

ENERJİ DAĞITIM SİSTEMLERİ ÜZERİNDE HARMONİKLERİN ETKİSİ

Zafer Özata, Ertan Yanıkoğlu

Özet - Bu çalışmada harmonikler teorik olarak incelenmiş, harmonik üreten kaynaklar ve oluşan harmoniklerin şebeke ve etrafındaki tüketicilere etkileri ele alınarak harmoniklerin bu olumsuz etkilerinin giderilmesinde kullanılan yöntemlere değinilmiştir. Elektrik sistemlerinde enerji üretilmesi, iletilmesi ve dağıtım sırasında akım ve gerilimin 50 Hz temel frekansda olması istenir. Gerilim dalga şeklinin sinüs formunda meydana gelen sapmalarla harmonikler oluşur. Önemli harmonik kaynakları generatörler, transformatörler, redresörler, güç elektroniği elemanları ve arkla çalışan işletme araçlarıdır. Harmoniklerin, şebeke gerilim şeklinin bozulması gibi kötü etkileri vardır. Ayrıca sayaçlar, kontrol cihazları ve mikro işlemciler, izolasyon, rezonans, telekomünikasyon, kompanzasyon, kondansatörler, enerji sistemleri, direnç, reaktans ve kayıplar üzerine de etkisi vardır.

Anahtar Kelimeler - Harmonikler, Dağıtım Sistemlerinde Harmonikler.

Abstract - In this study, harmonics and their effects to the network and surrounding consumers are investigated theoretically and the solutions which avoid these negative effects of the harmonics are explained. The voltage and current must be equal to the 50 Hz frequency sinusoidal waveform during the production, transmission and distribution of energy in electrical systems. Harmonics form because of the deviations of the sinusoidal form of voltage waveforms. The most important harmonic sources are generators, transformers, convertors, power electronics elements and arc operated devices. Harmonics have same bad effects as voltage distortion. It has also effects on power measurement, control devices, microprocessors, isolation, resonance, capacitors, telecommunication and energy systems, resistance, reactance and losses.

Key words - Harmonics, Harmonics in Distribution Systems.

E.Yanıkoğlu, Z.Özata; SAÜ. Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü/Sakarya
z_ozata@hotmail.com

I. GİRİŞ

Genel olarak enerji dağıtım sistemi, ana istasyon (transformatör merkezi), alt istasyonlar (dağıtım merkezleri) ile bunlara bağlı dağıtım hatları ve yüklerden oluşur. Bu istasyonlarda bağlama elemanları ile, ölçü, kontrol ve koruma cihazları bulunur. Son yıllarda, enerji dağıtım sistemi üzerinde otomatik besleme, yük yönetimi ve gözetimi, uzaktan sayaç okunması ve benzeri işlemlerin gerçekleştirilerek sistem otomasyonunun sağlanması yönünde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu arada otomasyonun sağlanmasında enerji dağıtım hatlarının aynı zamanda iletişimde kullanılabilmesini sağlamak için araştırmalar devam etmektedir. Bütün bu çalışmaların amacı, sistemi daha verimli, kullanışlı ve ekonomik hale getirmeye yöneliktir [1].

Gelişen elektrik-elektronik teknolojisi, elektrik tesislerinin gerek çalışma karakteristiklerini gerekse işletme giderleri açısından sanayide önemli yararlar sağlanmasına yol açmıştır. Buna karşılık anılan yeni tesis ve yöntemlerin şebekeye ve civar tüketicilere yaptığı olumsuz etkilerde artmıştır. Bu olumsuz etkiler kısaca, gerilim dalgalanmaları, simetrisizlik ve harmoniklerdir. Bu çalışmada yalnızca harmonikler ele alınacaktır.

Elektrik şebekesinde üretilen gerilimin sinüzoidal olduğu kabul edilmektedir. Buna karşılık iletim ve dağıtım hattı ile yükler, gerilimin dalga şeklinin saf sinüs şeklinden sapmasına yol açabilir. Gerilim dalga şeklindeki bozulmanın en önemli nedeni, uç gerilimi ve akımı arasındaki bağıntıda lineer olmayan yüklerdir. Bu tür nonlineer yükler, 50 Hz temel frekanslı aktif ve reaktif güç tüketen, harmonik frekanslı akımlar üreten tüketiciler olarak kabul edilirler. Bu tüketicilerin ürettiği harmonik frekanslı akımlar devrelerini şebeke ve civar tüketiciler üzerinden kapatarak harmonik frekanslı gerilimler meydana getirirler. Bu gerilimler ise başlangıçta saf sinüs kabul edilen gerilimin dalga şeklini bozarlar. Bu bozulma, diğer bir deyişle şebekenin değişik noktalarındaki gerilim harmoniklerinin değeri; yükün meydana getirdiği harmonik akımının değerine civar tüketicilerin ve şebekenin parametrelerine doğrudan doğruya bağlıdır [2].

