

KOMPANZASYON SİSTEMLERİNDE HARMONİKLER

Günümüzde elektrik enerjisini verimli kullanmak üretim maliyetleri düşürmek ve enerji tüketimini azaltarak çevreyi korumak açısından büyük önem kazanmıştır.

Elektrik şebekesine bağlanan cihazların hemen hemen tamamı şebekeden aktif yani iş yapan gücün yanında reaktif güç de çekerler. Şebekeden çekilen ve hemen ardından şebekeye tekrar geri verilen bu reaktif güç hiçbir iş yapmaz, ancak şebekeyi gereksiz yere yükler ve şebekenin işletme maliyetlerini yükseltir. Bu nedenle şebekeden çekilen reaktif güç için de ücret ödenir. Çekilen reaktif gücün belirli sınırların dışında olması durumunda ise ek cezalar nedeniyle elektrik enerjisine ödenen ücret katlanarak artar.

Bu nedenle her işletme şebekeden çektiği reaktif gücü kontrol etmeli, bir başka deyişle güç faktörünü belirli sınırlar içinde tutmalıdır. Bunu sağlamak için kompanzasyon panoları kullanılır. Kompanzasyon panolarında bulunan “reaktif güç kontrol rölesi” işletmenin güç faktörünü sürekli olarak ölçer ve gerektiğinde panoda bulunan kondansatör gruplarını ilgili kontaktörlere kumanda ederek devreye alır ve devreden çıkartır.

Kompanzasyon panolarında karşılaşılan en büyük sorun kullanılan kondansatör gruplarının kısa sürede arıza yapmalarındır. Bu durumda arızalanan kondansatörler yenileri ile değiştirilerek sorun geçici olarak çözülür. Ancak bu tip arızaların gerçek nedeni büyük bir olasılıkla sistemde ‘harmonik rezonans’ denilen bir olayın meydana gelmesidir.

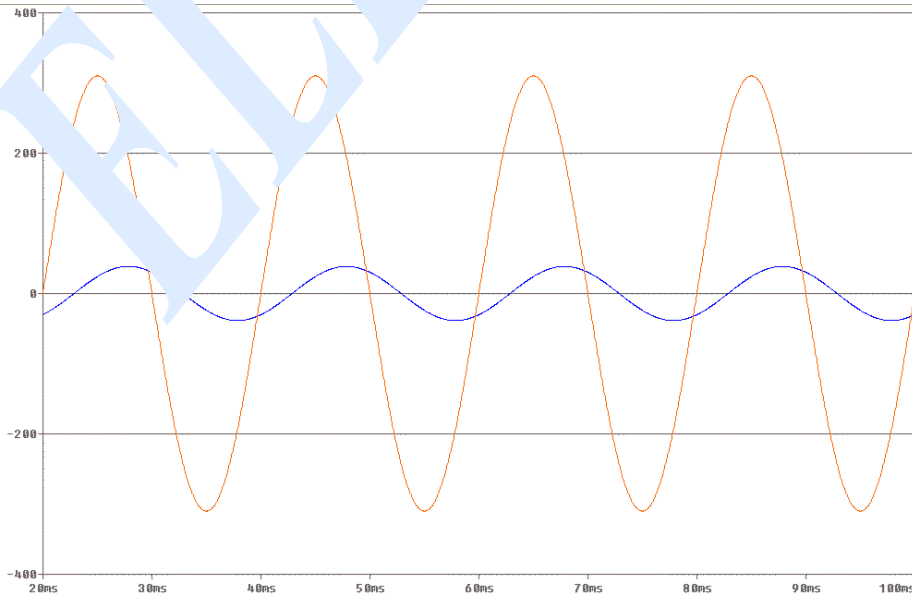
REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

Şekil 1’de üç fazlı bir yük sistemi görülmektedir. Bu sistemde şebeke gerilimi yüke uygulandığında yük üzerinden akan akım ‘geride’ kalmaktadır. Bu gecikme (lagging) etkisi nedeniyle, güç faktöründe düşüş yaşanmakta ve şebekeden hiçbir kullanım alanı bulunmayan reaktif güç çekilmektedir. Bu gecikme Şekil 2’deki Gerilim-Zaman ve Akım-Zaman grafiklerinde de açıkça görülebilmektedir.



