaktadır. Ayrıca Şekil.9’dan görüleceği gibi kondansatör bankasının devreye girmesiyle şebeke gerilimide oldukça bozulmaktadır.



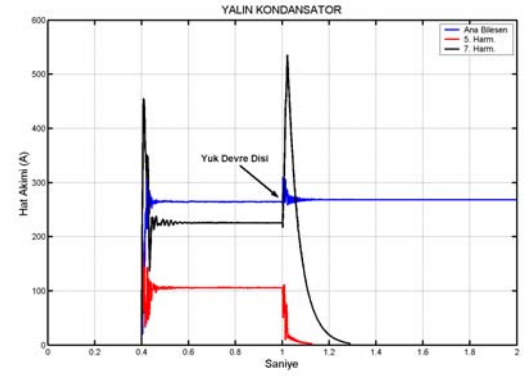
Şekil.5. Kompanzasyon devre dışı iken giriş akımı dalga şekli



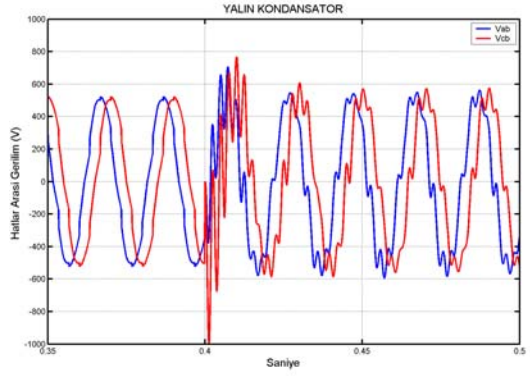
Şekil.6. Kompanzasyon devrede iken giriş akımı dalga şekli



Şekil.7. Giriş akımı ana bileşeni ve, 5. ve 7. harmonik bileşenleri



Şekil.8. Kondansatör akımı ana bileşeni ve 5. ve 7. harmonik bileşenleri

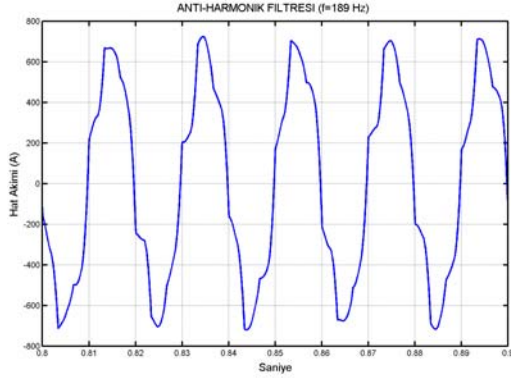


Şekil.9. Kompanzasyon devreye girmesiyle oluşan gerilim dalga şekli

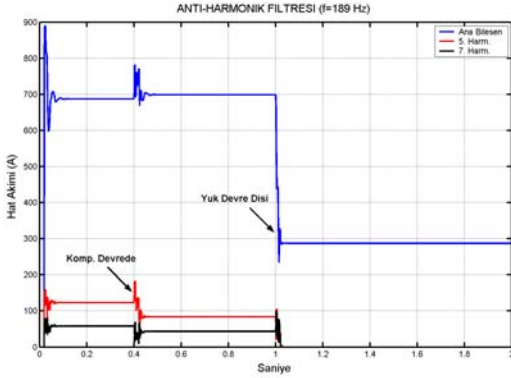
İkinci aşamada ise Şekil.3’te verilen devre yapısı için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Yalın kondansatör grubu yerine 190 Hz’e akord edilmiş bir anti-harmonik filtresi kullanılmıştır. Bu simülasyonda da filtre grubu 400 ms’de devreye alınmış, yük ise 1 sn’de devreden çıkarılmıştır. Daha önceki durumla karşılaştırma yapabilmek amacıyla filtre grubunun devreye girmesiyle oluşan giriş akımı Şekil.10’da verilmektedir. Bu şekilden görüleceği üzere filtre grubu daha önceki durumda olduğunun aksine; akım harmoniklerini artırmak yerine filtrelemiş ve giriş akımında ciddi bir iyileşme gerçekleştirmiştir. Şekil.11 ve Şekil.12’de ise sırasıyla giriş ve filtre

akımlarının ana ve harmonik bileşenleri verilmiştir. Bu şekillerden görüleceği üzere filtrenin devreye girmesiyle filtre bu akım harmoniklerinin bir kısmını üzerine almış ve giriş akımındaki 5. ve 7. harmonik bileşenler azalmıştır.

