

# GÜÇ SİSTEM HARMONİKLERİNİN A.G. ŞEBEKE ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ VE KARŞI ÖNLEMLER

Ahmet ERSÖZ, M.Ali YALÇIN

**Özet** - Harmonik etkileri; son yıllarda güç elektroniğinin endüstride yaygın olarak uygulama bulması sonucunda dikkat çekmeye başlamıştır. Harmoniklerin yerel etkileri olduğu gibi şebekenin başka noktalarında da sorunlar oluşturduğu görülmektedir. Bu nedenle, harmonikler ve etkileri konusunda yoğun çalışmalar yapılmakta ve bazı sınırlamalar getirilmektedir. Bu çalışmada, harmonikler teorik olarak incelenmiş, harmonik üreten kaynaklar ve oluşan harmoniklerin şebeke etrafındaki tüketicilere olan etkileri ele alınmış, harmoniklerin analiz yöntemleri verilmiştir. Aynı zamanda harmoniklerin sınırlandırılması ve harmonik standartları ile harmoniklerin etkilerini azaltmanın yolları araştırılmış olup; harmonik filtre reaktörleri, aktif ve pasif filtreler incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler** - Güç sistem harmonikleri, harmonik kaynakları, harmonik analizi, harmonik standartları, harmonik filtre reaktörleri, aktif ve pasif filtreler.

**Abstract** - Recently, by the common use of power electronic drives in industry, the effects of harmonics have been growing interest. Harmonic effects appear not only locally but also appear in the other parts of the network. For this reason, many studies have been done to eliminate the effects of the harmonics, putting some restrictions to the consumers. In this study, theoretical concepts of the harmonics, harmonic sources, effects of the harmonics and analysis methods of harmonics on the network are examined respectively. At the same time, both harmonic restrictions, harmonic standards and the ways of being eliminated the effects of harmonics are dealt with and harmonic filter reactors, active-passive filters are examined, too.

**Key Words** - Power system harmonics, harmonic sources, harmonic analysis, harmonic standards, harmonic filter reactors, active and passive filters.

A.Ersöz, Sakarya Elektrik Dağıtım A.Ş. Tesis Müdürlüğü, Sakarya.  
e-mail: [ahmetersoz87@hotmail.com](mailto:ahmetersoz87@hotmail.com)  
M.A.Yalçın, Sakarya Üniversitesi, [yalcin@sakarya.edu.tr](mailto:yalcin@sakarya.edu.tr)

## 1.GİRİŞ

Harmonik; frekansı, temel frekansın tam katı olan ve sinüs biçiminde değişen dalgadır. Genel olarak bilindiği gibi, sinüs şeklinde olunan herhangi periyodik bir fonksiyon, fourier serisine göre, sonsuz sayıda harmoniklerin toplamına eşittir.  $f$  Frekansının tüm periyodik fonksiyonları,  $hxf$  frekansının ( $h$  bir tamsayıdır) sinüsoidal dalgalarının toplamı olarak hesaplanabilir.  $h$  harmonik sırasındır.

$$y(t) = Y_0 + \sum_{h=1}^{\infty} Y_h \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(2\pi \cdot h \cdot f + \varphi_h) \quad (1.1)$$

$$Y_{eff} = \sqrt{Y_0^2 + Y_1^2 + Y_2^2 + Y_h^2 + \dots} \quad (1.2)$$

THD (Toplam Harmonik Bozulması) faktörü sinya bozulmasını ölçer:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \left( \frac{Y_h}{Y_1} \right)^2} \quad (1.3)$$

Harmonikler ağırlıklı olarak, kaynak geriliminden farklı bir dalga formundan akım çeken doğrusal olmayan yüklerden kaynaklanır. Harmoniklerin spektrumu yükün niteliğine bağlıdır. Şebeke empedansları boyunca meydana gelen harmonikli gerilimler, aynı kaynağa bağlı diğer kullanıcıların da çalışmasını kesintiye uğratabilecek, bozulmuş gerilimlerden kaynaklanır. Farklı harmonik frekanslarındaki kaynak empedansının değeri işte bu nedenle gerilim bozulmasının sınırlanmasında çok önemli bir rol oynamaktadır [1].

