

ENERJİ/KALİTE

Harmoniklerin oluşmasının başlıca nedeni, elektrik devrelerinde kullanılan lineer olmayan devre elemanlarıdır. Bu devre elemanlarının, gerilimleri ile akımları arasındaki lineer olmayışıdır. Magnetik devrelerin aşırı doyması, elektrik arkları ve güç elektroniği devrelerindeki sinüzoidal gerilimin anahtarlanması ve kıyılması lineer olmayan olaylardır.

1- ELEKTRİK TESİSLERİNDEKİ KİRLİLİK "HARMONİKLER"

Elektrik şebekelerinde akım ve gerilimin dalga formunun sinüzoidal ve frekans değerinin 50 Hz'de olması istenir. Bu koşul elektrik enerjisinin kalitesini belirleyen ana faktörlerden biridir. Ancak enerjinin üretimi, iletimi dağıtımı ve kullanımı gibi işletmeden gelen bazı etkilerden dolayı akı, gerilim ve akım gibi temel büyüklükler sinüzoidal özelliklerini kaybederler. Dalga biçimleri oldukça karmaşık hale gelir. Bu karmaşık dalgalar ise sonuçta harmonikler içerir.

Güç sistemine bağlanan bazı devre elemanları ve bunların yol açtığı olaylar sebebi ile sinüzoidal dalga şeklinde sapsmalar oluşur. Sinüsten sapsmalar genellikle harmonik bileşenlerin ortaya çıkması ile ifade edilir. Manyetik ve elektrik devrelerinde lineer olmayan durumlar harmoniklerin oluşmasına se-

rin doğrultucu, evirici ve çeşitli elektronik devrelere uygulanması (Örneğin; DC ile enerji iletim konverter istasyonları, motor kontrol devreleri, statik VAR generatörleri vs.) gaz deşarjlı aydınlatmanın (Örneğin; flüoresan, civa buharlı neon, xenon ve yüksek basınçlı sodyum lambalar) yaygınlaşması, akü ve fotovoltaik sistemler ile elektrikli ulaşım vasıtalarının artmasıdır. Bu tip yüklerin gelecekte de daha etkili olacağını düşünülmektedir

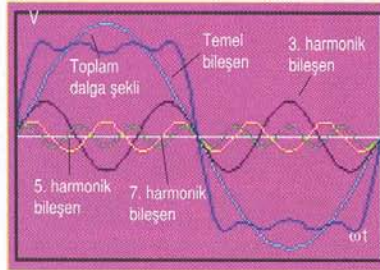
Harmoniklerin ortaya çıkması işletme araçlarını ve tesislerini yükleyerek ek kayıplara ve aşırı ısınmaya sebep olmaktadır. Ayrıca rezonans olaylarına da sebep olarak işletme için çok zararlı bir durum meydana getirmektedir. Bu yüzden işletmelerde harmoniklerin meydana gelmemesi için, ilk aşamada tedbirler düşünülüp ona göre tasarım ve tesis yapılır.

Elektrik Tesislerindeki Kirlilik "Harmonikler"

Öğr. Gör. Süleyman ADAK

(Dicle Üniversitesi Mardin Meslek Yüksek Okulu Teknik Programlar Bölüm Başkanı)

bep olur. Bu lineersizliklere sebep, ark fırınlarında normal çalışma gereği ark oluşması ile demir çekirdekleri bulunan bobin, transformatör, generatör ve benzeri elemanların doymaya giderek manyetik bakımdan lineer olmayan bir olayın meydana gelmesi ve yarıiletken elemanların kullanılarak sinüzoidal dalganın bazı kısımlarının kırılmasıdır. Bu lineersizlikler akım ve gerilim dalga şeklinin bozulmasına sebep olur.



