

PARALEL REZONANSIN ENDÜSTRİDE TESPİTİ

Levent BİLGİLİ

Schneider Elektrik A.Ş.

1.Bayraktar Sk. No:9 34750

Küçükbakkalköy Kadıköy İstanbul

levent.bilgili@tr.schneider-electric.com

Belgin Emre TÜRKAY

İstanbul Teknik Üniversitesi,

Elektrik-Elektronik Fakültesi,

Elektrik Mühendisliği Bölümü,

Ayazağa Kampüsü, 34469 Maslak İstanbul

turkayb@itu.edu.tr

Özet

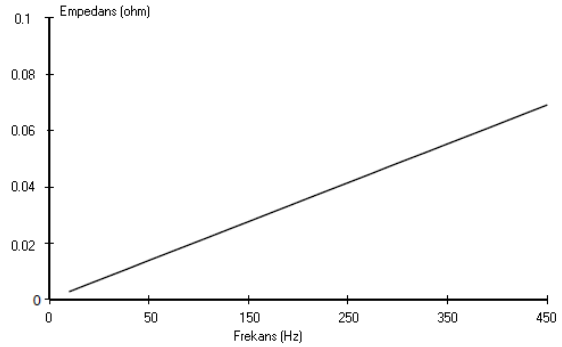
Bu çalışma ile, akım ve gerilim bileşenlerindeki toplam harmonik bozulma oranı aşırı değerlerde olmayan bina ve endüstriyel tesislerde, pratikte yaşanan kondansatör arıza sebeplerinin tespiti ile doğru çözümlerin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Yaptığımız ölçümlerde, toplam harmonik bozulma oranı çok yüksek olmadığı ölçülerek harmonik filtresiz kompanzasyon sistemi kullanılan tesislerde, kondansatör kademeleri devreye girdiğinde bazı harmonik değerlerinin oldukça yüksek değerlere ulaştığı, bunun sonucunda özellikle küçük kademeli kondansatörlerin yeni harmonik değerlerine dayanmadığı ve arızalandığı tespit edilmiştir. Devreye alınan kondansatörlerin reaktif gücü, sistemin indüktif karakteristiği ile birleştiğinde paralel rezonansa yol açar. Çalışmamız, sahada yapılan örnek ölçümlerle bu rezonansın tespitine işaret etmekte ve tesisin güvenliği için yapılması gereken bilgisayar ortamı çalışmalarına değinmektedir.

Anahtar Kelimeler: paralel rezonans, harmonikler, güç kalitesi analizörü, harmoniklerin endüstride ölçülen etkileri.

1. GİRİŞ

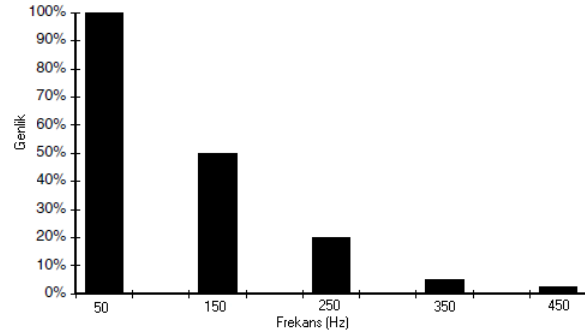
Güç sistemlerinde sistemin karakteristiğini belirlemek ve analiz edebilmek için frekansa bağlı cevap incelenir. Frekansa bağlı cevabı incelerken yalnızca sistemdeki mevcut harmonik kaynaklarının genlikleri değil; sistemin o harmonik genliğine vereceği tepki de önemlidir. Sistem karakteristiği incelenirken öncelikle üç noktaya dikkat edilmektedir: sistemin empedansı, devreye giren kompanzasyon miktarı, rezistif ve harmonikli yüklerin sistemdeki değerleri [1].

Güç sistemleri normal koşullar altında indüktif karakteristikte ve frekans ile doğrusal ilişkidir. Bu durumda sistemin empedansındaki değişim ile harmoniklerin etkileşimi, kondansatörün ilavesi öncesi Şekil 1'deki gibi doğrusal bir karakteristik gösterir.