Şebekedeki harmonik kaynakları [1,2,3]:

- Elektrik makinalarındaki diş ve olukların meydana getirdiği harmonikler,
- Çıkık kutuplu senkron makinalarda hava aralığındaki relüktans değişiminin oluşturduğu harmonikler,

- Senkron makinalarda ani yük değişimlerinin meydana getirdiği manyetik akı dalga şeklindeki bozulmalar,
- Senkron makinaların hava aralığı döner alanın harmonikleri,
- Doyma bölgesinde çalışan transformatörlerin mıknatıslama akımları,
- Doğrultucular, eviriciler, kaynak makinaları, ark fırınları, gerilim regülatörleri, frekans çeviriciler vs.
- Motor hız kontrol düzenleri, özellikle demiryolu tesisatı,
- Doğru akım ile enerji nakli,
- Statik Var kompanzatorleri,
- Kesintisiz güç kaynakları,
- Direkt frekans çeviricisi ile beslenen momentli büyük hızlı küçük motorlar,
- Endüstriyel ısıtma amacı ile fırıncılarca integral cyle kontrol tekniğinin kullanılması,
- Olasılıkla elektrikli taşıtların yaygınlaşması ve bunların akü şarj devrelerinin etkileri,
- Televizyon setleri, mikrodalga fırınlar, endüksiyon sıcak levhaları, bilgisayarlar, yazıcılar, fotokopi makinaları, dimmer anahtarları, evsel elektronik cihazlar, floresan lambaları gibi güç çeviricileri veya anahtarlama güç kaynaklı evsel yükler.

## II. HARMONİKLERİN YOLAÇTIĞI PROBLEMLER

### II.1 Transformatörler Üzerindeki Etkiler

Aynı zamanda harmonik üreticisi de olan transformatörler harmoniklerden iki şekilde etkilenir; birincisi, harmonik akımları, bakır kayıpları ve kaçak akı kayıplarını artırır. İkincisi ise harmonik gerilimleri histerisiz ve girdap akımlarını artırarak kayıpları büyütür ve yalıtımı zorlar. Bu kayıp artışları transformatörde ek ısınma olarak görülecektir. Bu da donanımın ömrünü kısaltmaktadır. Harmonikler, sistem kapasitesi ile transformatörün endüktansının belirlediği frekansta salınma neden olabilir. Ayrıca demir çekirdeğin titreşimlerinden ve transformatör sıcaklığının değişimlerinden kaynaklanan mekanik zorlanmalar da söz konusudur [4,5,6].

### II.2 Asenkron motorlar üzerine etkiler

Harmonik gerilim bozulması, transformatörlerde olduğu gibi motorlarda da girdap akım kayıplarının yükselmesine yol açar ve bu alanların her biri motoru ileri veya geri farklı hızda dönmeye zorlar. Kayıpların yükselmesinin

diğer bir nedeni de rotorda oluşan yüksek frekanslı akımlardır [1,4,5].

### II.3 Kondansatörler Üzerindeki Etkiler

Kapasitif dirençler, frekansla ters orantılı olarak azalır. Bu yüzden temel harmonikteki değeri  $X_C$  olan kapasitif direnç, harmonik mertebesi  $h$  olan bir akımda

$$X_{Ch} = \frac{X_C}{h} \quad (2.1)$$

değerini alır, yani akımın frekansı büyüdükçe kapasitif direnç küçülmektedir. Bunun sonucu olarak büyük harmonik frekanslarda kondansatörler daha büyük akımlar çekerler ve aşırı yüklenirler. Ayrıca kompanzasyon maksadı ile kullanılan kondansatörler sebebi ile belirli şartlarda akım ve gerilim rezonansları meydana gelebilir ki, bu da şebeke kısmı için zararlı sonuçlar verebilir [7].