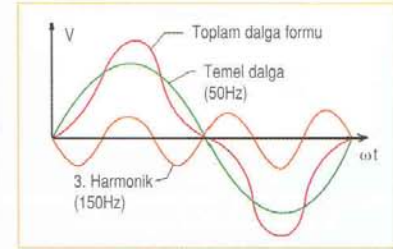
Şekil: 1- Harmonik bileşenler

Harmonik üreten elemanların güç sistemlerine bağlanması ile nonlineerlik etkisi hızlı bir şekilde artmıştır. Yarıiletken anahtarların gelişmesi ve onla-

2- Harmoniklerin üretilmesi

Harmoniklerin oluşmasının başlıca nedeni, elektrik devrelerinde kullanılan lineer olmayan devre elemanlarıdır. Bu devre elemanlarının, gerilimleri ile akımları arasındaki bağıntının lineer olmayışıdır.

Magnetik devrelerin aşırı doyması, elektrik arkları ve güç elektroniği devrelerindeki sinüzoidal gerilimin anah-



Şekil: 2- Üçüncü harmonik gerilimi içeren dalga şekli

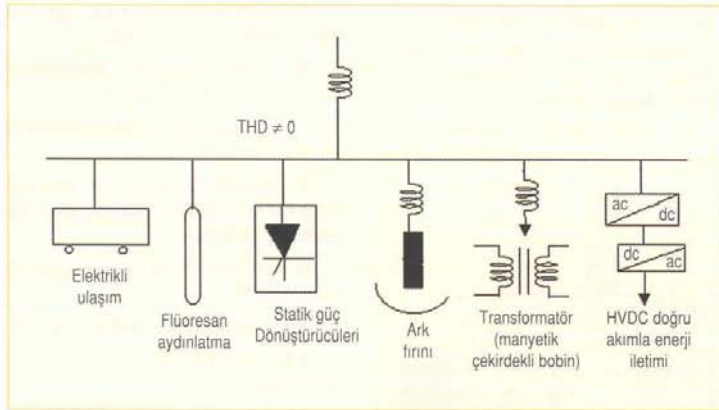
tarlanması ve kıyılması lineer olmayan olaylardır.

Tüketiciler elektrik enerjisinin iyi kalitede olmasını talep ederler. Enerji ➔

sistemindeki cihazların normal çalışması sırasında, harmonik üreten ve besleme geriliminde çeşitli düzensizliklere neden olabilen yükler özel bir önem taşımaktadır. Yük akımındaki hızlı değişimler, müşterilerin enerji sistemine bağlandığı noktada gerilim değişimlerine neden olur. Bu tip yükler örnek olarak, çeviriciler, transformatörler, ark fırınları, kaynak makineleri, demiryolu cer işletmeleri, haddehaneler, kömür ocağı çıkırıkları, döner rotorlu makineler, indüksiyon fırınları verilebilir.

3- Harmonik kaynakları

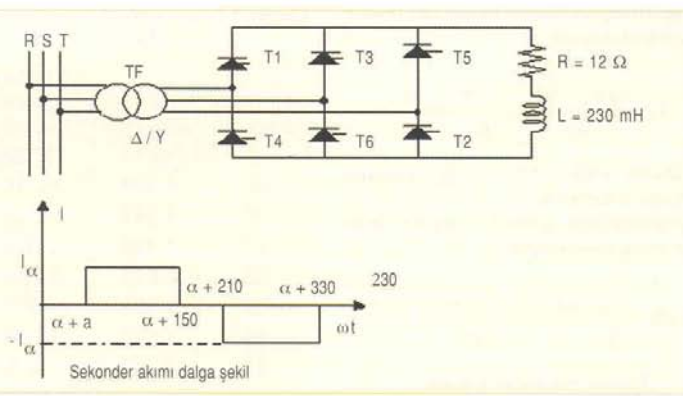
Çoğunlukla büyük endüstriyel yükler önemli olmasına karşın, aynı zamanda donatım aygıtları ve tek, tek ele alındığı zaman problemlere neden olmayan, fakat toplu olarak ele alındığında bağlı oldukları şebekenin besleme kalitesini etkileyebilen ticari binalar ve evlerde kullanılan cihazların da dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerekir.



Şekil 3- Belli başlı harmonik kaynakları

Harmoniklerin oluşmasına neden olan önemli harmonik kaynakları şunlardır.