Güç şebekesindeki harmoniklerin meydana getirdiği sorunlar uzun yıllardır bilinmektedir. Bu sorunlar senkron ve asenkron makinalardaki ısınma ve salınımlar, telefon hatlarındaki karışmalar ve güç kondansatörlerinin arızalanması olarak biliniyordu. Günümüzde ise, gelişen güç elektroniği teknolojisi, harmoniklerin artmasına yol açmıştır. Sanayide kullanılan ve harmonik üreten yeni aygıtlara ek olarak elektrik makinalarının ve cihazlarının tasarım ilkelerindeki değişiklikler de şebekedeki harmoniklerin artmasına yol açmıştır.

Elektrikli aygıtlara en büyük zararı, değeri 5 kHz den küçük olan harmoniklerin verdiği kabul edilmektedir. Geçmişte, şebekede harmonik meydana getiren etkenler ve bunların meydana getirdiği harmoniklerin mertebeleri küçüktü. Bugün ise, güç elektroniğinde meydana gelen gelişmeler, harmoniklerin şebekede ve tüketicilerde meydana getirdikleri zararların artık kabul edilemez boyutlara vardığını göstermektedir.

I.1. Şebekede Harmonik Kaynakları:

Şebekede harmonik meydana getiren etkenler ve aygıtlar iki grupta incelenebilirler.

1. Klasik harmonik kaynakları
2. Yeni harmonik kaynakları

I.1.1. Klasik Harmonik Kaynakları:

- a) Elektrik makinalarındaki diş ve olukların meydana getirdiği harmonikler,
- b) Çıkık kutuplu senkron makinalarda hava aralığındaki relüktans değişiminin oluşturduğu harmonikler,
- c) Senkron makinalarda ani yük değişimlerinin meydana getirdiği magnetik akı dalga şeklindeki bozulmalar,
- d) Senkron makinelerin hava aralığındaki döner alanın harmonikleri,
- e) Doyma bölgesinde çalışan transformatörlerin mıknatıslanma akımları,
- f) Şebekedeki nonlineer yükler. Doğrultucular, eviriciler, kaynak makinaları, ark fırınları, gerilim regülatörleri, frekans çeviriciler vs.

I.1.2. Yeni Harmonik Kaynakları:

- a) Enerji tasarrufu amacı ile kullanılan aygıtlar ve uygulanan yöntemler,
- b) Motor hız kontrol düzenleri, özellikle elektrikli demiryolu tesisatı,
- c) Doğru akım ile enerji nakli,
- d) Yeni enerji kaynakları kullanılarak elektrik enerjisi üreten tesislerin şebekeye bağlanması,
- e) Statik Var kompanzatörleri,

- f) Kesintisiz güç kaynakları,
- g) Direkt frekans çeviricisi ile beslenen momentli b hızı küçük motorlar,
- h) Endüstriyel ısıtma amacı ile fırıncılarca "inter cycle" kontrol tekniğinin kullanılması,
- i) Elektrikli taşıtların yaygınlaşması ve bunların şarj devrelerinin etkileri.

Bu açıklamalar doğrultusunda "Elektrik sistemleri üzerinde bozucu etki yaratan alıcı türleri" Tablo 1 "Şebeke gerilim dalga formunun bozulması" kaynaklı olumsuzluklar" Tablo 2'de ve "Bu olumsuzlukların etkileri azaltma çareleri" Tablo 3'de gösterilmiştir [3].

Tablo 1 Elektrik sistemleri üzerinde bozucu etki yaratan alıcı türleri

No	Alıcı Türleri	Bozulmanın Türü		
		Gerilim Dalgalanması	Dengesizlik(*)	Harmonik
1	Önemli yükler (Açma-Kapama)	+		
2	Büyük motorlar	+		
3	Işık rampaları (Diskotekler)	+		
4	Kaynak makinaları	+	+	+
5	Dirençli döküm fırınları		+	
6	İletkenli ısıtma tesisatları		+	
7	Ark ısıtıcıları		+	
8	Kül ergitme fırınları		+	
9	Elektrot imalatlarına ait rezistanslı fırınlar		+	
10	Presler			
11	Lineer olmayan akım-gerilim özelliği gösteren sistemler yada düzenler			
12	Ark ocakları	+	+	+
	Endüksiyon ocakları		+	+
	Doymuş demir çekirdekli endüktanslar			+
	Doymuş trafolar			+
	Güç elektroniğinde, sinüs biçiminde olmayan akımları oluşturan düzenler			
	Statik konvertörler			+
	Frekans konvertörleri			+
Dimmerler			+	
Televizyonlar			+	

(*) Orta ve yüksek gerilimde görülen dengesizlik içindir

Tablo 2 Şebeke gerilim dalga formunun bozulmasından kaynaklanan olumsuzluklar

Bozulma Türü			Olumsuzluklar
Gerilim Dalgalanması	Dengesizlik	Harmonik	
+			Fliker
+		+	Cihaz ve teçhizat zorlanması
	+		Trafo geçiş gücünün izafi olarak azalması
	+		Besleme sistemi kayıplarının artması
	+	+	Asenkron ve senkron makinalarda kayıpların artmasına bağlı olarak belirli veya kritik ısınmaların meydana gelmesi
+	+		Kumanda ve regülasyon sistemlerinin etkilenmesi
		+	Isınmalar sonucunda motor ve kondansatör ömrünün kısalması
		+	Kumanda elektroniğinde bozukluklar
		+	Merkezi ve uzaktan kumanda alıcılarının hatalı çalışması
		+	Şebekede beklenmeyen ve önceden kestirilmeyen rezonansların oluşması
		+	Trafoarlarda kayıpların artması ve izolasyonun zorlanması
		+	Akkor flemalı lamba ömürlerinin kısalması
		+	Kesici kesme kapasitesinin etkilenmesi
		+	Ölçü sistemlerinin ve sayaçların hatalı çalışması