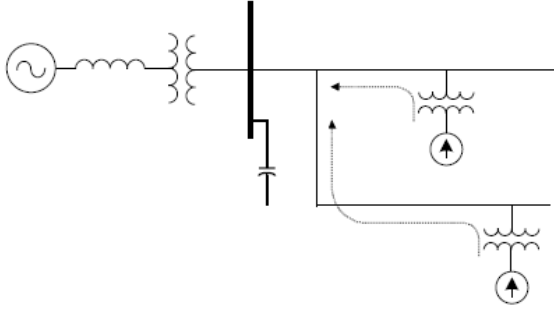
Şekil 1. İndüktif sistem için empedans-frekans grafiği

Harmonikli bileşenler içeren bir yükün, temel frekanslar dışındaki frekanslardaki akım genlikleri Şekil 2'deki gibi örneklenebilir.



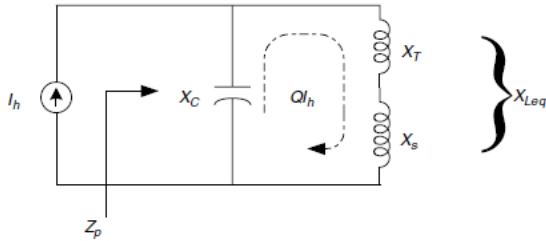
Şekil 2. Harmonik genliklerinin frekansa göre dağılımı

Mevcut harmoniklerin genliklerinin Şekil 2'deki gibi ölçülmesi durumunda harmonikler, kıyasla daha yüksek empedansa sahip olan tesisten, daha düşük empedansa sahip olan şebekeye doğru trafo üzerinden Şekil 3'teki gibi akacaklardır.



Şekil 3. Harmonikli akımların yönü

Trafo'nun alçak gerilim tarafındaki baraya, Şekil 3'te görüldüğü şekilde eklenen kompanzasyon sisteminin ve harmonikli yük akımlarının etkileri ile birlikte sistemin yeni karakteristiğini hesaplamak için Şekil 4'teki eşdeğer devre kullanılabılır:



Şekil 4. Harmonik akım kaynağı tarafından görülen paralel rezonans eşdeğer devresi

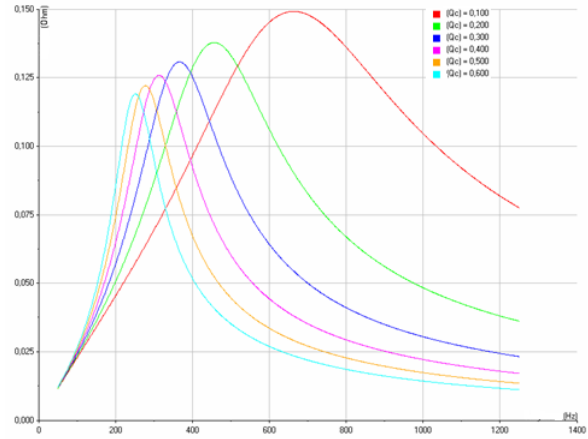
Harmonik akım kaynağı tarafından görülen eşdeğer empedans, şebeke ve trafonun eşdeğer endüktansının kapasitör endüktansı ile paralelligi ile bulunan empedans değeridir [2].

Temel frekanstan itibaren bu sistemin eşdeğer empedansının frekansa bağlı değişimi hesaplandığında bulunacak en yüksek bozulma değerinin görüldüğü harmonik mertebesi, aşağıdaki formülde transformatör gücünün devreye alınan kompanzasyon miktarı ve transformatör empedansı ile ilişkilendirildiği rezonans harmoniği formülünde bulunacak harmonik ile benzerlik gösterir.

$$h_r = \sqrt{\frac{MVA_{SC}}{Mvar_{cap}}} \approx \sqrt{\frac{kVA_{tx} \times 100}{kvar_{cap} \times Z_{tx} (\%)}}$$

Bu durumda transformatör altındaki baraya ilave edilen kompanzasyon sistemi Şekil 3'teki gibi simüle edilirse, sistemin empedansı Şekil 1'de gösterilen ilk doğrusal durumundan uzaklaşıp, Şekil 5'te görüldüğü gibi davranmaktadır. Örnek olarak baraya 100 kVAR kondansatör paralel olarak bağlandığında rezonans frekansı 600-800 Hz aralığında ve empedans 0,150 ohm iken, her 100 kVAR ilavesinde paralel rezonans

noktası daha düşük frekanslara kaymakta ve empedans genliği azalmaktadır.