3 fazlı yük

Şekil 1: Reaktif güç çekilen sistem

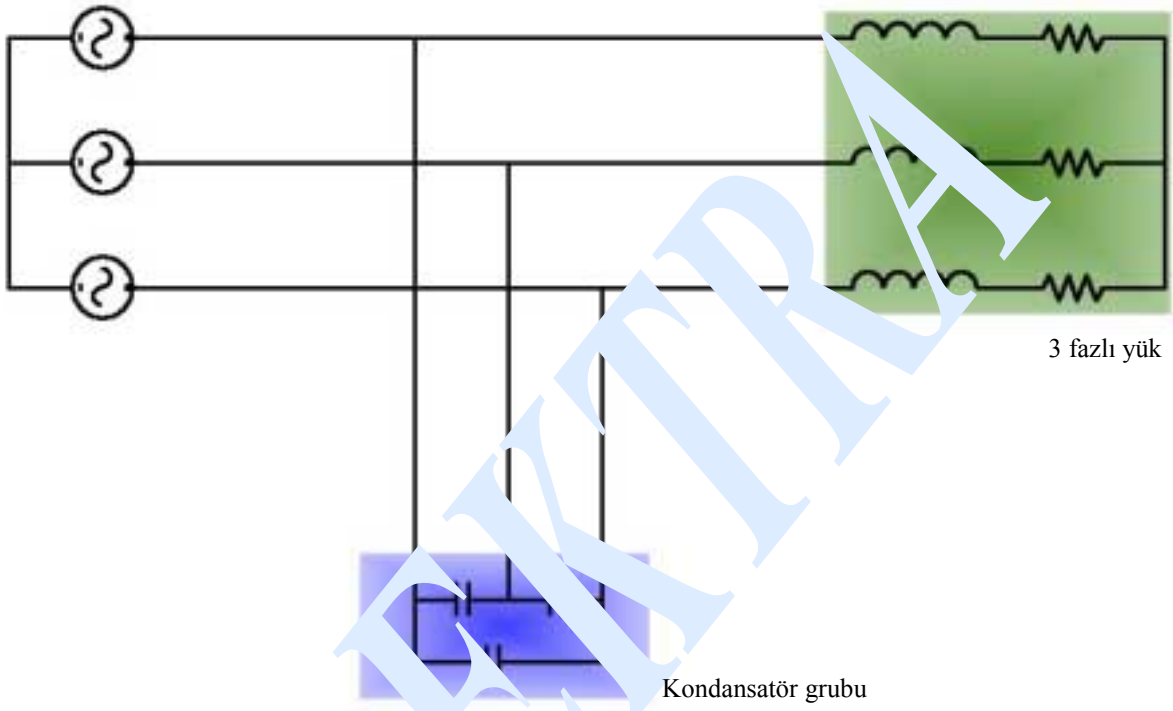


Şekil 2: Reaktif güç sisteminde çekilen akım ve şebeke gerilimi

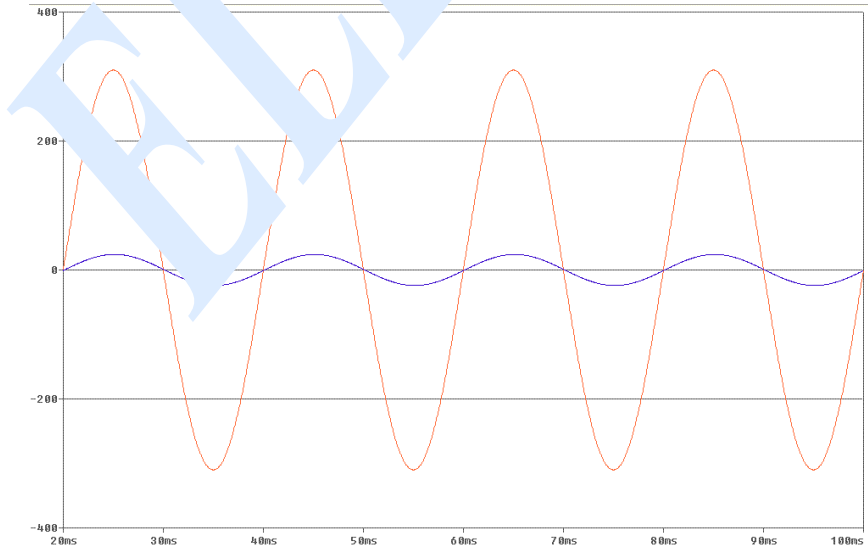
Kırmızı: Gerilim

Mavi: Akım

Akım ve gerilim arasındaki bu 'faz kayması' nı ortadan kaldırmak ve sistemin güç faktörünü düzeltmek için sisteme paralel olarak kondansatör grupları bağlanır. Bu