- Transformatörler
- Döner Makinalar
- Konverterler
- Ark ocakları
- Gaz deşarjlı armatürler
- Statik VAR kompanzatorleri
- Fotovoltaik sistemler
- Bilgisayarlar



Şekil 4- Üç fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu giriş akım dalga formu

• Kesintisiz güç kaynakları (UPS: Uninterruptible Power Supply)

- Doğru akımla enerji taşıma
- Elektrikli lokomotifler

Harmonik kaynağı durumunda ki bu elemanların analizi büyük önem taşımaktadır.

4.1 Üç fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu giriş akımı analitik harmonik analizi

Şekil 4'te kontrollü doğrultucu devresi ve giriş akımı dalga şekli görülmektedir. Kontrollü doğrultucu devresinin harmonikleri için Fourier serisini yazalım

$$I = I_{dc} + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos(n\omega t) + B_n \sin(n\omega t))$$

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_1(t) d(\omega t) = 0$$

Fourier serisinin A_n bileşeni,

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} i_1(t) \cos n\omega t d(\omega t) = \frac{I_a}{\pi n}$$

$$\left\{ \sin \omega t \right\}_{\frac{5\pi}{6+\alpha}}^{\frac{11\pi}{6+\alpha}} - \left\{ \sin \omega t \right\}_{\frac{7\pi}{6+\alpha}}^{\frac{13\pi}{6+\alpha}} \right\}$$

$$A_n = \frac{4I_a}{\pi n} \sin \frac{n\pi}{3} \sin n\alpha \quad (n = 1, 3, 5, \dots)$$

şeklinde bulunur. Fourier serisinin B_n bileşeni,

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i_1(t) \sin n\omega t d(\omega t) =$$

$$\frac{1}{\pi} \left[\int_{\frac{5\pi}{6+\alpha}}^{\frac{11\pi}{6+\alpha}} I_a \sin n\omega t d(\omega t) - \int_{\frac{7\pi}{6+\alpha}}^{\frac{13\pi}{6+\alpha}} I_a \sin n\omega t d(\omega t) \right]$$

$$B_n = \frac{4I_a}{\pi n} \sin \frac{n\pi}{3} \cos n\alpha \quad (n = 1, 3, 5, \dots)$$

şeklinde bulunur. Giriş akımının efektif değeri,

$$I_n = \frac{\sqrt{A_n^2 + B_n^2}}{\sqrt{2}} = \frac{2\sqrt{2}I_n}{n\pi} \sin \frac{n\pi}{3}$$

olarak elde edilir. Giriş akımının (konverterlerde üç ve üçün katı harmonikler sıfırdır.) toplam harmonik distorsiyonu,

$$THD_1 = \sqrt{\frac{I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2 + I_{17}^2 + I_{19}^2 + I_{23}^2}{I_1^2}}$$

ifadesi hesaplandığında,

$$THD_1 = \sqrt{\frac{I_1^2(0.15599^2 + 0.1114^2 + 0.0709^2 + 0.0599^2 + 0.0459^2 + 0.0410^2 + 0.0339^2)}{I_1^2 \cdot 0.7797^2}}$$

THDI = 0.2876 = %28.76
şeklinde bulunur.

4.2 Matlab programı yardımı ile üç fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu giriş akımı toplam harmonik distorsiyonunun hesaplanması

Power sistem blok setindeki üç fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu devresi için Şekil 5'teki devreyi temel baz devre olarak aldık. Üç fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu giriş akımı toplam harmonik distorsiyonunda analitik hesap ile