Şekil 5. Kondansatör ilavesi ile paralel rezonans frekansının ve sistemin empedansının değişimi

Reaktif güç ihtiyacını karşılamak için kurulan kompanzasyon sistemlerinin sistemdeki akım ve gerilim harmoniklerinin genliklerini arttırdığı bilinmektedir. Şekil 5'teki sistem empedansının, transformatörden beslenen harmonikli yüklerin Şekil 2'de örneklenen akımları ile etkileşimi dikkate alınrsa, harmonikli akımların bara üzerinden şebekeye doğru akması veya düşük empedanslı başka bir noktaya ilerlemesi beklenmektedir.

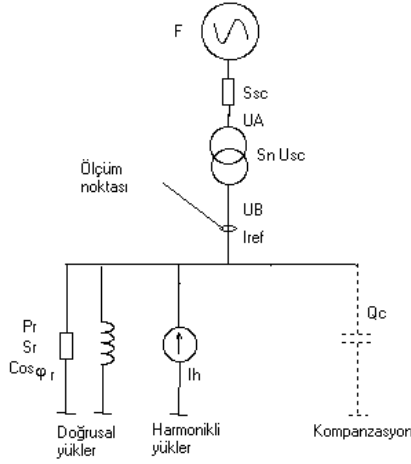
Transformatörün sekonderinden ölçülen harmonikli bileşenlerin genliklerinde, kompanzasyon ilavesi neticesinde belirli bir oranda artış görülmesi normal iken; rezonansa giren harmonik bileşeninde oldukça yüksek genlik değerleri ortaya çıkmaktadır. Bu harmonik akımlar kondansatörlere veya sisteme bağlı düşük empedanslı yüklerle doğru akmakta, arızalara, patlamalara, yangın vb. sorunlara neden olmaktadır [3].

2. GÜÇ KALİTESİ ANALİZÖRÜ İLE PARALEL REZONANSIN TESPİTİ

Bu bölümde, giriş bölümünde belirtilen paralel rezonans şartının ve arıza sebeplerinin, sahadaki ölçüm ve uygulamalar yardımıyla nasıl tespit edilebileceğine değinilmiştir.

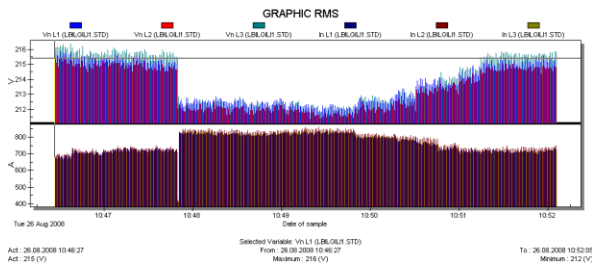
Örnek uygulama olarak; bir tesise ait transformatörün sekonder tarafında yapılan ölçüm analiz edilmiştir. Tesiste harmonik filtresiz bir kompanzasyon sistemi mevcuttur. Doğrusal ve harmonikli yükler ile aynı baraya bağlı ve reaktif güç kontrol rölesi tarafından otomatik olarak kumanda edilmekte olan bu panoda zaman zaman kondansatör ve sigortalar zarar görmektedir. Normal çalışma koşullarında toplam

bozulma oranının kompanzasyonun devrede ve devre dışı olduğu durumlarda çok yüksek olmadığı düşünüldüğü için, harmonik filtrelemenin gerekliliği bu analiz öncesinde kullanıcılar tarafından fark edilememiştir.



Şekil 6. İnceleme yapılan tesis

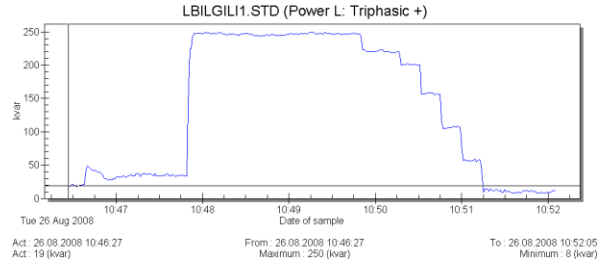
Transformatör'ün alçak gerilim tarafındaki, ana dağıtım şalterinde yapılan yük ölçümlerinde Şekil 6'daki gibi bağlanan ve bilgisayar ile bağlantısı sağlanabilen basit bir analizör yardımıyla, transformatör üzerinden geçen harmonik akımları ve baradaki harmonik gerilimlerinin, devreye giren kompanzasyon değerine göre değişimini incelemek mümkündür [4].