### II.4 Devre Kesiciler Ve Sigortalar Üzerine Etkiler

Akımdaki harmonik bozulma, devre kesicilerin akımı kesme yeteneğini etkilemektedir. Bozulma, akımın sıfır geçişinde, temel frekanstaki normal sinüs dalgasına göre daha yüksek bir değişim hızına (daha yüksek bir  $di/dt$  oranına) yol açabilmekte, bu da sonuç olarak kesimeyi zorlaştırmaktadır. Devre kesicilerinin çalışmasındaki aksaklık, elektromanyetik endüksiyon bobininin harmoniklerin varlığında doğru çalışmamasından kaynaklanmaktadır. Bobin, arkın söndürüldüğü yer olan ark hücrelerine, süren manyetik alanı yaratmak için kullanıldığından, bunun çalışmasındaki anormallikler arkın yeniden tutuşmasına ve kesicinin yeniden kapanmasına yol açmaktadır. Literatürde bu olaya Reignition olayı denilmektedir.

Harmonik akımlar ilave ısınmalara neden olduklarından, sigortaların çalışma karakteristiklerinin değişmesine ve akımı zamansız kesmelerine yol açmaktadır [5].

### II.5 İletkenler Üzerindeki Etkiler

Harmonik akımlar iletkenlerde kayıpların dolayısıyla da ısınmanın artmasına neden olur. Harmonik akımlar iletkenlerde iki temel etki sonucunda ek ısınma meydana getirirler. Birincisinde, literatürde Skin Effect ve Proximity Effect olarak adlandırılan etkiler, akımın iletken içinde yeniden dağılımına neden olur. Akım iletkenin dışına doğru yoğunlaştığında, iletkenin direnci büyür. Skin Effect budur ve frekansla birlikte artar. Proximity Effect ise iletkenin içindeki akım dağılımının, komşu iletkenlerde akan akımın yarattığı manyetik alanlar tarafından etkilenmesi olayıdır. İkinci mekanizma ise, tek fazlı yükleri besleyen üç fazlı-dört telli sistemlerin nötr iletkenlerinde anormal ölçülerde büyük akımlara sebep olmaktadır. Bazı nonlinear elemanlar büyük değerde 3 ve 3'ün katları harmonik bileşenleri

içerir. Temel frekanstaki dengeli üç fazlı akımlar nötr iletkende akım yaratmazlar, ancak üç fazlı sistemlerde üçüncü mertebeden (3.,9.,15.,...) harmonikler nötr iletkende birbirini zayıflatmaz, tam tersine güçlendirmektedir. Harmonik mertebesi (h) için fazlar arasında  $h.120^\circ$  'lik faz farkı olduğundan 3 ve 3'ün katı harmoniklerin herbiri  $360^\circ$  'lik faz farkına yani birbirine eklenmesine neden olurlar. Bu nedenle, nötr akımı faz akımının 1,7 katına kadar çıkabilmektedir. Nötr iletkenleri faz iletkenleri ile aynı boyutlarda olduğundan bu durumda nötr iletkeni aşırı yüklenebilir. Bu soruna, en çok üç fazlı dağıtım sisteminin tek fazlı büyük yükleri beslediği ticari binalarda rastlanmaktadır. Söz konusu soruna karşı alınan en yaygın önlem nötr iletkenini, faz iletkenlerinin iki katı büyüklüğünde boyutlandırılmasıdır [5,6,8,9].

### II.6 Gerilim Düşümünün Artması Ve Fliker Olayı

Harmonik akımların frekansları, normal şebeke frekansı 50Hz'in h katlarına eşit olduğundan, bu akımlar karşısında generatör, transformatör ve hat reaktansları üzerinde meydana gelen gerilim düşümleri de h ile orantılı olarak artmaktadır. Bu gerilim düşümlerinin frekansları h ile orantılı olduğundan bunların normal gerilim ile birleşmesi sonucunda gerilim şekli bozulmaktadır [10].

### II.7 İzolasyon Delinmesi

Sinüs şeklindeki gerilim eğrisine eklenen gerilim harmoniklerinin meydana getirdiği iğne ucu şeklindeki sivri, çok kısa süreli gerilim yükselmeleri, örneğin gerilim rezonansı gibi hallerde makina ve transformatör sargılarının izolasyonu ve kondansatörlerin dielektrik maddesi için büyük tehlike oluşturmaktadır ve bazen izolasyonun delinmesine yol açabilmektedir. Buna karşılık mesnet, askı ve geçiş izolatörleri için bu gibi aşırı gerilimler hemen hemen hiçbir tehlike yaratmazlar [5,7].