Çizelge 1 Üç fazlı kontrollü doğrultucu giriş akım bileşenleri

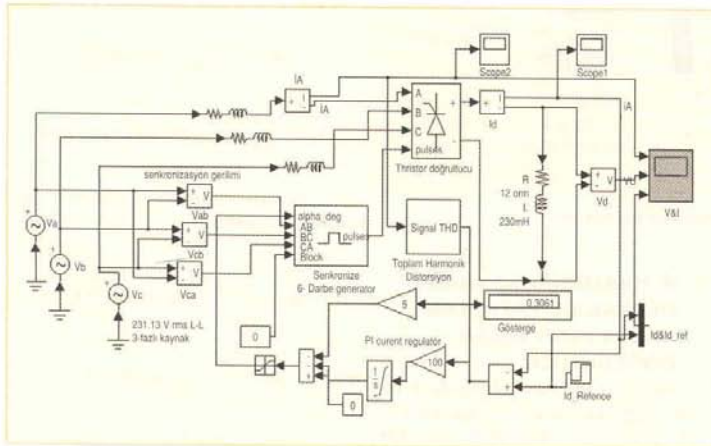
Harmonik Sırası(n)	Harmonik Akımı (A)	Har. Bileşen faz açısı (Derece)
1	39.11	-32.88
5	7.778	15.05
7	5.484	-49.27
11	3.358	-2.932
13	2.877	-64.05
17	1.995	-19.7
19	1.981	-81.75
23	1.142	-32.4

Uygulama devresi olarak alırsak kontrollü doğrultucu giriş akımı değişimi Şekil 6'daki gibidir.

Power sistem blok setindeki üç fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu devresi uygulama devresi olarak alınırsa, kontrollü doğrultucu giriş akım bileşenleri olarak Çizelge 1'deki değerler elde edilir.

Çizelge 1'deki değerlere ilişkin toplam harmonik distorsiyon değerini hesaplırsak,

$$THD_1 = \sqrt{\frac{I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2 + I_{17}^2 + I_{19}^2 + I_{23}^2}{I_1^2}}$$



Şekil: 5- 5 Üç fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu devresi

uygulama devresi sonuçları arasındaki %0.83'lük fark, analitik hesaba komütasyon aralığının ihmal edilmesinden kaynaklanmaktadır.

formülünden,

$$THD_1 = \sqrt{\frac{7.778^2 + 5.484^2 + 3.358^2 + 2.877^2 + 1.995^2 + 1.981^2 + 1.142^2}{39.11^2}}$$

$$THD_1 = 0.2793 \%27.93$$

elde edilir. Analitik hesap ile uygulamadan elde edilen sonuçlar aynıdır. Çizelge 1'deki değerlere ilişkin harmonik bileşenleri çizerek Şekil 7'deki grafikler elde edilir.

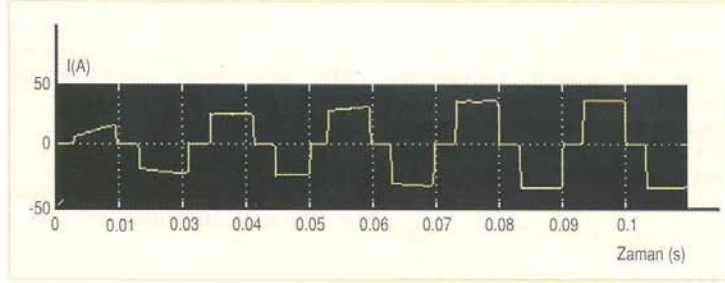
5- Harmoniklerin sisteme etkileri

Harmonikler güç sistemlerindeki tüm elemanları etkilerler. Dolayısıyla ile güç sistemleri olumsuz yönde etkilenir. Harmoniklerin gerilim ve akımın dalga şeklini bozmaları sonucu enerji sistemlerinde meydana getirdikleri etkiler genel olarak şöyle sıralanabilir.

1. Enerji sistemindeki elemanlarda kayıpların artması
2. Transformatörlerin aşırı ısınması
3. Dönen makinalarda moment salınımlarının ve aşırı ısınmalarının oluşumu.
4. Gerilim düşümünün artması
5. Generatör ve şebeke gerilimi dalga şeklinin bozulması
6. Kompanzasyon tesislerinin aşırı reaktif yüklenmesi
7. Endüksiyon tipi sayaçlarda yanlış ölçmeler
8. Şebekede rezonans olayları, rezonansın neden olduğu aşırı gerilim ve akımlar
9. Kontrol devrelerinde çalışma bozuklukları
10. Korumada hatalı çalışma
11. Dielektrik malzemesinin delinmesi
12. Mikroilemçilerin hatalı çalışması
13. Sesli ve görüntülü iletişim araçlarında parazit ve anormal çalışma
14. Güç faktörünün değişimi

6- HARMONİKLERİN FİLTRELENMESİ

Elektrik tesislerinde istenmeyen büyüklük durumundaki harmoniklerin mutlak surette filtrelenmeleri gerekir.