Şekil 7. Gerilim-Akım grafiği

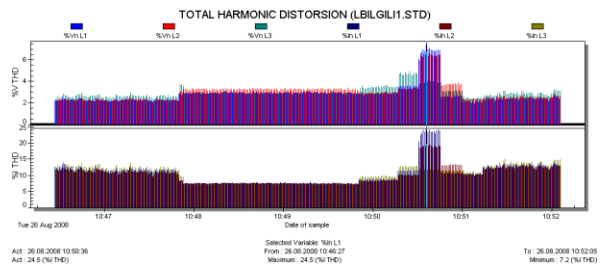
Kompanzasyonun devreden çıkarıldığı birkaç dakika için gerilim ve akımdaki değişimler Şekil 7'deki gerilim-akım grafiğinde görülmektedir.

Kompanzasyon sisteminin ölçüm sırasında 250 kVAR civarında bir indüktif reaktif güç ihtiyacını karşıladığı, kompanzasyon sisteminin devre dışı bırakıldığı durumda ölçülmüş, Şekil 8'de tekrar devreye alındığı an için kademe kademe devreye girişler incelenmiştir. Görüldüğü gibi reaktif güç rölesi ihtiyacı karşılamak üzere kademeleri devreye almakta ve kVAR değerini sıfıra yaklaştırmaya çalışmaktadır.



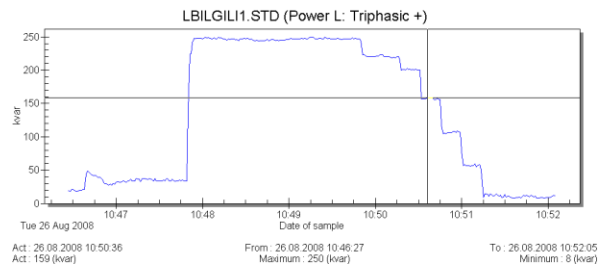
Şekil 8. İndüktif reaktif güç grafiği

Toplam harmonik bozulmanın ölçüm süresince gösterdiği performans Şekil 9'da incelenmiş ve paralel rezonans durumu bu grafikte gözlenmiştir.



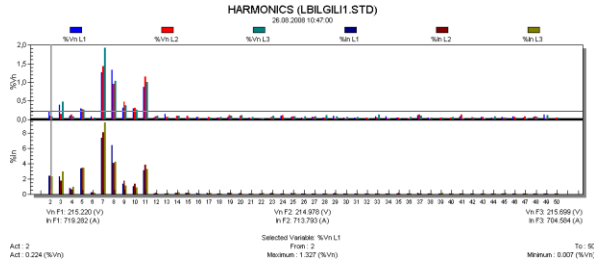
Şekil 9. Toplam harmonik bozulma grafiği

Kompanzasyon sistemi devredeyken başlayan ölçümü müzde %12'yi aşmayan toplam harmonik bozulma, kompanzasyon sistemi devre dışıyken akımda % 8 değerlerine gerilemiş; ancak Şekil 10'daki gibi kademelerin devreye girmesi sırasında 159 kVAR ihtiyaca karşılık gelen anda toplam harmonik bozulma akımda % 24 ve gerilimde % 7 değerlerini aşmıştır.



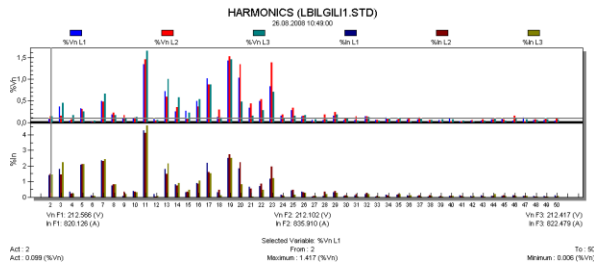
Şekil 10. Harmoniklerin yüzdesel olarak en yüksek olduğu durum için indüktif reaktif güç değeri

Bu sistem için harmonik spektrum incelendiğinde Şekil 11 sistemde kompanzasyonun devrede olduğu duruma işaret etmektedir. Genlik olarak en yüksek değerler göz önüne alındığında gerilim harmonikleri % 2'nin, akım harmonikleri % 8'in altındadır.