Tablo 3 Bu olumsuz etkileri azaltma çareleri

Gerilim Dalgalanması	Dengesizlik	Harmonik	Ara Harmonik	
* Tesis bağlantısını yeterli kısıdevre gücü olan noktada yapmak veya noktanın kısıdevre gücünü arttırmak				
Reaktif güç kompensasyon tesisi kurmak (Gerilim dalgalanmasını azaltacak düzende)	Bir fazlı yüklerin her üç faz üzerinde dengeli dağılmasını sağlamak	Rezonans yaratan kompensasyon cihazlarını azaltmak	Mekanik kaynaklılar için, karşıt ağırlık veya volanlar yardımı ile genlikleri azaltılması	
ÖZEL ÖNLEMLER	MOTORLARDA	Kondansatör ve endüktanslarda dengeleme tesisatı kurmak	Konvertörlerde filtre kullanarak ara harmoniklerin azaltılması	
	Akım sınırlayıcılar kullanmak	Statik konvertörler arasında çapraz bağlantı yapmak	Motor rejiminin yavaş değişimini temin etmek (Anma akımının sınırlandırılması)	
	Yüzey etkili rotorlu motorları kullanmak (çok büyük reaktanslı)		Değişik bağlantılı trafolar kullanmak	
	İşletme koşullarını iyileştirmek		Bazı durumlarda darbeli kumanda yerine dalga dizili kumanda kullanmak	
	Yük dalgalanmasını azaltmak (Volan ve kütle kullanma)		Şebeke işletme şemasını değiştirerek rezonans koşulu dışına çıkmak	
	KAYNAK MAKİNALARINDA			
	Gerilim değişikliğinin eş zamanlılığını önlemek			
	DC akımlı makine kullanmak			
	ARK FIRINLARINDA			
	DC akımlı makine kullanmak			
Elektrot kumandalarını değiştirmek				
Not: Yukarıdaki önlemler Fliker ve harmonik denetiminin olumlu bulunması halinde geçerlidir.				

II. ENERJİ DAĞITIM SİSTEMİ

II.1. Enerji Dağıtım Sistemi

Ülkelerin yaşam standartlarının yükselmesine paralel olarak gelişen endüstriyel teknolojilerin ihtiyaç duyduğu enerji miktarı, her geçen gün artmaktadır. Yeni enerji kaynakları bulmak, enerjileri birbirine dönüştürmek, verimliliği ve güvenilirliği arttırmak, bu arada da çevreyi gerek kirletmemek, gerekse doğal yapısını bozmayaya çalışmak bütün dünyanın uğraştığı bir problemdir. Bunun için en çok kullanılan ve en elverişli enerji türü elektrik enerjisidir.

Bir elektrik enerji sistemi üretim, iletim ve dağıtım olmak üzere başlıca üç bileşenden oluşur [4]. Şekil 1'de basit bir elektrik enerji sistemi örnek olarak verilmiştir. Üretim tesisleri; hidrolik, termik ve nükleer santraller gibi bilinen klasik santrallerden oluşur. Ayrıca bunların dışında magnetohidrodinamik, güneş enerjisi, gel-git enerjisi, rüzgar enerjisi gibi yeni kaynaklarda yer almaya başlamıştır. Üretim tesislerinde 11-25kV gerilimle üretilen elektrik enerjisi transformatörler aracılığı ile 154-380 kV ve daha yüksek iletim gerilimlerine dönüştürülerek tüketim merkezlerine iletilir.

Üretilen enerjiyi dağıtım tesislerine taşıyan veya diğer üretim tesislerine bağlayan iletim hatları ile, seri ve şönt kompanzasyon tesisleri, iletim tesislerini oluştururlar.

Dağıtım tesisleri ise, bir tüketim bölgesine iletilen elektrik enerjisini, tüketicilere kadar ulaştırmak için yapılan tesislerdir. Tüketim bölgesi şehir, kasaba, köy, sanayi tesisi ya da fabrika olabilir. Dağıtım sistemi genellikle bir veya iki gerilim kademeli orta gerilim şebekesi, transformatör merkezleri, alçak gerilim