Şekil: 6- Üç fazlı tam dalga kontrollü giriş akımı

6.1- Tasarım esnasında alınabilecek önlemler

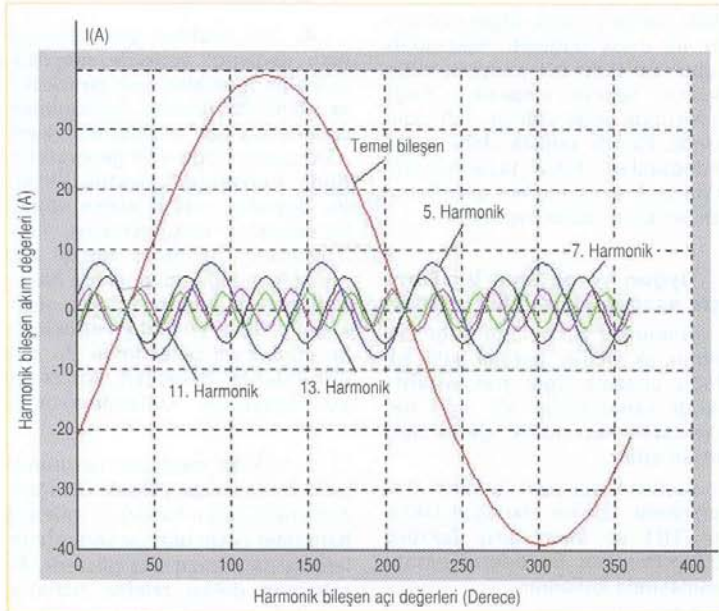
Tasarım esnasında alınacak önlemler harmonik kaynaklarının imalatları esnasında veya şebekelere bağlanmaları esnasında alınır.

6.1.1- Generatörlerde alınabilecek önlemler

Senkron generatörlerde hava aralığındaki manyetik alan endüvi iletkenlerinde endüklenen elektromotor kuvvetini belirler. Bu yüzden eğer φ manyetik sinüzoidal ise elektromotor kuvveti de sinüzoidal olacaktır. Yuvarlak rotorlu senkron makinalarda uyarma sargısının bütün rotor çevresine homojen olarak dağıtıldığı durumlarda, üçgen şeklinde bir alan eğrisi elde edilir. Bu gibi sinüzoidal ol-

mayan eğriler 1, 3, 5, 7, 9, gibi tek mertebeli sinüs terimlerinin toplamına eşit olduğundan elektromotor kuvvet de aynı mertebeden harmonikler içerir. Yuvarlak rotorlu senkron makinalarda sinüzoidal olmayan alan eğrisini sinüs eğrisine yaklaştırmak için kutup oluklarının $2/3$ 'ü sarılır yada sarım adımları birbirlerinden farklı olan sarım tipi kullanılır.

Senkron makinalarda alan eğrisinde belirli harmoniklerin bulunmasına rağmen, endüklenen gerilimdeki harmoniklerin etkisi çok daha düşüktür. Alan eğrisindeki 3, 5, ve 7 harmonikler, endüvi sargılarının özel bir şekilde düzenlenmesi ve sargı adımını uygun seçilmesi ile gerilim eğrisinde tamamen ortadan kaldırılır. Çıkık kutuplu senkron makinalarda endüvi



Şekil: 7- Üç fazlı tam dalga kontrollü doğrultucu giriş akımı harmonik bileşenleri

oluklarının belirli bir şekilde düzenlenmesi ve kutuplara uygun şekil verilmesi ile, gerilim eğrisinin sinüzoidal olması sağlanmaya çalışılır. Çıkık kutuplu senkron makinalarda alan eğrisi dikdörtgen olduğu için kutup ayaklarına değişik şekiller verilerek sinüs eğrisine yakın alan eğrileri elde edilir.