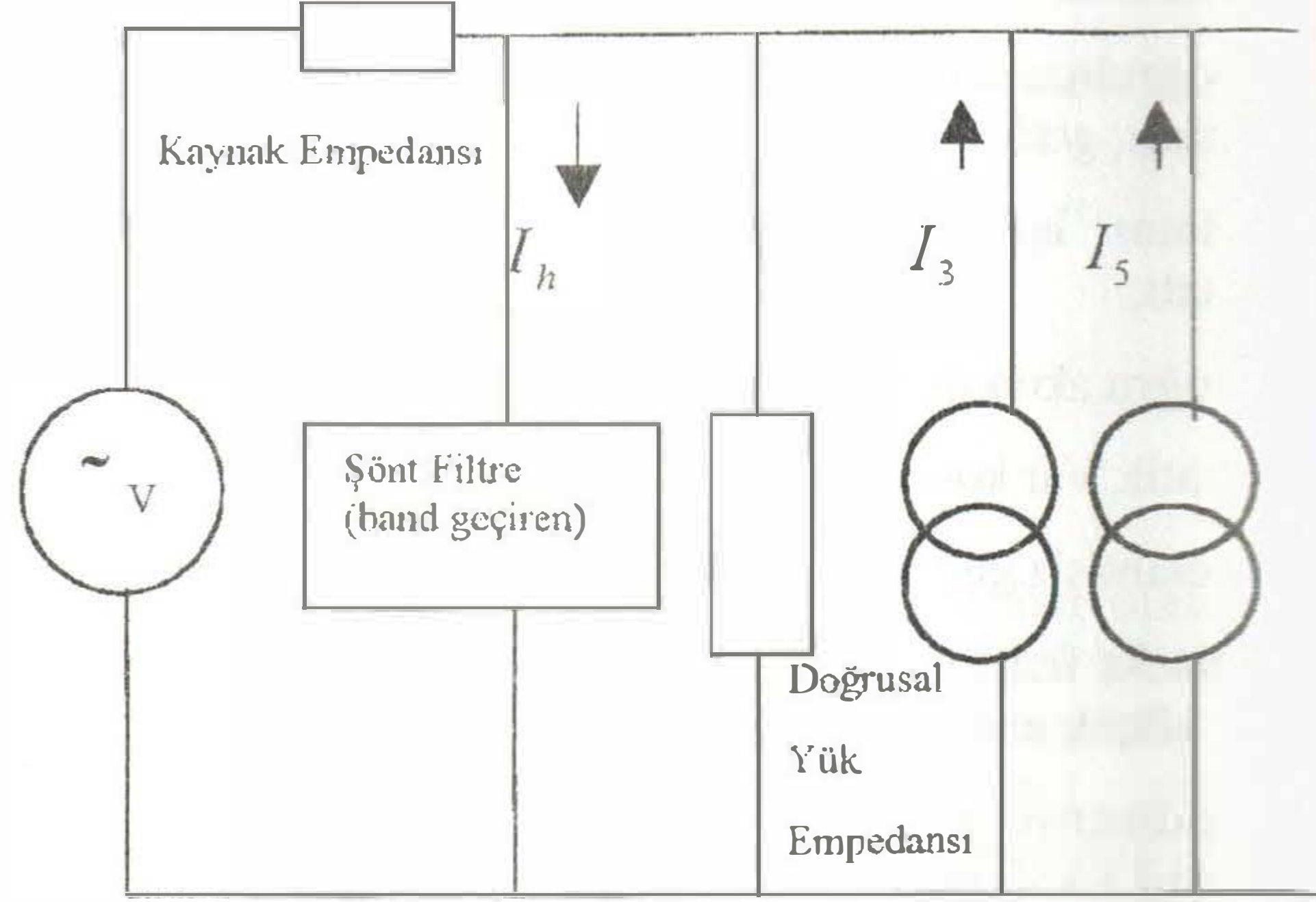
## III. HARMONİKLERİ AZALTICI ÖNLEMLER

Harmonik azaltma yöntemleri genel olarak ; pasif filtreler, 12 fazlı doğrultucu kullanma , aktif filtreler , izolasyon transformatörleri, kirletici yüklerin denetim altına alınmasıdır. Her yaklaşımın avantaj ve dezavantajları olup ideal tek bir çözüm söz konusu değildir.