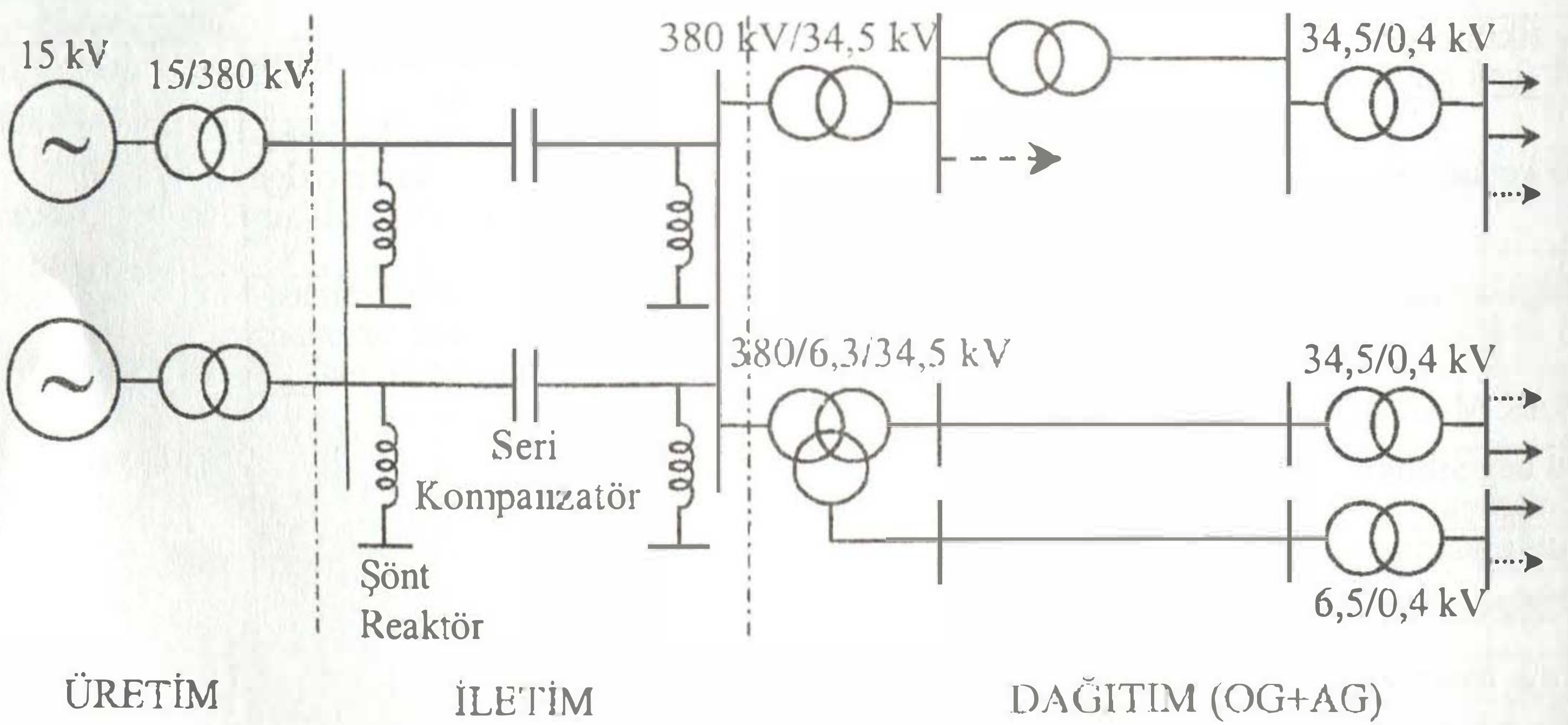
şebekeleri ile yük ve besleme bağlama elemanları kontrol ve koruma cihazlarından oluşurlar.

Alçak gerilim üç fazlı dağıtım hatları, üç fazın iletkeni bir genel aydınlatma ve bir de nötr iletkeni olmak üzere beş iletkenden oluşur.