Alternatörlerde endüklenen gerilimin sinüs formunda olması için aşağıdaki önlemler alınmalıdır:

Hava aralığındaki manyetik akıyı sinüzoidal yapmak:

Alternatörlerde endüklenen gerilimin dalga şekli tamamen hava aralığındaki manyetik akıya bağlıdır. Çıkık kutuplu alternatörlerde kutup yüzeyleri kavisli yapılarak akı dağılışının sinüzoidal olması sağlanır.

Endüvi sargılarını kısa adımlı sarmak:

Bu yolla gerilim dalgasındaki bazı harmonikler elimine edilir.

Endüvi sargılarını oluklara dağıtmak:

Bir faza ait bobinleri bir kutup altında daha fazla sayıda oluğa dağıtarak, endüvi sargılarında endüklenen gerilimin daha düzgün olması sağlanır.

Yuvarlak rotorlu alternatörlerde rotor sargılarını kademeli sarmak:

Rotor sargılarını el türü sargı şeklinde sararak gerilimin düzgün bir sinüs dalgası şeklinde olması sağlanır.

Rotor yüzeyinin $2/3$ 'ünü kullanmak:

Yuvarlak rotorlu alternatörlerde rotor yüzeyinin $1/3$ 'ü boş bırakılarak, sargılar rotorun $2/3$ 'üne sarılır. Böylece endüklenen emk'nın daha fazla sinüzoidal olması sağlanır.

Alternatör bağlantısını yıldız yapmak:

Üç fazlı alternatörlerde uc bağlantısı yıldız yapılırsa gerilimdeki bazı harmoniklerin giderildiği gözlenmiştir.

6.1.2- Dönüştürücülerde alınabilecek önlemler:

Doğrultucularda darbe sayısı p ise, harmonik mertebesi $n=kp\pm 1$ formülü ile bulunur. Bu formülde $k=1, 2, 3, \dots$ gibi tam sayılardır. Genelde doğrultucularda $n=5, 7, 11, 13, \dots$ olduğu için, harmonik akımları $I_5=I_1/5$ ve $I_7=I_1/7$, gibi değerler almaktadır. Bundan dolayı darbe sayısı ne kadar büyük olursa, harmonik mertebeleri de o kadar küçük olur. Böylece harmoniklerin zararlı etkileri o oranda azaltılmış olur. Bundan dolayı darbe sayısının 6'dan 12'ye veya 12'den 36'ya çıkartılması ile harmonikleri belirli oranlarda elimine ederiz.

6.1.3- Transformatorlerde alınabilecek önlemler:

Büyük transformatorlerde endüksiyon değerinin büyük olması ile çekirdekten maksimum yararı sağlarız. Buna karşılık büyük endüksiyon değerinde, mıknatıslanma akımında harmonikler artmaya başlar. Mıknatıslanma akımının dalga şeklindeki harmonikleri düşürmek için alınabilecek en iyi tedbir, manyetik endüksiyonu düşük tutmaktır.

Modern transformatorlerde soğukta haddelenmiş ve kristalleri yönlendirilmiş sac kullanmakla, manyetik akı ve bunun sonucu olarak mıknatıslanma akımı düşürülür. Bu tip saclar kullanılması halin de harmonikler sıcak haddelenmiş saclara göre 1/5 değerine düşer.

6.1.4- Yüksek harmoniklerin oluşturduğu rezonansa ilişkin önlemler:

Endüktif reaktans kapasitif reaktansa eşit olunca rezonans oluşur. Rezonans anında $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

olduğundan L veya C parametrelerinden herhangi birini değiştirerek rezonansı önleyebiliriz. Rezonans anında, ifadeleri incelendiğinde, C sabit kalmak koşulu ile devrenin endüktansını düşürmek veya artırmak bir çözüm getirir. Rezonansın yol açtığı zararlı etkilerden kurtulmak için kompanzasyon tesisinin öz frekansı, rezonansa neden olabilecek şebeke frekansının altında olmalıdır. Harmoniklerin zararlı etkilerinden kurtulmak için aşağıdaki önlemleri almak gerekir.