sayede çekilen akımdaki gecikme (lagging) kapasite grubunun iletme (leading) etkisi ile düşürülür, teknik deyimle sistem kompanze edilir. Bu şekilde sistemin çektiği akım şebeke gerilimi ile eşzamanlı hale getirilir.



Şekil 3: Kompanzasyonlu reaktif güç sistemi

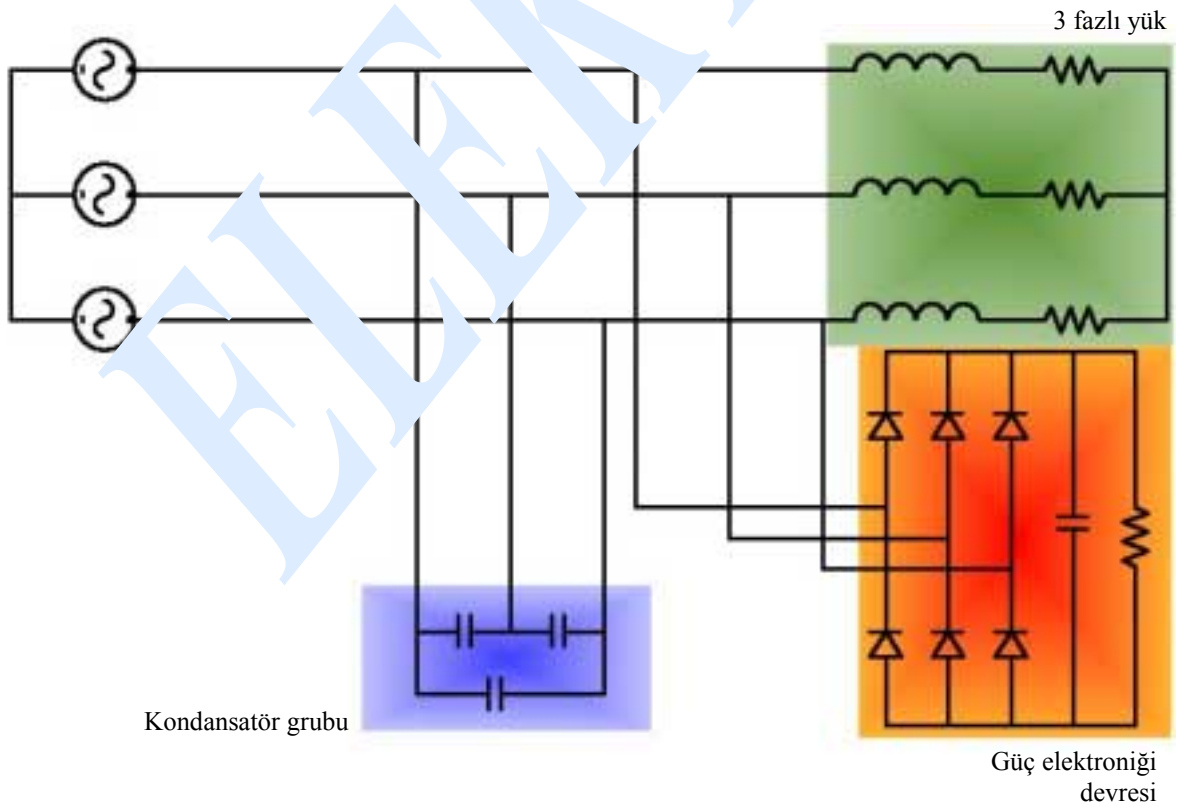


Şekil 4: Kompanzasyonlu sistemin düzelttiği gerilim ve akım şekilleri.