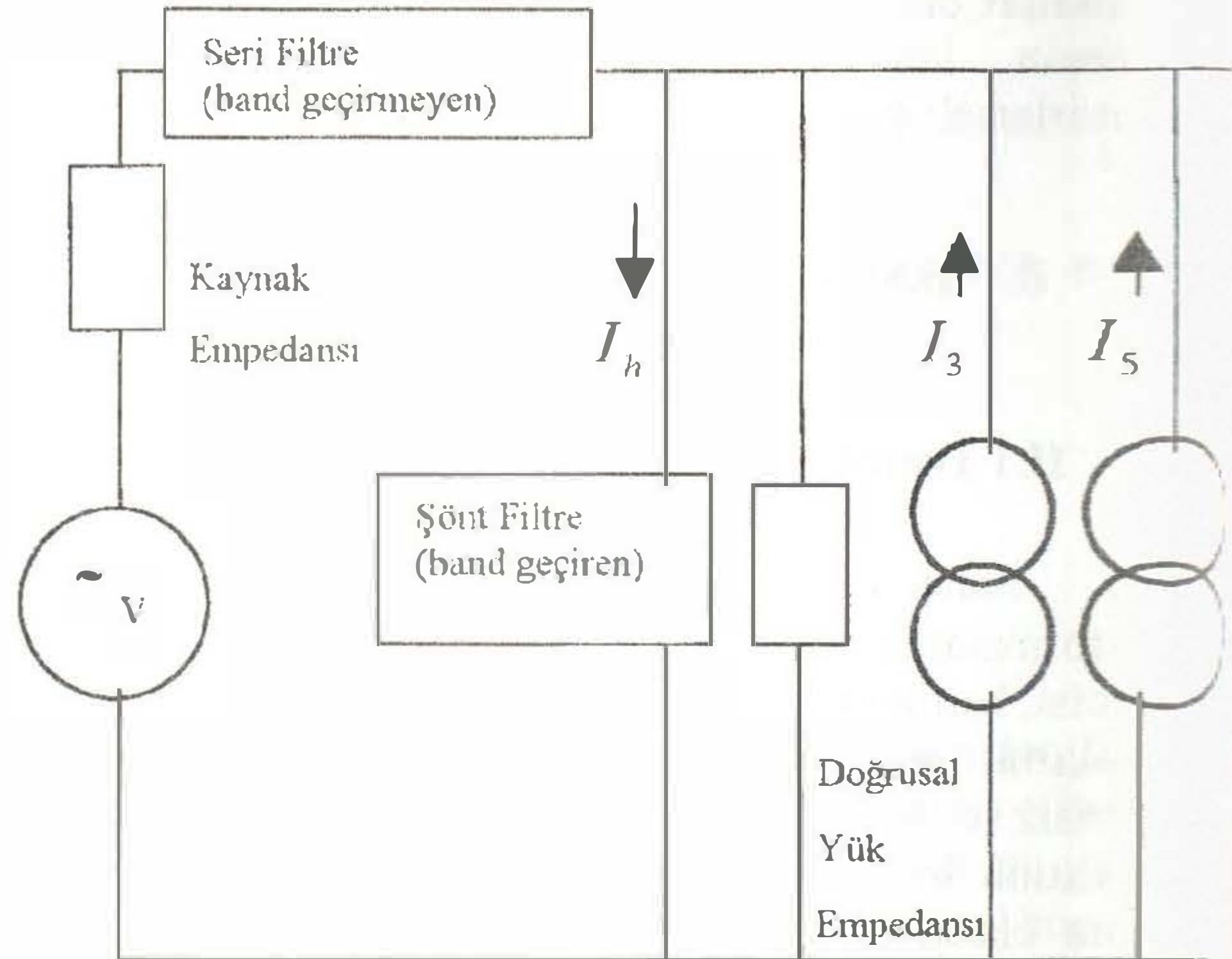
### III.1 Pasif Filtreler

Pasif filtreler, harmonik akımlar için düşük empedanslı devreler olarak kullanılırlar, harmonik akımlar besleme sisteminde değil filtre içinde dolaşmaktadır (Şekil 1). İhtiyaçlar doğrultusunda tek bir harmonik için veya geniş bir harmonik band aralığı için filtre tasarımı yapılabilir.

