



Kompanzasyon ve Harmonik Filtre Sistemleri

Bahadır Yalçın
ECT Mühendislik Ltd. Şti.

ECT Mühendislik 1996 yılında CIRCUTOR firmasının Türkiye tek yetkili distribütörü olarak kurulmuştur. Geniş ürün yelpazesi, konusuna gösterdiği odaklanma, bölgesel oluşumlar ve güçlü teknik kadrosu ile harmonik filtrasyon konusunda çalışmaktadır. Ölçümden dizayna, imalattan montaj ve devreye almaya kadar olan tüm hizmetleri geniş mühendis kadrosu ile sürdüren firmamız Türkiye çapında Etüt Daire Başkanlığı'ndan Elektrik Odaları'na kadar bir çok eğitim kurumlarının harmonik seminerlerinde eğitimci katkısını sürdürmektedir.

Harmonik Nedir ?

Enerji dağıtım sistemlerinde sinüs formundaki bir gerilim kaynağı yarı iletken teknolojiye sahip bir sisteme uygulanırsa (DC veya AC Sürücü, UPS , vb) sistemin vereceği akım cevabı kare dalga şeklinde olacaktır.

Sinüs formunda ve sistem empedansı oranında genliğe sahip olması gereken bu akım dalga şeklinin kare dalga olmasının nedeni içerdiği temel şebeke fre-

kansı dışındaki sinüs dalgalarıdır. Temel şebeke frekansı (50 Hz) dışındaki diğer sinüs formundaki bu akımlara "Harmonik " denir.

Harmonik Seviyeleri

Yukarıda bahsedilen yarı iletken teknolojiye sahip olan bir cihazın üreteceği harmonik akımların hangileri ve hangi mertebelerde olduğu bu cihazın pulse sayısına yani içerdiği tristör veya diyot gibi elemanların adetlerine bağlıdır. Günümüz 3 fazlı elektrik teknolojisinde diyot ve tristörler bir cihaz içerisinde 6 adet veya 12 adet kullanılarak 6 puls'lı veya 12 puls'lı sistemler olarak adlandırılırlar. 6 puls'lı bir sistem için;

$$n = hq+1 \quad (1)$$

formülünde h ; puls sayısı
q ; sıra ile ilerleyen tam sayı olmak üzere

$$\begin{aligned} n &= 6.1+1= 5 \text{ ve } 7 \\ n &= 6.2+1=11 \text{ ve } 13 \\ n &= 6.3+1=17 \text{ ve } 19 \\ n &= 6.4+1= 23 \text{ ve } 25 \text{ gibi harmo-} \end{aligned}$$

nik akımlar üretilecektir.

Üretilecek bu harmoniklerin temel şebeke frekansındaki akıma olan yüzdesel değerleri ise;

$$\% = 100 / n \quad (2)$$

formülü ile hesaplanabilir.

Örnek ;

- 5. Harmonik yüzdesel değeri
 $\% = 100 / 5 = \% 20$
- 7. Harmonik yüzdesel değeri
 $\% = 100 / 7 = \% 15$
- 11. Harmonik yüzdesel değeri
 $\% = 100 / 11 = \% 9$
- 13. Harmonik yüzdesel değeri
 $\% = 100 / 13 = \% 8$
- 17. Harmonik yüzdesel değeri
 $\% = 100 / 17 = \% 6$
- 19. Harmonik yüzdesel değeri
 $\% = 100 / 19 = \% 5$
- 23. Harmonik yüzdesel değeri
 $\% = 100 / 23 = \% 4$
- 25. Harmonik yüzdesel değeri
 $\% = 100 / 25 = \% 4$

Rezonans

Yukarıda üretim seviyesi ve mertebeleri harmonik akımlar şebeke empedansı üzerinde

Ohm yasasına göre harmonik gerilim endüklerler.

Elbetteki bu oluşan gerilim distorsiyonunun değeri üretilen harmonik akımın değerine bağlı olduğu kadar ilgili şebekenin empedansına da bağlıdır. İlgili şebekede toplam empedansı oluşturan iki temel ve birbirine paralel empedans göz önüne alınmalıdır. Bunlardan birincisi Trafo empedansı olan;

$$Z_{tr} = WL \quad (3)$$

ve kompanzasyon sisteminin empedansı olan,

$$Z_k = 1/WC \text{ 'dir.} \quad (4)$$

Bu iki empedansın paralel devresinin toplam empedansı;

$$Z_{toplam} = WL / (1 - W^2 LC) \text{ olarak hesaplanır.} \quad (5)$$

Bu eşitlik ile ifade edilen paralel empedansın paydasındaki $1 - W^2 LC$ değer "0" olur ise sistem ilgili frekans için teorik olarak sonsuz empedans seviyesine ulaşır. Bu duruma " Paralel Rezonans " denir .