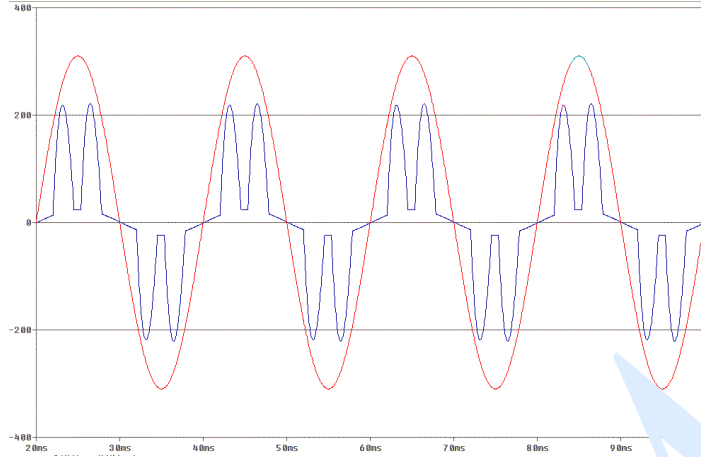
Kırmızı: Gerilim

Mavi: Akım

Buraya kadar anlatılan sistem günümüzdeki endüstriyel yükleri tanımlamak için maalesef yetersiz kalmaktadır. Güç elektroniğinin gelişmesi ile motor sürücüleri, frekans dönüştürücüleri ve doğrultucular gibi güç elektroniği devreleri içeren cihazlar ile hemen hemen bütün endüstriyel uygulamalarda karşılaşılacak mümkündür. Elektrik enerjisini oldukça verimli kullanan bu cihazlar şebekeden çizgisel olmayan (non-linear) akım çekerler. Şekil 5'te yukarıdaki örnekte verilmiş sisteme birçok endüstriyel güç elektroniği cihazında bulunan 3 fazlı bir doğrultucu eklenmiştir. Şekil 6'da şebeke gerilimi ve sistemin şebekeden çektiği akım gözlenmektedir.



Şekil 5: Güç elektroniği devresi eklenmiş sistem



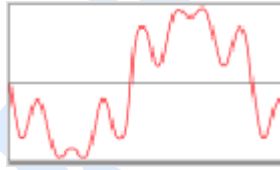
Şekil 6: Yukarıdaki sistemin şebekeden çekmekte olduğu akım ve şebeke gerilimi
Kırmızı: Gerilim
Mavi: Akım

Görüldüğü üzere şebekeden çekilen akım, gerilim ile eşzamanlı olarak hareket etmektedir ancak şekil olarak sinüsoidallikten oldukça uzaktır. Bu durumu inceleyebilmek ve düzletebilmek için HARMONİK kavramının incelenmesi gerekmektedir.

HARMONİKLERİN İNCELENMESİ

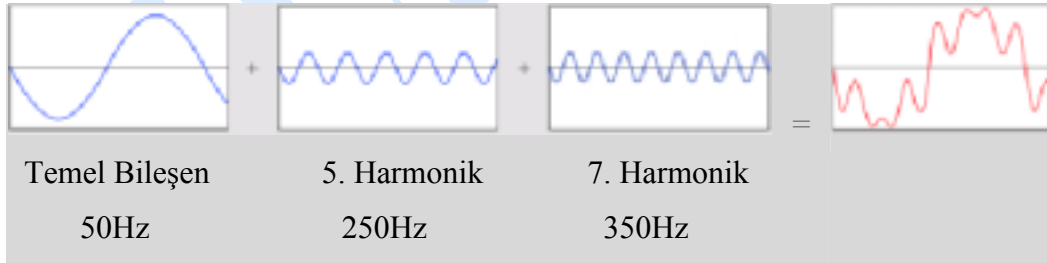
“Harmonikler” günümüzde elektriksel hatalar söz konusu olduğunda en çok kullanılan kavramlardan biridir. Ünlü matematikçi Joseph Fourier, belirli bir frekanstaki tüm periyodik fonksiyonların kendi frekansı ve daha yüksek frekanslardaki sinüs fonksiyonlarının toplamı olarak ifade edilebileceğini göstermiştir.