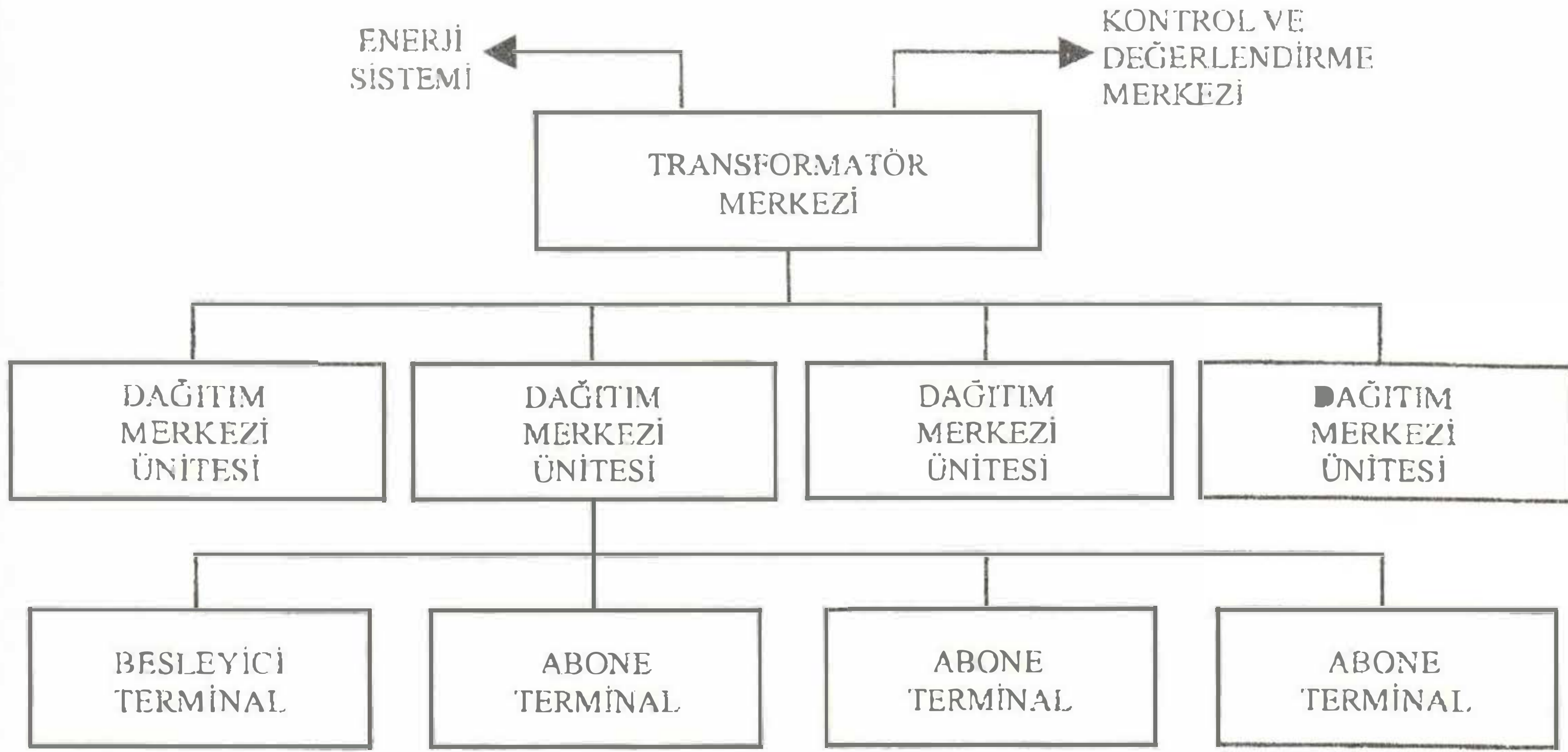
Şekil 2'de enerji dağıtım sisteminin şematik yapısı verilmiştir. Gerilimin yükseltilmesi veya alçaltılması için gelen ve giden hatların baralar üzerinden birbirlerine transformatörlere bağlanması ve ayrılmaları, transformatörlerin ve hatların kontrol, kumanda ve korunması görevlerini yapmak üzere kurulan transformatör merkezidir. Eğer merkezde, transformatör olmayıp, sadece gelen ve giden hatların baralar üzerinden birbirlerine bağlanması ve ayrılması, hatların kumanda kontrol ve korunması işlemleri yapıyorsa bu dağıtım merkezi bir alt istasyon ünitesidir.

Transformatör ve dağıtım merkezlerinde bağlama transformatörleri, bağlama cihazları, akım ve gerilim ölçme transformatörleri ve çoğunlukla sekonder devreye kumanda, kontrol, ölçme ve koruma cihazları bulunur. Ayrıca bu merkezlerde bağlama cihazları olarak ayırıcılar, sigortalı ayırıcılar, yük ayırıcıları ve kesiciler kullanılır.

Enerji dağıtım sistemlerinde yükler; direnç, endüktif veya kapasitans özelliklerini taşıyabilir. Uygulamalarda dağıtım sistemlerine ait hatlarda daha endüktif yüklerle karşılaşmaktadır. Tek fazlı sistemlerde akkor flemanlı lambalar, ark lambaları ve kısa devre direnç özelliği gösteren yükler olarak kabul edilir. Bu dışındaki yükler yani flüoresan, civa buharlı ve sodiyum buharlı lambalar ile bütün motorlar bir endüktif yük durumundadırlar.



Şekil 1 Elektrik enerji sistemi



Şekil 2 Enerji dağıtım sisteminin şematik yapısı

Açık gerilimli hatlarla hattın kapasitesi ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Yüksek gerilimlerde hatların kapasitelerini de ayrıca değerlendirmek gerekir. Eğer dağıtım hatları yalnız yeraltı kablolarından yapılmışsa, hattın direncinin yanında kapasitif ve endüktif reaktansları da hesaplanmalıdır [5].

III. HARMONİK ANALİZİ

Alternatif akım tesislerinde elektrik enerjisinin üretilmesi, iletilmesi ve tüketilmesi esnasında gerilimin ve akımın tam sinüs şeklinde olması arzu edilir ve normal şebeke frekansı 50 Hz dir. Fakat bazı yan tesirler ve bozucu olaylar yüzünden gerilimin ve akımın şekli bozulur ve sinüs formundan ayrılır. Gerilimin ve akımın sinüs şeklinde olmaması, enerji tesislerinde birçok zararlı tesirlere yol açarlar.

Güç sistemindeki akımı ve gerilimlerin harmonik içeriği sabit değildir. Doğrusal olmayan yüklerin sistemdeki dağılımından, kondansatörlerin devreye girip çıkmasından etkilenir. Ayrıca, bir güç sisteminde değişik tipte ve çok sayıda yüklerin bulunması, harmoniklerin meydana getirdiği bütün bozucu etkileri ifade edebilecek yalnız bir ölçüt geliştirilmesini zorlaştırmaktadır.

Harmonik; frekansı, temel frekansın tam katı olan ve sinüs biçiminde değişen dalgadır. Genel olarak bilindiği gibi, sinüs şeklinde olmayan herhangi periyodik bir fonksiyon, fourier serisine göre, sonsuz sayıda harmoniklerin toplamına eşittir.