Teorik olarak sonsuz büyüklükteki empedans demek olan bu değer pratik uygulamalarda üretilen harmonik akımların 3 ila 6 katı arasında amplifiye olmasına neden olur. Bu durumda Trafo hattı için ve kompanzasyon sistemi için en tehlikeli boyutlara yükselir. Artık yukarıda bahsedilen standart üretimler (5. harmonik için % 20 vb) sözkonusu de-

ğildir. Bu değerler devreye giren kompanzasyon miktarına bağlı olarak % 100 değerine kadar yükselebilir.

Rezonans Frekansı

Sistemin ne zaman ve hangi frekans değeri için paralel rezonansa gireceği aşağıdaki formülasyon ile yaklaşık olarak hesaplanır;

$$n = (S_k / Q_c)^{1/2} \quad (6)$$

Burada $S_k =$ İlgili trafonun kısa devre gücü S_n / uk (kVA)
 $Q_c =$ Devreye paralel bağlı olan kondansatör gücü (kVAr)

Anlaşıldığı üzere sistemin rezonans frekansı trafonun kısa devre gücü ile doğru, hat üzerine paralel olarak bağlı kondansatör gücü ile ters orantılıdır. Devreye giren kondansatör gücü arttıkça rezonans frekansı 5 ve 7 gibi düşük frekanslı harmonik noktalara doğru ilerler. Ancak unutulmaması gereken nokta rezonans frekansı hangi harmonik bileşene gelirse o harmonik sistem için en tehlikeli harmonik haline gelir. Bu neden ile sistemde üretilen hiçbir harmonik frekansı için rezonansa izin verilmemelidir.

Harmonik Filtrasyon

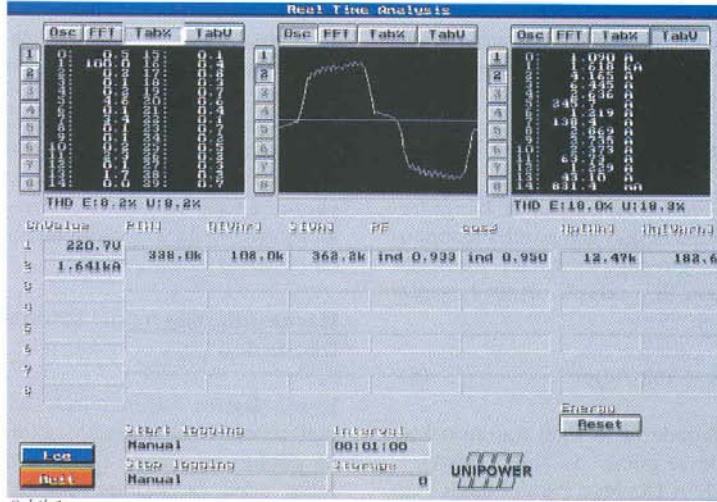
Yukarıda bahsedildiği üzere rezonansa engel olmak harmonik filtrasyonun ön koşuludur. Bunu yapabilmek için kondansatör grupları reaktörler ile desteklenmeli ve bu iki devre elemanı ile bir odaklama frekansı elde edil-

melidir. Bu frekans şebekede var olan en düşük frekanslı harmonik akımın bir geri noktası olmalıdır. Tipik 3 fazlı sistemlerde oluşan harmonik seviyenin daha önce de bahsedildiği gibi 5. harmonikten (250 Hz) başlayacak olması bu odaklama frekansının 189 ila 223 Hz aralığında olmasını gerektirecektir.

Harmonik Kaynaklı Reaktif Güç Bedeli

Enerji dağıtım sistemlerinde temel şebeke frekansındaki akım ile gerilim arasındaki faz farkını işaret eden büyüklüğe "cos φ" denir ve bu değer bir endüstriyel hattın enerji aldığı üreticiye ödeyeceği reaktif güç bedelini belirler .

Döner telli konvansiyonel elektrik sayaçları ile faturalandırma yapan sistemlerde durum yukarıda bahsedildiği gibidir. Ancak son yıllarda kanunla da zorunlu olan dijital sayaçlara geçilmesi ile bu durum farklılık göstermiştir. Zira dijital sayaçlarda güç faktörü ile bilinen yukarıdaki değerlerin hesaplanması için sadece temel şebeke frekansındaki akım ve gerilim arasındaki açıya bakılmaz; harmonik denilen diğer frekanslardaki akım ve gerilimin etkisi de göz önüne alınır. Buna "Power Factor" denir. Kısaca power factor, cos φ değerinden farklı olarak, harmonikler dahil olan akım ile harmonikler dahil olan gerilim arasındaki faz farkıdır. Bu iki değer arasında harmonikli ortamlarda aşağıdaki formül kadar bir fark oluşur.