Bazı hallerde, Şekil 2'de görüldüğü gibi, besleme sistemine geri dönebilecek akım oranını azaltmak üzere daha çok sayıda seri empedansların kullanıldığı komplike filtrelere ihtiyaç duyulabilir [1].



Şekil 1 - Pasif Harmonik Şönt Filtre



Şekil 2- Pasif seri ve şönt filtreler

### III.2 12 Fazlı Doğrultucu kullanma

Ayarlı 6 elemanlı redresörler harmonik üretmektedir. Bunlar iki sekonder sargılı (yıldız ve üçgen) bir trafodan beslenen 12 elemanlı redresörler oldukları takdirde harmonikler birbirlerini ifna ettiğinden harmonik oranı azalmaktadır. Bir çok trafolu tesiste 6 elemanlı redresörler kullanılmakta, ancak bir kısmını Yy ve Yd bağlantı trafodan besleyerek harmonik oranı azaltılmaktadır [11].

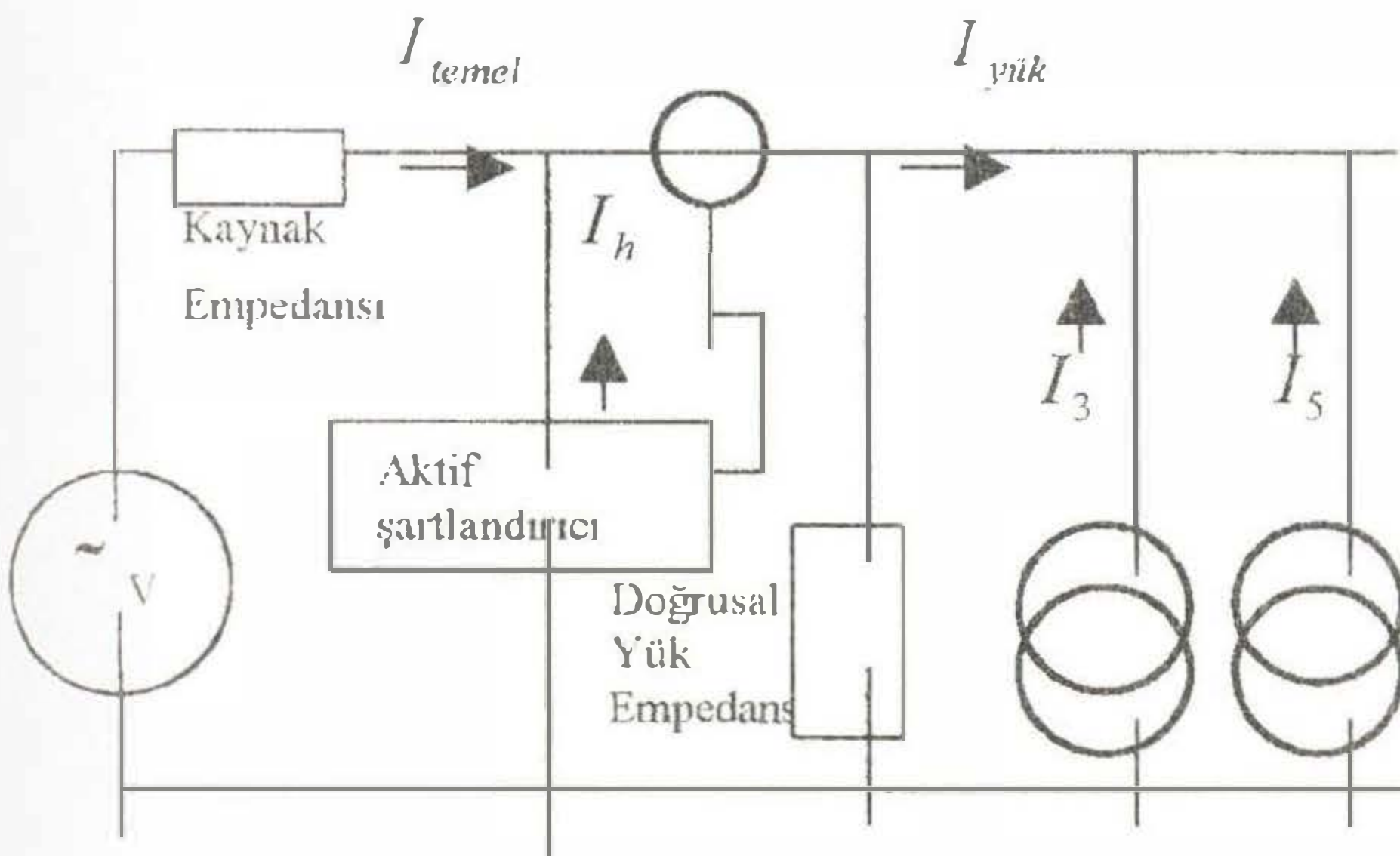
### III.3 İzolasyon Transformatörleri

Üçlü-N akımları transformatörlerin üçgen sargılarında dolanırlar ve transformatör inalatçıları veya tasarımcıları açısından (ki fazlardan bir yük olarak her zaman göz önünde tutulmaları gerekir) olan bu özellik, üçlü-N harmoniklerin besleme devresine yayılmasını önlediği için sistem tasarımcıları açısından bir avantaj niteliğindedir.

Üçlü-N harmoniklerinin besleme devresinden izole edilmesi için zik-zak sargılı bir transformatör de kullanılabilir [1].

### III.4 Aktif Filtreler

Aktif filtreler pasif filtrelerin yapısından tamamen farklı olup bir güç elektroniği sistemidir. Şekil 3'de gösterildiği gibi, aktif filtre bir şönt cihazıdır. Bir akım transformatörü, yük akımındaki harmonik miktarını ölçer ve bir akım generatörünü kontrol ederek bir sonraki devirde sisteme geri beslenen akımın aynısının üretilmesini