Bozulmuş periyodik bir dalga şeklinin harmoniği Fourier serisi ile açıklanabilir.

III.1. Fourier Analizi

Fourier analizinin amacı, rasgele periyodik bir işareti bileşenlerine ayırmaktır.

Periyodik bir fonksiyonun Fourier serisi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$X(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \Pi \cdot n \cdot t}{T}\right) + b_n \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \Pi \cdot n \cdot t}{T}\right) \right]$$

Bu ifade, periyodik bir fonksiyonun "frekans domenindeki" gösterilişidir.

Burada a_0 , $X(t)$ fonksiyonunun ortalama değeri, a_n ve b_n ise serinin katsayılarıdır. n. harmonik vektörüne karşılık gelen

Genlik;

$$A_n = \sqrt{(a_n^2 + b_n^2)} \quad \text{ve}$$

Faz Açısı;

$$\phi_n = \arctan\left(\frac{b_n}{a_n}\right)$$

ile ifade edilir.

Verilen bir $X(t)$ fonksiyonu için, a_0 sabit katsayısı bir T periyodu üzerinde $-T/2$ 'den $T/2$ 'ye kadar denklemin her iki yanının integre edilmesiyle elde edilir. Sağ taraftaki ifadeler integral sonucunda sıfıra eşit olduğundan, Fourier serisinin sabit terimi a_0 aşağıdaki denklem ile verilir.

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} X(t) \cdot dt$$

Bu ifade, dalga şeklinin T periyotları ile bölünmüş, -T/2'den T/2'ye kadar olan X(t) eğrisinin altındaki alanıdır.

$$a_n \text{ katsayısı, } \cos\left(\frac{2 \cdot \Pi \cdot n \cdot t}{T}\right) \text{ ile } X(t) \text{ denkleminin}$$

çarpılması sonucu elde edilir. Burada, n herhangi bir pozitif tamsayıyı gösterir. Bu ifade integral alındıktan sonra aşağıdaki hale dönüşür.

$$a_n = \frac{2}{T} \cdot \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} X(t) \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \Pi \cdot n \cdot t}{T}\right) \cdot dt$$

Benzer şekilde b_n katsayısını bulmak için de, X(t)

$$\text{denklemini ile } \sin\left(\frac{2 \cdot \Pi \cdot n \cdot t}{T}\right)$$

ifadesi çarpılarak integre edilirse aşağıdaki hale dönüşür.

$$b_n = \frac{2}{T} \cdot \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} X(t) \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \Pi \cdot n \cdot t}{T}\right) \cdot dt$$

IV. HARMONİK FİLTRELER

Şebekeler kendi dağıtım sistemlerinde harmonik filtreleri kullanırlar. Tüketiciler ise harmonik filtrelerini, kendi tesislerinde elektrikli cihazlarının aşırı ısınmaması ve rezonans devrelerinin ayarlarının bozulmaması için harmonik akımlarından korunmak amacıyla kullanırlar. Harmonik filtreler, elektriğin "şok emicileri" dir ve birlikte bağlanmış bobinler ve kondansatörler ya harmonik akımlara engel olmak ya da toprağa şöntlenme prensibine göre çalışırlar. Filtreler, belli frekansları geçiren ya da söndüren bobinler ve kondansatörler içerirler çünkü frekanstaki bir yükseliş kondansatörün empedansını azaltırken, bobinin empedansını yükseltir. Harmonik filtre konfigürasyonlarının bir çok tipi mevcuttur. Başlıca iki temel tipi ise seri ve şönt filtrelerdir.

Seri filtrelerde; filtre, birbirine paralel bağlı bobin ve kondansatördür fakat yüke seri bağlıdır. Bu tip filtre, harmonik akımlar için yüksek empedanslı yol sağlar ve güç kaynağından harmonik akımların ulaşmasına engel

olurken temel 50 Hz'lik akımın aradan geçmesine verir. Bu tip konfigürasyonun tüm yük akımını taşıması dezavantajdır.

Diğer tip harmonik filtre konfigürasyonu şönt filtrelerdir. Bu tip filtrede, bobin ve kondansatör birbirine bağlıdır fakat yüke paralel veya şönt bağlıdır. Bu tip konfigürasyonu, harmonik akımlar için düşük empedansı sağlarlar ve onları zararsızca toprağa iletir. Şönt filtre kullanımı çok yaygındır ve ucuzdur çünkü filtre, tüm yük akımını taşımak zorunda değildir. Bununla birlikte eğer şönt filtreler dikkatli seçilmezlerse, mevcut elektrik komponentleriyle rezonansa gelebilir ve harmonik akımlara neden olabilirler.

IV.1. Pasif Filtreler

Pasif harmonik filtreleri statik bobin ve kondansatörler içerirler. Statik bobin ve kondansatörler inductans (Henry) ve kapasitans (Farat) değeri değiştirmezler. Belirli harmonik akımlarını tıkama amacıyla tasarlanmışlardır. Pasif filtreler olarak anılmaktadırlar çünkü frekanstaki değişime cevap vermezler. Küçük fişli cihazları ve büyük sert kablolu cihazları içerirler. Sık sık harmonik akımlara neden olan ayarlanabilir hız sürücüler ve flüoresant lambalar elektrikli cihazlara bağlanırlar. Harmonik filtreler bazen "kapan ya da tıkayıcı" olarak anılmaktadırlar. Eğer harmonik akım değişimi nedeniyle harmonik akımlar değişirse pasif filtreler etkilerini yitirebilirler. Bu gibi durumlarda aktif filtreler harmonik akım değişimlerine yanıt verebilirler.