Şekil 1.

$$PF = \mu \cdot \cos \varphi \quad (7)$$

$$m = 1 / 1 + (THD)^2 \quad (8)$$

Örnek olarak ile dijital sayaç kullanan ve şebekesinde THD(1) =%30 seviyelerinde harmonik akımı olan bir tüketici $\cos \varphi = 0,96$ değerine sahipken;
 $\mu = 1 / 1 + (0,3)^2 = 0,917$
 $PF = 0,917 \cdot 0,96 = 0,88$ değerinde bir güç faktörüne sahip olacaktır.

Bunun temel sonucu olarak döner telli bir sayaçtan dijital sayaça geçmesi ile aynı yük ve kondansatör sistemi ile daha önce ödemediği reaktif güç bedelini ceza olarak ödeyecektir. Şekil 1'de, tristör kontrollü bir endüksiyon fırını besleyen trafonun kondansatörler devrede iken ve devrede değil iken gerçekleştirilen ölçüm sonuçları verilmiştir. Sonuçlardan da rahatlıkla görüleceği üzere kondansa-

törler devrede değil iken 6 puls'lı bir yarı iletken malzemeden beklenen harmonik akımlar (% 20) gözlenmiş ve bu durumda PF ile $\cos \varphi$ birbirlerine yakın değerler göstermiştir. Ancak kondansatörün devreye girmesi ile sistem 7. harmonik rezonansına uğramış harmonik akımlar % 40 seviyelerine amplifiye olmuştur.

Bunun doğal sonucu olarak PF ile $\cos \varphi$ arası açılmış ve firma dijital sayaca geçerek reaktif ceza ödemeye başlamıştır. Şekil 1'deki ölçüm kondansatörler devre dışı iken yapılmıştır. $\cos \varphi = 0,93$ iken $PF = 0,95$ değerindedir. Dijital yada döner telli sayaç kullanılması durumunda çok büyük farklar oluşmamıştır.

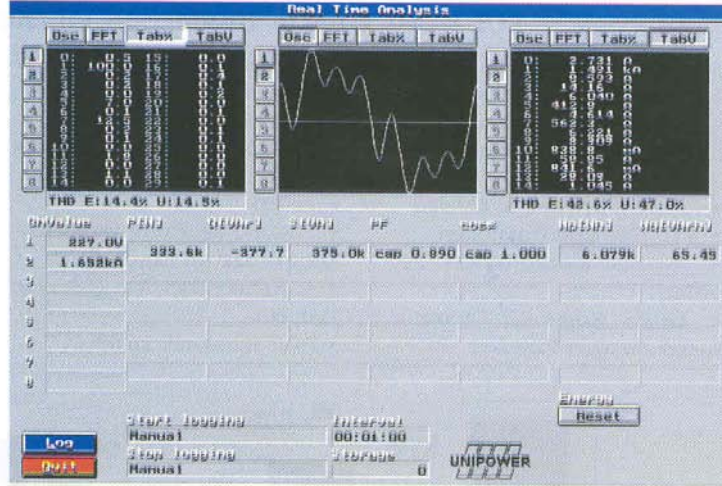
Şekil 2'deki ölçüm kondansatörler devrede iken yapılmıştır. Formül (6) dan da rahatlıkla hesaplanabileceği gibi yaklaşık 300 kVar kondansatör devreye alınmış ve sistem 7. harmonik rezonansına uğramıştır. Yukarıda sunulan ölçüm sonucunun sağ tarafındaki kolonda daha önce 138 A olan 7. harmonik akımının yaklaşık 4 kat amplifiye olarak 562 A seviyesine geldiği rahatlıkla izlenmektedir. Bu durumda $\cos \varphi = 1,00$ ideal değerinde iken $PF = 0,89 (< 0,96)$ ceza değerindedir. Elbetteki sözkonusu bu sisteme müdahale kaçınılmazdır. Aksi durumda ayda 30 gün ve 24 saat çalışan böyle bir tesis her ay 7000 EUR reaktif ceza bedeli ödeyecektir. (Ani tüketim faz başına 300 kW ve reaktif bedel kWhsaati 0.02 EUR kabul edilmiştir.)