sağlar. Harmonik akım aktif şartlandırıcı tarafından üretildiği için besleme devresinden sadece temel akım geçmektedir. Uygulamada, harmonik akım şiddeti %90 oranında azaltılmakta ve harmonik frekanslardaki kaynak empedansı azaldığı için gerilim bozulması da azalmış olmaktadır [1,12,13].



Şekil 3- Aktif Harmonik Filtresi

### III.5 Kirletici Yükleri Denetim Altına Alma

İlk aşamada, duyarlı cihazlar mümkün olduğunca güç kaynağına yakın bağlanmalıdır. Daha sonra, kirletici yükler tanımlanmalı ve duyarlı yüklerden ayrılmalıdır. Örneğin bunlar ayrı kaynaklardan veya bunun için ayrılmış trafolardan çalıştırılabilir. Bu çözümler tesisatın yapısı üzerinde çalışmayı gerektirmektedir ve genellikle zor ve masraflıdır [11].

## IV. HARMONİK STANDARTLARI

Şebekenin ve sistemdeki diğer yüklerin olumsuz etkilerinden mümkün olduğu kadar az zarar görmesini sağlamak ve tüketiciye daha kaliteli enerji verebilmek için harmoniklerin belirli bir seviyenin altında tutulması gerekmektedir.

Bu amaçla gelişmiş ülkeler, nonlineer yüklerin meydana getirdiği harmonik bileşenleri bir yaptırım olarak sınırlandırmışlardır ve harmonik standartlarını oluşturmuşlardır.

Bazı ülkelerin kabul ettiği harmonik sınırları Tablo 1'de verilmiştir [14].

TABLO 1. Bazı ülkelerin kabul ettiği harmonik sınırları

Ülke	Gerilim(kV)	THD <sub>V</sub> (%)
Avustralya Dağıtım İletim,	33 ≤	5
	22-33-66	3
	110 ≤	1.5
Almanya	Tüm Gerilimler 15. harmoniğe kadar	10
A.B.D	Özel 2.4-66	8
	Genel 115 ≤ 33-66 132	1.5 5 1.5
Kanada	12	7
	12-44	6
	155	4
İngiltere	0.415	5
	6.6-11	4
	33-66	3
	132	1.5
Türkiye	Tüm gerilimler	1.6
Fransa	Tüm gerilimler	1.6