Örnek olarak aşağıdaki periyodik dalga şeklini ele alalım. Bu dalga şeklinin frekansının ülkemiz şebeke frekansı olan 50Hz olduğunu kabul edelim.



Şekil 7: Örnek periyodik dalga şekli

Bu dalga şekli, ‘Fourier analizi’ veya bir başka deyişle ‘harmonik analizi’ yapılarak aşağıdaki gibi sinüsoidal dalgaların toplamı olarak ifade edilebilir:

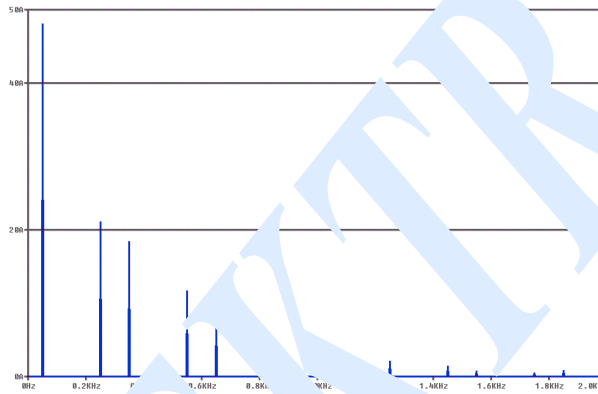


Şekil 8: Örnek dalga şeklinin sinüsoidal parçaları

Noktasal simetriye sahip dalga şekillerinin harmonik analizleri yapıldığında çift katsayılı harmoniklere (2. Harmonik, 4. Harmonik gibi) rastlanmaz. Elektrik şebekesinde karşılaşılan hemen hemen tüm dalga şekilleri noktasal simetriye sahiptir. Buna göre, frekansı 50 Hz olan Türkiye elektrik şebekesinde karşılaşılabilecek harmonikler ve bunların frekansları aşağıda belirtilmiştir:

Frekans	Açıklama
50 Hz	Temel Bileşen
150 Hz	3. Harmonik
250 Hz	5. Harmonik
350 Hz	7. Harmonik
450 Hz	9. Harmonik
550 Hz	11. Harmonik
...	...

Aşağıda örnek olarak 3 fazlı bir doğrultucunun şebekeden çektiği akımın harmonik analizinin sonucu verilmiştir:



Şekil 9: Harmonik analizi çıktısı

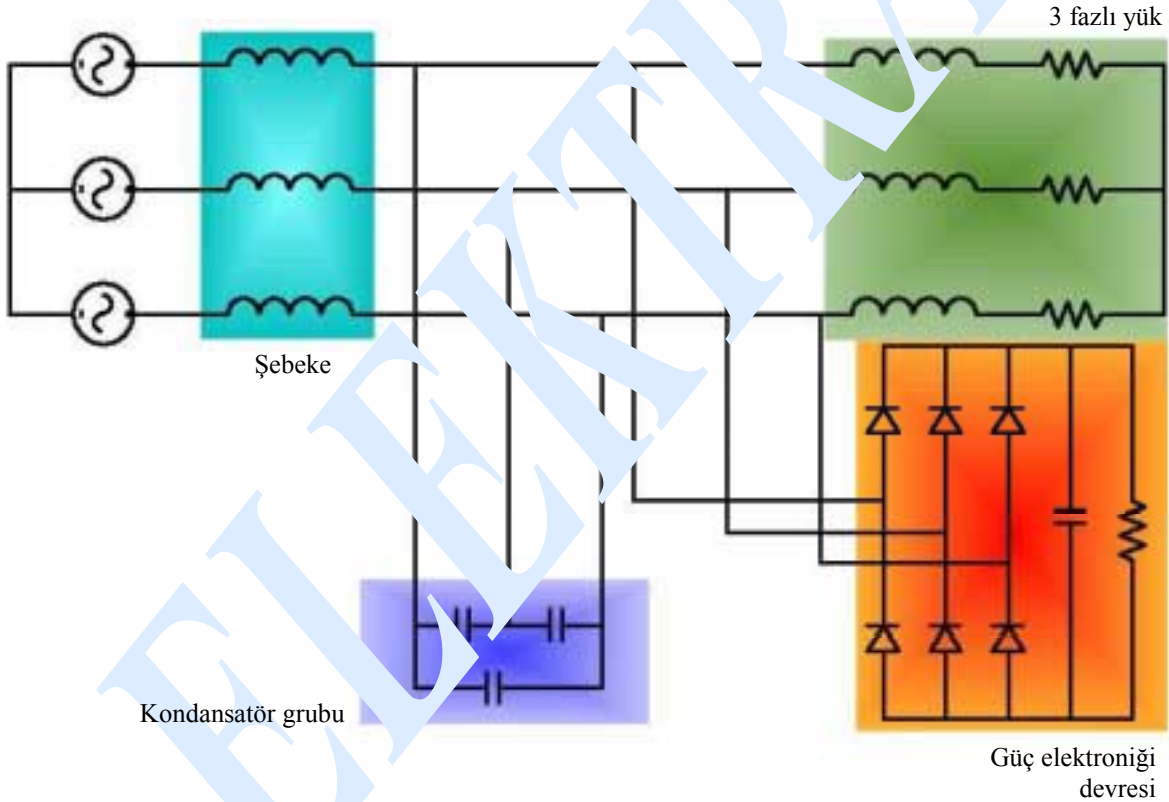
Bu sonuca bakılarak hangi frekanstaki sinüsoidal bileşenin yani hangi harmoniğin ne büyüklükte olduğu görülebilir.

Şebekeden çekilmekte olan harmonik akımların yüksek olması sisteme çok ağır zararlar verebilir. Bu zararlar aşağıdaki tabloda belirtilmiştir:

Kondansatörlerde aşırı ısınma ortaya çıkar.	Aşırı ısınan kondansatörlerin dielektrik malzemesi bozulur, kondansatörlerin ömrü oldukça kısalmır.
Transformatörlerde, baralarda ve kablolarda aşırı ısınma ortaya çıkar.	Kayıplar artar, ısınma sonucu arızalar ortaya çıkar.
Aşırı yüklü bir durum olmasa da sigortalar atar, koruma cihazları hatalı olarak devreye girebilir.	Aşırı harmonik akımlar sigortanın taşıyabileceği yük akımının azalmasına neden olurlar. Sigortanın atması durumunda kritik yükler devre dışı kalarak veri ve iş kaybına neden olurlar.
Elektromanyetik cihazlar gürültülü çalışır.	Sistem parçaları harmonik frekansında rezonansa girebilirler. Ortaya çıkan ses çevreyi rahatsız edebilir. Oluşan titreşimler mekanik arızalara neden olabilirler.
Gürültü, özellikle iletişim hatları, bilgisayarlar ve hassas cihazlarda etkileşime neden olur.	Oluşan manyetik alanlar elektronik cihazlarda etkileşime neden olurlar, veri kayıpları, cihazlarda kilitlenmeler, iletişim problemleri ve benzer sorunlar ortaya çıkarlar.

REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONUNDA HARMONİK REZONANS

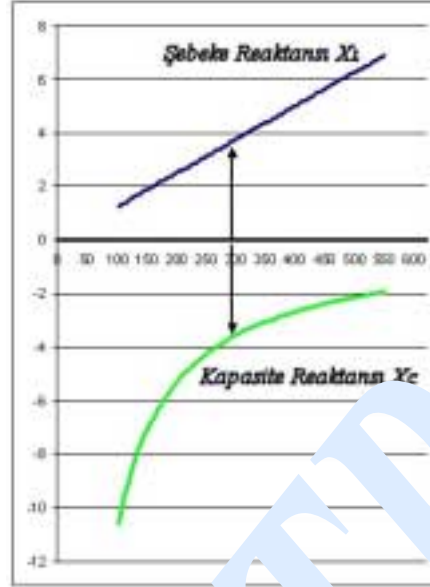
Şekil 5'te verilmiş olan sisteme geri dönelim. Bu sistemi tamamlamak için şebekeye ilişkin değerlerin de sisteme eklenmesi gerekmektedir. Şebekedeki dağıtım iletkenleri ve dağıtım transformatorünün kaçak endüktansı, şebekeye seri olarak bağlanmış bir endüktans bobini ile modellenirler.