IV.2. Aktif Filtreler

Aktif harmonik filtreler bazen "aktif güç sağlayıcıları" (AGHS) olarak anılmaktadırlar. Aktif filtreler, pasif filtrelerden harmonik akımları tıkama ve yönlendirme noktasında ayrılırlar. Aktif harmonik filtreler, harmonik akımları algılamak, monitörize etmek ve ters harmonik akımlar yaratmak amacıyla kullanılan elektronik komponentler (köprü çeviriciler, doğrultucular) içerirler. Daha sonra ters harmonik akım yük tarafından üretilen harmonik akımı yok etme amacıyla şebekeye enjekte ederler. Ayrıca kaynak gerilim harmoniklerini temizlerlerken, gerilim düşümü ve gerilim artışlarını da regüle ederler. Geçmişte aktif filtrelerin maliyetleri oldukça yüksekken, giderek fiyatları düşmüş ve düzeye inmektedir. Aktif filtreler değerleri bilinmeyen veya değişken harmonik akımları kompanze etmede etkilidirler.

IV.3. Diğer Harmonik Çözümler

Harmonik problemlerinden korunmak için birinci tip harmonik akımlardan etkilenmeyen cihazlar tasarlanmaktadır. Elektrikli cihaz, harmonik akımların etkisine dayanacak şekilde tasarlanabilir. Mesela elektrik mühendisi, 3 ve 3'ün katları (3, 6, 9, 12 ...) harmonik

rafından oluşan ilave akımları da taşıyabilecek kesiti yeterince büyük iletkenler tasarlayabilir. Transformator mühendisleri harmonik akımların etkilerine dayanabilecek transformatorler tasarlayabilirler.

Harmonik problemlerinden korunmak için ikinci yol, harmonik akının kaynağı veya harmonik akının yükselmesine neden olan cihazın uygun tasarlanması ve belirlenmesidir. Mesela ayarlanabilir hız sürücüleri, çok yaygın nonlinear harmonik akım kaynaklarıdır. Normalde ki tip ayarlanabilir hız sürücüsü vardır, 6 pulse ve 12 pulse. IEEE 519-1992; 12 pulse ayarlanabilir hız sürücülerine, 6 pulse ayarlanabilir hız sürücülerinden daha yüksek harmonik akım seviyelerine izin vermektedir. Ayarlanabilir hız sürücüsü satın alırken, 12 pulse ayarlanabilir hız sürücüsü belirlenir ya da üçgen yıldız bağlı transformatorle, üçgen-üçgen bağlı transformator paralel bağlanarak 6 pulse'lı sürücüyü, 12 pulse sürücüye çevirecek düzenle daha yüksek harmonik akım seviyesi avantajı elde edilebilir.

Türeticiler ve tüketiciler güç kalitesi problemlerine engel olmada, mevcut harmoniklerle rezonansa gelmeyecek kondansatörler belirlemekle ilgilenmektedirler. Rezonans noktası belirlenerek ve rezonans noktasındaki KVAR değerinden daha küçük ya da daha büyük değerlerde bir kondansatör kullanılarak harmonik akımların değerlerinin yükselmesine engel olunabilir. Şebekede yer alan kondansatör grupları, tüketici tarafındaki kondansatör grupları ile etkileşebilir, bu yüzden aynı anda anahtarlanmamalarına özen gösterilmelidir.

IV.4. Topraklama ve Kablolama Çözümleri

Günümüzde yapılan anketler göstermektedir ki; topraklama ve kablolama, güç kalite problemlerinin % 80 - % 90'nına neden olmaktadır. Bununla birlikte bir çok tüketici, tesislerindeki uygun olmayan topraklamayı ve kablolamayı gözden kaçırmaktadır. Pahalı güç belirleme cihazları satın almadan ve kurmadan önce daima tesislerdeki topraklama ve kablolama dikkatle incelenmelidir.

IV.5. Harmonik Analizörleri

Harmonik analizörleri, bir çok yeteneğe sahiptir. Harmonik dalga formlarını yakalarlar ve ekranlarında gösterirler. Temel dalga formunun, yüzde cinsinden toplam harmonik distorsiyonunu hesaplarlar. Ayrıca ilgili frekans spektrumunu da ölçerler; mesela 50. harmoniğe kadar harmonik frekansı, akım ve gerilimle ilişkilidir. Bar grafikte, harmonik frekansını veya sinyalin nümerik değerini göstermektedir. Bir kısmı üç fazlı akım ve gerilim ölçerlerken, bazıları tek fazlı akım ve gerilim ölçerler ama hepsi güç faktörünü (Power Factor) ölçerler. Gücün ne kadarının ölçüleceğini belirleyen güç faktörü, kullanışlı çalışma için verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Harmonik analizörleri, depoladıkları

bilgileri bilgisayara daha detaylı bir analiz yapılabilmesi için gönderebilmektedir ve bu özellik onları harmonik güç kalitesi problemlerinin çözümünde güçlü cihazlar yapar.