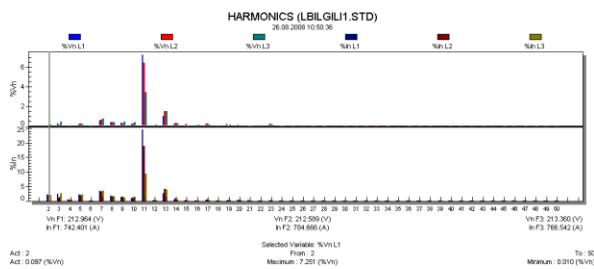


Şekil 11. 250 kVAr kompanzasyon devrede iken harmonikler

Kompanzasyonun devreden çıkartıldığı durum için yüklerin davranışı incelendiğinde rezistif ve harmonikli yüklerin ortak davranışı Şekil 12'de incelendiğinde toplam harmonik bozulma gerilim için % 1,5 ve akım için % 5 değerlerinin altında kalmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta; yük harmonikleri arasında en yüksek değer 11'inci harmonik olduğudur.



Şekil 12. Kompanzasyon devredışı iken harmonikler



Şekil 13. Paralel rezonans anı için harmonikler

Kondansatörlerin, reaktif güç kontrol rölesi yardımıyla devreye kademe kademe girdiği durumda, yük harmonik bileşenlerinden en büyük genliğe sahip olan 11'inci harmonik bileşeni, reaktif güçteki 159 kVAr'lık ihtiyaca karşılık gelen kademelendirme için maksimum değerlerine ulaşmıştır.

11'inci gerilim harmoniğinin Şekil 12'de belirtildiği gibi kompanzasyon devredışı iken temel bileşene oranı % 1,5 iken, Şekil 13'teki % 6-7 değerlerine; akım harmoniklerinin ilk hali Şekil 12'de % 4-5 iken,

paralel rezonans anı için Şekil 13'te % 25 değerlerine yükselmektedir.

3. ANALİZÖR ÖLÇÜMLERİNİN BİLGİ-SAYAR YARDIMI İLE DOĞRULANMASI

Kompanzasyon panolarındaki kademelendirmeler gözönüne alındığında, bir sistemin hangi kademeler devreye girdiğinde rezonansa gireceğini tahmin etmek oldukça zordur. Fiziksel olarak piyasada bulunan 12 kademeli rölelerin kondansatör devreye alma algoritmaları marka ve modele göre değişebilir. Buna göre elektriksel kademelendirme ihtimali ve reaktif güç ihtiyacını karşılama durumu manuel yöntemlerle incelenemez.

Ancak basit bir hesap tablosu ile trafo gücü ile kısa devre geriliminden yararlanılarak Şekil 4'teki eşdeğer devre hesabından sistemin harmoniklere cevabı incelenebilir.

Transformatör gücü: kVA
 Transformatör empedansı: % Uk
 Bara gerilimi: Volt

Harmonik Derecesi	Frekans (Hz)	Xl (Ohm)	Xc (Ohm)	Paralel rezonans kVAr
1	50	0,0090	0,0090	N/A
2	100	0,0179	0,0358	4464
3	150	0,0269	0,0806	1984
4	200	0,0358	0,1434	1116
5	250	0,0448	0,2240	714
6	300	0,0538	0,3226	496
7	350	0,0627	0,4390	364
8	400	0,0717	0,5734	279
9	450	0,0806	0,7258	220
10	500	0,0896	0,8960	179
11	550	0,0986	1,0842	148
12	600	0,1075	1,2902	124
13	650	0,1165	1,5142	106
14	700	0,1254	1,7562	91
15	750	0,1344	2,0160	79

Tablo-1. Harmonik derecelerine göre transformatör etiket değerine karşılık riskli kompanzasyon miktarı

Güç kalitesi analizörü ile yapılan ölçümlerde, Tablo-1'de belirtilen harmonik derecelerindeki yük harmoniklerine ait genlikler, belirtilen paralel rezonans kVAr değerlerine çok yakın değerlerde maksimuma ulaşacaklardır. Bu basit hesap ile sahadaki ölçümler karşılaştırılarak odaklanması gereken harmonik dereceleri, kondansatör ilavesi ile sistemin cevabının hangi davranışı göstereceği hakkında bilgi edinilebilir.