Yüksek harmonik akımlarını azaltmak için devreye omik direnç bağlanmalıdır. Ek direnç kayıplara neden olacağından, kompanzasyon tesislerini doğrudan doğruya baraya bağlama yerine bir veya birkaç kablo üzerinden devreye bağlanmalıdır. Böylelikle suni direnç oluşturulmuş olunur.

Kompanzasyon amacı ile bağlanacak kondansatör değeri ile devrenin motor, transformator ve hatların endüktif direnç değerleri göz önünde bulundurulmalıdır. Rezonansa neden olacak harmonik frekanslarından kaçınılmalıdır. Kurulacak kompanzasyon tesisinin rezonans frekansının mevcut harmonik frekans değerleri arasında olmaması gerekir.

Kompanzasyon için gerekli olmayan kondansatör bataryaları devreden çıkarılmalıdır. Bunun için tesisin otomatik güç faktörü regülatörü ile donatılması gerekir. Tahmin yürütmek çok zordur. Ekonomik açıdan incelersek, örneğin telefon sistemlerinde öyleyici ölçmeler telefon parazitlerinin azalması daha ekonomik olarak sağlanabilir.

6.2- Filtre devreler ile harmonikleri yok etmek:

Daha pratik bir kriter, harmonik akım ve gerilimleri cinsinden ifade edilen sorunu, diğer tüketiciler ile ortak bağlantı noktasında kabul edilebilir bir seviyeye indirmektir. Şebeke empedans değişimlerinde uygun bir gerilim sınırı içinde kararlı kalmak daha kolay olduğundan, filtre tasarımı için harmonik gerilimlerine göre kurulan bir kriter daha uygundur.

Uygun ve optimal bir filtre için aşağıdaki adımlar gerekir:

Nonlineer yüklerin ürettiği harmonik akımların, paralel bağlı olduğu sisteme ilgili frekanslarda aktığı kabul edilir. Ve ilgili frekanslarda harmonik gerilimleri hesap edilir.

Bulunan sonuçlar gerilim distorsiyonu, telefon etkileşim faktörü (TIF) ve akım giriş faktörü ((IT=IxTIF) gibi faktörlerin hesaplanmasında kullanılır.

Filtre elemanları kapasite, endüktans ve dirençler anma değer-

leri ve kayıpları ile birlikte hesaplanır. Harmonik akım kaynağı filtre admitansı ve sistem admitansının filtre tasarımında ayrıntılı olarak göz önüne alınması gerekir.

7- Sonuçlar ve öneriler:

1. Gerilim harmoniklerinin oluşumunu etkilemek için akım harmoniklerinin yolu kontrol edilmeli ve gerilim harmoniklerine neden olacak yerlerden uzak tutulmalıdır.

2. Harmoniklerin şebekeye verecekleri zararların seviyesini THD katsayısıyla tespit edebiliriz. Bu da şebekede kullanılan lineer olmayan yüklerin THD seviyesinin bilinmesi ile gerçekleşir.

3. Elektronik devre elemanlarından kaynaklanan harmonikler sinüzoidal dalganın anahtarlanması kısımları ve benzeri gibi olaylar sonucu oluşmaktadır. Özellikle güç elektroniği uygulamalarında kullanılan tristörler tarafından üretilmektedir. Güç elektroniği sistemlerinin ürettiği harmonikleri azaltmak için doğrultma evirme gerilim ve frekans kontrolü gibi uygulamalarda devrenin darbe sayısını 12, 36 gibi büyük değerlere çıkarmalıyız.