IV.6. Harmonik Bozulma

UPS (Uninterrupted Power Supply – Kesintisiz Güç Kaynağı) içeren bilgisayarlar, ayarlanabilir hız sürücülü motorlar ve elektronik balastlı flüoresant lambalar gibi çeşitli nonlinear yükler harmonik üretirler ve dağıtım transformatorleri ile birleşerek şebekenin dağıtım sistemine akarlar. Ayrıca yakınlarındaki tüketici dağıtım sistemlerine de akabilirler ve bu harmonik akımlar şebeke ve de tüketiciler için ilave bir maliyete neden olurlar [2].

V. SONUÇLAR

Harmonik; sinüs şeklindeki 50 Hz temel frekanslı kaynak geriliminde meydana gelen sapmalarla belirginleşen bozulmalardır. Gerçekte bozulmaya uğramış kaynak gerilim ve akım dalgaları, şebeke temel frekansı ve temel frekansın katlarından oluşmuş toplam dalga şekillerinden ibarettir.

Nonlinear yüklü tüketiciler genellikle harmonik üretirler. Bilinmektedir ki; harmoniklerin fiyat etkilerini belirlemek, elektrik kesintilerinin fiyat etkilerini belirlemek kadar kolay değildir. Maliyet; tüketicilere, harmonik akımlar normal yüke eklendiğinde ve onların dağıtım sistemindeki kayıpları ayrıca yüklenmeyi arttırdıklarında toplam olarak gelmektedir. Artan kayıplar iletkenleri, transformatorleri ve motorları içeren sistem kapasitesini azaltır. Artan yüklenme transformatorler ve motorlar gibi güç cihazlarında ısı üretmektedir. Harmoniklerin diğer fiyat etkileri; gürültü ve salınım, motor torkundaki (moment) azalma, güç faktörünün düşmesi, rölelerin performanslarının düşmesi, sayaçlardaki yanlış okunmalar gibi olumsuz etkileri içermektedir.

Harmoniklerin en önemli tesirlerinden biri de rezonans olayıdır. Genellikle elektrik tesislerinde, mesela doğrultucu gruplarının veya ark ocaklarının bağlı buldukları baralara reaktif güç kompanzasyonu maksadı ile kondansatör grupları da paralel bağlanırlar. Tesis elemanlarının tabii olarak mevcut olan X_L endüktif dirençlerine ilave olarak X_C değerindeki kompanzasyon kondansatörlerinin gelmesi, bilindiği şekilde bir titreşim devresi oluşturur. Bunlar bir taraftan normal şebeke frekanslı gerilim tesiri altında oldukları gibi diğer taraftan harmonik üreticiler tarafından harmonik akımları ile beslenirler. X_L ve X_C elemanlarının bağlı buldukları duruma, akım ve harmonik kaynakları bakımından bağlı buldukları

yerlere göre bunlar bir seri veya paralel titreşim devresi teşkil ederler. En basit rastlanan ve en önemli olan devre paralel titreşim devresidir. Bu gibi devrelerde, bazı özel şartların gerçekleşmesi halinde, rezonans olayları meydana gelir. Rezonans olayları, başta kondansatörler olmak üzere diğer devre elemanlarının da zarar görmesine yol açarlar. Rezonans olaylarının meydana gelmesine engel olmak ve tesislerin sürekli olarak güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için harmoniklerin ortadan kaldırılması gerekir.

Bugün harmoniklerin üretildiği kompanzasyon tesislerinde, mesela ark fırınlarını ve büyük doğrultucuları besleyen şebekelerde, harmonikleri ortadan kaldırmak için filtre devrelerinden faydalanılır. Filtre devreleri kondansatörler ile bobinlerin seri veya paralel bağlanmaları ile elde edilirler. Fakat tesiste baş gösteren her bir harmonik frekansı için ayrı bir filtre devresine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle her geçen gün daha verimli ve kullanışlı filtre devrelerinin geliştirilmesine çalışılmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] WHANG, K.W., CAGLE, G.C., SMART, J.M., "The Power Distribution System as a Communication Medium for Load Management and Distribution Automation", GLOBECOM'83, IEEE Global Telecommunications Conference, Conference Record, San Diego, CA, pp.478-82. Vol.1, 28 Nov.-1 Dec.1983.
- [2] YÖRÜKÖREN, N., "Güç Sistem Harmonikleri ve Bu Harmoniklerin Elektrikli Ulaşım Sistemlerinde Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi", KO.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Kocaeli, Aralık 1993.
- [3] ÖZBULUR, V., "Güç Sistem Harmoniklerinin Bilgisayarlı Simülasyonu ve Ölçümü", Y. Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Temmuz 1991.
- [4] ALPERÖZ, N., "Elektrik Enerjisi Dağıtım", Nesil Matbaacılık Yayıncılık San. Tic. A.Ş., İstanbul, 1987
- [5] HENRIET, P., Çev. TARKAN, N., "Elektrik İletim Şebekelerinin İşletilmesi ve Korunması", İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi, İstanbul, 1982.