Uygulamamızı örneklemek üzere; ana dağıtım panosunda bizim ölçüm noktamızın önünde bağlı 50 kVAr sabit kompanzasyonu işleme katarsak:

a) 11'inci harmoniğin en yüksek değerde olduğu anda devredeki toplam kondansatör gücü $50 \text{ kVAr} + (250\text{kVAr} - 159 \text{ kVAr}) = 141 \text{ kVAr}$ olur. 11'inci harmoniğin yükler arasında genliği olduğunu dikkate alırsak en riskli seviye Tablo-1'de de belirtildiği gibi 148 kVAr civarında tepe değerine yakın bir değer olacaktır.

b) Kompanzasyonun devrede olduğu anda transformatör altında toplam $250 \text{ kVAr} + 50 \text{ kVAr} = 300 \text{ kVAr}$ kondansatör gücü olduğuna göre Tablo-1'deki değerlerden kontrol edildiğinde yük harmonikleri arasında 7'nci ve 8'inci harmoniklerin bulunması durumunda bu harmoniklerin genliklerinin daha fazla etkileneceği aşıkardır. Şekil 12'de başlangıçta 7 ve 8'inci harmonikler 11'inci harmoniğe göre baskın değilken, Şekil 11'de kompanzasyon devrede olduğu durumda en yüksek değerlerine ulaşmışlardır. Paralel rezonansın o andaki tepe değeri 7 ile 8'inci harmonik derecelerinin arasında kabul edilebilir.

4. SONUÇ

Örnek alınan ölçümde kompanzasyon sistemi kademeleri devreye girerken, başlangıçta yük akımının temel bileşene oranı % 4,5 olan 11'inci harmonik derecesi, % 25'e varan bir genliğe ulaşmıştır. Yeni kademeler devreye girdikçe paralel rezonans frekansı daha düşük harmonik derecelerine doğru kaymış ve 11'inci harmonik tekrar ortalama değerlere geri dönmüştür. Devreye alınacak kondansatör gücü ihtiyaca göre değiştikçe ve kondansatörler değer kaybettikçe başka bir frekansta yeniden paralel rezonans durumu tesadüf edebilir.

Bu çalışmada, paralel rezonans riskinin endüstriyel alanda güç kalitesi analizörleri ile yapılan ölçümlerle tespiti ve bilgisayarda hesaplama yöntemleri ile teyidi işlenmiştir. Genel olarak toplam harmonik bozulma miktarı IEC 61000-4-7 ve EN 50160'ta belirtilen sınır değerlerin altında olduğu için harmonik filtrelili kompanzasyon sistemi kullanmadan kondansatör tetikleyen tesislerde yaşanan kondansatör arızaları, sigorta patlamaları, yangın vb. sebebi zor tespit edilen problemlerin analizi için dikkat edilmesi gereken noktalar paylaşılmıştır. Buna göre kompanzasyon panosunun kademelerinin değer kaybı, elektriksel kademelendirme ve fiziksel kademelendirme farkı, mevcut yük harmonikleri arasında küçük bir değerde bile olsa bazı harmonik derecelerini çok yüksek ve sistem için riskli seviyeye ulaştırabilmektedir. Bu yüzden yapılan ölçümler, sistemin genel performansının dışında da gelişebilecek ihtimal değerler bilgisayar ortamında hesaplanarak kıyaslanmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] Electrical Power Systems Quality Second Edition, Dugan Roger C., McGranaghan Mark F., Santoso Surya and Beaty H.Wayne, McGraw-Hill, 2004

[2] Industrial Electrical Network Design Guide, T&D 6 883 427/AE, Schneider Electric Publications, 2000

[3] Harmonic disturbances in networks and their treatment, Collombet C., Lupin J.M., Schonek J., Cahier Technique Schneider Electric No:152

[4] Electrical Installation Guide, Schneider Electric Publications, 2005