4. Ark ocakları gibi olayların hızlı değiştiği yerlerde meydana gelen harmonikleri yok etmek için kondansatör filtreleri kullanılmalıdır. Ayrıca ark ocaklarında kompanzasyon statik VAR generatörlerinde içerisindeki elektrik aksam ve doymuş reaktörlerden dolayı harmonikler üretilmektedir. Kondansatörler harmonik filtresi olarak kullanıldığı gibi devrede bazen harmonik akımlarında dolayı şebekedeki diğer yüklerin endüktansı ile rezonansa gelebilirler. Bu gibi durumlarda değişken kapasiteli kondansatörler kullanılmaktadır.

5. Yüksek mertebeli harmoniklerin frekansı da yüksek olduğundan enerji iletim hatları ile (telefon hatlarının yakın olduğu yerlerde telefonlarda parazit baş gösterir. Bu sebepten dolayı telefon hatlarını enerji iletim hatlarından uzak yerlerden geçirmek gerekir. ➔

6. Ayrıca harmonikler transformatörlerde bakır ve demir kayıpları ile kaçak akıların artmasına, döner makinalarda kayma ve momenti etkileyerek gü-rültülü ve vuruntulu çalışmalarına, verimlerinin düşmesine, sinüs dalgasının sıfırdan geçişine göre tetikleme yapan sinyallerin yanlış sinyaller vermesine, rezonans olaylarından dolayı sigortaların sık, sık atmasına sebep olmaktadır. Koruma rölelerinin yanlış sinyaller sonucunda ya erken yada geç açıl-malara sebebiyet vermesine, şebekede çalışmakta olan tüm cihazların normal ömürlerinin kılmasına neden olmaktadır.

7. Kısaca tüm sistem elemanlarını etkilediğinden harmonikler şebekede istenmeyen büyüklüklerdir. Bu yüzden harmonikleri yok edecek filtre devrelerinin kurulmasına mutlak surette gerek vardır. Bunun için şebekelere filtreler yerleştirilir. Band geçiren ile yüksek geçiren filtreler büyük sıklıkla kullanılmaktadır. Bu filtreler belirtilen harmonik frekansında rezonans oluşturarak, harmonikli dalgayı toprağa akıtırlar.

8. Tüketicilere filtre yerleştirme zorunluluğunun getirilmesi ve tüketicilerin ürettikleri harmonik güç ile orantılı bir ücretlendirmeye gidilmesi gerekmektedir. Acilen ülkemizin yapısına uygun harmonik standardının belirlenmesi ve yürürlüğe konulmasında büyük yararlar vardır.

KAYNAKLAR

1. Arrillaga, J., Bradley, D.A. ve Bodger, P.S., (1985), **Power System Harmonics**, John Wiley&Sons, Norwich, New York
2. Arrillaga, J., Smith, B.C., Watson, N.R. ve Wood, A.R., (1997), **Power System Harmonic Analysis**, John Wiley & Sons.
3. Ametani, A., (1976), "**Harmonic Reduction in Thyristor Converters By Harmonic Current Injection**", IEEE Trans. on Power Apparatus and Sytems, Vol.PAS-95, no. 2.
4. Bathurst, N., Smith, B.C., Watson, N.R ve Arrillaga, J., (1999). "**Harmonic Domain Modelling of High-Pulse Converters**". IEE Proceedings Online no: 19990294.
5. Bodurođlu, T., (1988), **Elektrik Makinaları Dersleri**, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş, İstanbul.
6. Bose, B.K., (1986), **Power Electronics and AC Drivers**, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632
6. A. Ametani, "**Generalized method of harmonic reduction in a.c.-d.c.convertors by harmonic current injection**," Proc. Inst. Elect. Eng., vol 119, pp. 857-864, July 1972.
7. R. Elshatshat, M. Kazerani, M.M.A. Salama, 2000 "**Multi converter approach to active power filtering using current sources inverters**" to be published in IEEE Transactions on Power Delivery.
8. A.J.J. Rezek, "**Permanent and transient condition analysis of an AC/DC electric conversion system**" (In Portuguese), M.Sc Thesis, EFEI, june, 1986.
9. IEEE Std 519-1981: **IEEE Guide for Harmonic Control and Reactive Compensation of Static Power Converters.** ●