Şekil 10: Şebeke reaktansının da hesaba katılması

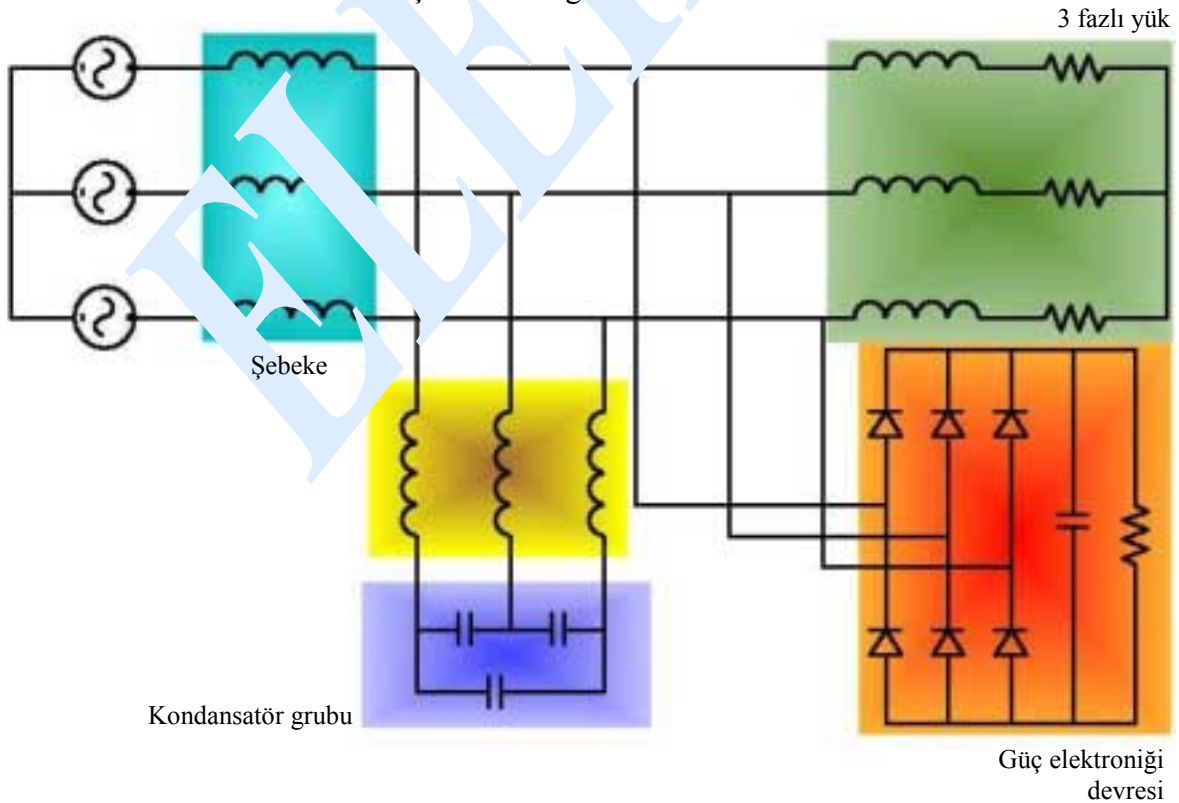
Şebeke ve kondansatör reaktansları frekansa bağlı olarak değişirler. Şekil 11'de görülebileceği gibi kondansatör reaktansı X_c ile şebeke reaktansı X_L 'nin mutlak değerleri belirli bir frekansta birbirlerine eşit olurlar. Bu durumda şebeke reaktansı ile kompanzasyon sistemindeki kondansatörlerin reaktansı sönümsüz bir salınım (rezonans) durumunun ortaya çıkmaya neden olurlar. Şebeke reaktansının değeri sabit olmayıp şebekenin o anki durumuna bağlı olarak değiştiğinden sönümsüz salınımın gerçekleştiği frekans değeri tam olarak hesaplanamaz, ancak bu değer genellikle 250Hz ile 350Hz arasındadır. Şebeke reaktansındaki değişimler sonucunda sönümsüz salınımın gerçekleştiği değer 5. Harmonik frekansı olan 250Hz'e veya 7. Harmonik frekansı olan 350Hz'e gelirse, gerilimin 5. veya 7. Harmonik değerleri toprağa kısa devre olur. Bu durum kondansatörlerin zarar görmesine yol açar. Bu