Tablo 1. Kompanzasyon devre dışı iken ölçülen akım ve gerilim harmonikleri

h	Yük Harmonikleri		Yükler		Toplam	
	I (A)	U (%)	I(A)	U (%)	I (A)	U (%)
3	0,0	0,00%	0,0	0,50%	0,0	0,50%
5	245,0	5,17%	2,9	5,17%	2,9	5,17%
7	138,0	4,08%	1,6	4,08%	1,6	4,08%
11	63,0	2,92%	0,7	2,92%	0,7	2,92%
13	43,0	2,36%	0,5	2,36%	0,5	2,36%
17	24,0	1,72%	0,3	1,72%	0,3	1,72%
19	11,0	0,88%	0,1	0,88%	0,1	0,88%
23	5,0	0,49%	0,1	0,49%	0,1	0,49%
25	5,0	0,53%	0,1	0,53%	0,1	0,53%
THD	—	7,85%	17,85%	7,87%	17,85%	7,87%

Reaktörlü Kompanzasyon

Yukarıda örnek olarak verilen bu tesis için tek çözüm reaktörlü kompanzasyondur. Mevcut kompanzasyonun yerine tesis edilecek bu sistem 189 Hz odaklama frekansına sahip olmalıdır. Bu sistem ile harmoniklerin amplifiye olması engellenecek ve 5. harmonik için % 25 filtrasyon gerçekleştirilecektir. Bu durum için yapılan analiz Tablo 1'de bilgilerinize sunulmuştur; "Yük Harmonikleri" tablosu trafo alçak gerilim barasında ölçülen harmonik akımlardır. "Şebeke" tablosundaki U (%) değeri bu akımların Trafo A.G. barasında oluşturduğu gerilim distorsiyonu ve I (A) bu harmonik akımları O.G. çıkışındaki akım büyüklükleridir. Diğer bir deyişle I (A) değeri sayacın gördüğü harmonik akımların yüzdesel değerini göstermektedir. Bu sisteme 300 kVAR gücünde 189 Hz odaklı bir filtre sistemi uygulandığında aşağıdaki değerlere ulaşılmıştır; Bahsi geçen filtre sistemi ile O.G. barasındaki akım distorsiyonu % 12,9 seviyesine ve 300 kVAR güç ile 0,99 cos φ değeri-



Şekil 2.



Orte Gerilim Kondansatör ve Filtre Panelleri

h	Yük Harmonikleri	Şebeke		Toplam
	I(A)	U (%)	I (A)	U (%)
3	0,0	0,00%	0,0	0,83%
5	245,0	3,30%	1,8	3,30%
7	138,0	3,04%	1,2	3,04%
11	63,0	2,30%	0,6	2,30%
13	43,0	1,87%	0,4	1,87%
17	24,0	1,37%	0,2	1,37%
19	11,0	0,70%	0,1	0,70%
23	5,0	0,39%	0,0	0,39%
25	5,0	0,42%	0,0	0,42%
THD	—	5,62%	12,91%	5,69%

ne ulaşılabacaktır. (7) ve (8) nolu formüller kullanılarak sistemin PF değerinin;

$$\mu = 1 / 1 + (0,12)^2 \quad (8)$$

$$= 0,9858$$

$$PF = 0,9858 \cdot 0,99 \quad (7)$$

$$= 0,976$$

olacağı görülecektir. 0,96 ceza sınırından büyük bir değer olması sorunun çözüldüğünü göstermektedir.

ECT MÜHENDİSLİK HARMONİK FİLTRE ÇÖZÜMLERİ

30 yılı aşkın deneyimi ile CIRCUTOR, harmonik filtre konusunda tüm ürün yelpazesine sahip firmalardandır. Bunlar sırası ile;

- Reaktif Güç Kontrol Röleleri
- A.G. Güç Kondansatörleri
- Otomatik Kompanzasyon Panelleri
- Tristör Kontrollü Otomatik Kompanzasyon Panelleri

- Harmoniklere Özel Kondansatör Üniteleri
- Harmonik Filtre Reaktörleri
- Reaktörlü Otomatik Kompanzasyon Panelleri
- Tristörlü Reaktörlü Otomatik Kompanzasyon Panelleri
- 3. Harmonikler İçin İzalasyon Trafoları
- Pasif Harmonik Filtreler

- Aktif Filtreler
- Harmonik Filtre Reaktörleri
- EMI Filtreler
- O.G. Kondansatörler
- 36 kV'a Kadar Kompanzasyon Grupları
- O.G. Reaktörlü Kompanzasyon Panelleri
- Kalkış Akımı Sınırlama Reaktörleri
- Vakum Kontaktörler'dir.