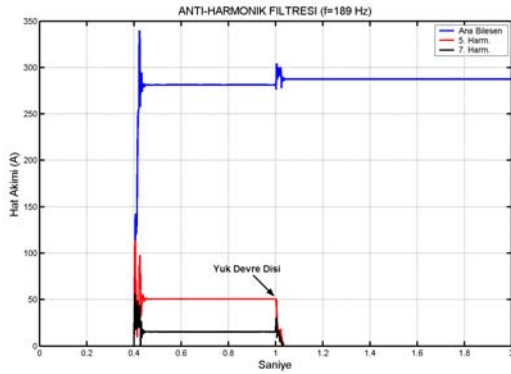
Filtre 190 Hz yerine 250 Hz'e veya yakın bir frekansa akord edilse idi daha fazla akım harmoniğini süzecek fakat o derecede de filtre akımının gerçek etkin değeri artacak ve filtre aşırı yüklenecekti. Bu sebeple harmonik filtrelerde kullanılacak gerek reaktörün gerekse kondansatörün nominal akım ve gerilim değerleri bu yüklenmeler dikkate alınarak seçilmelidir.



Şekil.10. Kompansasyon devrede iken giriş akımı dalga şekli



Şekil.11. Giriş akımı ana bileşeni ve 5. ve 7. harmonik bileşenleri



Şekil.12. Kondansatör akımı ana bileşeni ve 5. ve 7. harmonik bileşenleri

IV. SONUÇ

Elektrik güç kalitesi problemleri elektrik enerjisini kullanan tüm tüketiciler için tehlikeli boyutlara ulaşmakta 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. Temel sorunlardan biri olan reaktif güç kompanzasyonu problemi için uygulanagelen klasik kontaktörlü çözümlerin doğrusal olmayan yüklerin kompanzasyonu içinde kullanılmaları yeni güç kalitesi problemlerini de beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada konvansiyonel kontaktör anahtarlamalı yalnız kondansatör bankasının şebeke ve transformatör empedansı ile oluşturabileceği eşdeğer paralel rezonans olgusu incelenmiş ve etkileri bilgisayara dayalı simülasyonlar yardımı ile gösterilmiştir. Yalnız kondansatör bankalarının harmonikli ortamlarda kullanılması akım ve gerilim dalga şekillerinde bozulmalara, aşırı akım ve gerilim bileşenlerinin oluşmasına, devre elemanlarının aşırı yüklenmelerine ve sistemde kalıcı hasarlara neden olabilmektedir. Bu olumsuzlukları ortadan kaldıracak akord edilmemiş (de-tuned) anti-harmonik filtrelerin kullanılması halinde gerçekleşecek sistem dinamiği ve performansı da yine simülasyonlar yardımı ile gösterilmiştir. Simülasyon sonuçları harmonikli ortamlarda uygun filtre yapılarının (akord edilmiş veya edilmemiş) kullanılması halinde paralel rezonans riskinin ortadan kalktığını göstermektedir. Bununla birlikte harmonik filtreler uygulanırken filtrelerin, üzerlerine temel bileşenin yanında diğer harmonik bileşenlerini de alacağı ve aşırı yükleneyeceği göz önünde bulundurulmalı, reaktör ve kondansatörlerin nominal çalışma akım ve gerilimleri bu yüklenmelere uygun seçilmelidir.

V. KAYNAKÇA

- [1] Miller T.J., "Reactive Power Control in Electrical Systems", John Wiley&Sons,1982
- [2]A. Terciyanlı, B. Gultekin, T. Demirci, "Konvansiyonel ve Statik Anahtarlamalı Kompansasyon Sistemlerinin Performans Karşılaştırması", EMO Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli, 2005
- [3] Arrilage J., Bradley D.A., Bodger P.S., "Power System Harmonics", John Wiley&Sons,1988
- [4]Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birsen Yayınevi, 2003
- [5] TEK, "Bozucu Etki Yaratın Müşterilerin Uymak Zorunda Olduğu Koşullar", Haziran 1992