istenmeyen durumu engellemek için kondansatör reaktansı ile şebeke reaktansının mutlak değerlerinin eşit olduğu frekans değerinin güvenli bir bölgeye çekilmesi gerekmektedir.

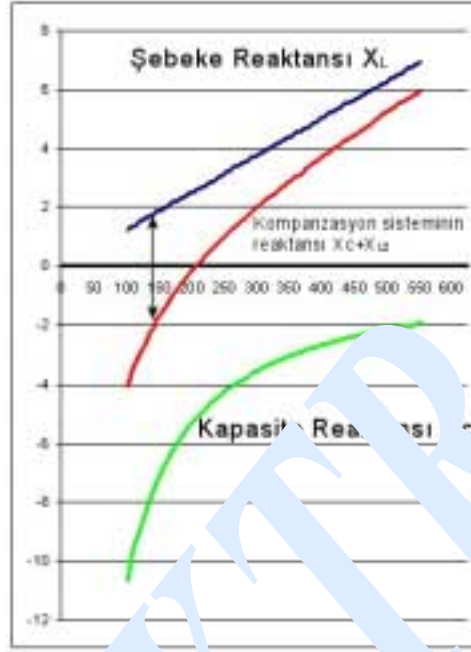


Şekil 11: Kondansatör ile şebekenin rezonans oluşturması

Bu nedenle kompanzasyon sistemlerindeki kondansatörlerin önüne uygun değerli bir şok bobini yerleştirilmesi gerekmektedir. Şekil 12 ve 13'te 3 fazlı bir şok bobininden oluşan harmonik rezonans filtresi eklenmiş bir sistem görülmektedir.



Şekil 12: Sisteme Harmonik Rezonans Reaktörlerinin eklenmesi



Şekil 13: Şok bobini eklenmiş kompanzasyon sistemi.

Görüldüğü gibi kondansatör grubu ve şok bobininden oluşan kompanzasyon sisteminin rezonans frekansının 210Hz'e çekilmesiyle tüm sistemin rezonans frekansı 130 Hz'e getirilmiştir. En yakın kritik rezonans noktası 50Hz olup erişilmekten çok uzaktır. Ayrıca sistem 250Hz de rezonansa giremez çünkü en düşük şebeke reaktansında bile 210 Hz den sonra rezonans oluşması, sisteme eklenen reaktör ile engellenmiştir.

Bu sistemin uygulanması sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri kullanılan kondansatörlerin gerilim dayanım değerleridir. Oluşan rezonans sistemindeki yüklenmeler, kondansatörlerin üzerindeki gerilimlerin artmasına yol açar. Bu durumda kondansatörlerin zarar görmemeleri için şebekenin nominal geriliminin üzerindeki gerilimlere dayanabilecek şekilde seçilmeleri gerekmektedir.

Kondansatörlere seri olarak bağlanan harmonik filtre rezonans reaktörleri, sistemin kompanzasyon gücünü de etkilemektedirler. Piyasada değişik salınım frekanslarına göre ayarlanmış harmonik rezonans reaktörleri bulunmaktadır. Bir kompanzasyon sistemi tasarlanırken bütün bu etkiler göz önünde bulundurularak kondansatör ve reaktör seçimi buna göre yapılmalıdır.