Tablo 2. Bağlantı noktasındaki toplam yük akımı temel bileşeninin yüzdesi olarak maksimum harmonik akım limitleri

$1 \leq U_n \leq 34.5 \text{ kV}$						
IK/IL	$h < 11$	$11 \geq h < 17$	$17 \geq h < 23$	$23 \geq h < 35$	$h \geq 35$	TTD (%)
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
$34.5 < U_n \leq 154 \text{ kV}$						
<20	2.0	1.0	0.8	0.3	0.15	2.5
20-50	3.5	1.8	1.25	0.5	0.25	4.0
50-100	5.0	2.3	2.0	0.75	0.35	6.0
100-1000	6.0	2.8	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
$U_n > 154 \text{ kV}$						
<20	1.0	0.5	0.4	0.15	0.075	1.25
20-50	1.8	0.9	0.6	0.25	0.12	2.0
50-100	2.5	1.2	1.0	0.4	0.17	3.0
100-1000	3.0	1.4	1.25	0.5	0.25	3.75
>1000	3.8	1.8	1.5	0.6	0.35	5.0
ÇİFT HARMONİKLER kendinden sonraki tek harmoniklerin 0.25'i ile sınırlıdır.						

Tablo 3. Kabul edilebilir gerilim harmonik sınırları

Harmonik Sırası	Grup	No	AG	OG	YG	ÇYG
			$U_n < 1 \text{ kV}$	$1 \leq U_n \leq 34.5 \text{ kV}$	$34.5 < U_n \leq 154 \text{ kV}$	$U_n > 154 \text{ kV}$
Üçün katı n tek ikler		5	5	5	2	1
		7	4	4	2	1
		11	3	2.5	1.5	0.8
		13	2.1	2	1.5	0.8
		17	1.2	1	0.75	0.5
		19	0.95	0.8	0.75	0.5
		23	0.64	0.5	0.5	0.3
		25	0.54	0.5	0.5	0.3
		>25	$<(0.2+12.5)/n$	$<0.2(1+25/n)$	$<0.1(1+25/n)$	$<(0.1+2.5/n)$
Üçün katı ikler		3	4	1.5	1.5	0.8
		9	0.8	0.8	0.75	0.5
		15	$\leq 0.3$	$\leq 0.3$	$\leq 0.3$	0.1
		21	$\leq 0.2$	$\leq 0.2$	$\leq 0.2$	0.1
		>21	$<0.2$	$\leq 0.2$	$\leq 0.2$	$\leq 0.1$
Çift Harmonikler		2	1.5	1.25	1.0	1
		4	0.76	0.75	0.7	0.7
		6	0.51	0.35	0.3	0.2
		8	0.39	$\leq 0.2$	$\leq 0.2$	0.1
		10	0.325	$\leq 0.2$	$\leq 0.2$	0.1
		12	$\leq 0.2$	$\leq 0.2$	$\leq 0.2$	0.1
		>12	$<0.2$	$\leq 0.2$	$\leq 0.2$	0.1
Toplam Distorsiyon			7	5	3	1.5

Kaynak geriliminin sinüs formunda meydana gelen sapmalarla belirginleşen harmoniklerin kabul edilebilir sınırları Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmiştir [15].

Harmonik akım sınırlarını veren Tablo 2'de :

( $I_K$ ) Bağlantı noktasındaki maksimum kısa devre akımını,

( $I_L$ ) Bağlantı noktasındaki maksimum yük akımının

temel bileşenini,

(TTD) ise toplam talep distorsiyonunun değerini göstermektedir.

Gerilim harmonik sınırlarını veren Tablo 3'de;

Bağlantı noktası gerilim seviyelerine göre, harmonik geriliminin ( $V_N$ ), temel bileşen gerilimine ( $V_L$ ) oranı (yüzde) olarak düzenlenmiştir.

Bu değerlendirmeler rezonans koşulu dışında geçerlidir.

Harmonikler için tanınan limitlerle, üç saniye süreli ölçümler sonucunda elde edilen ortalama değerler karşılaştırılırken ölçülen büyüklüklerin en büyük %5 değeri atılarak geri kalan % 95'i değerlendirmeye alınır. Elde edilen büyüklükler Tablo 2 ve Tablo 3'de verilen gerilim ve akım harmonik değerlerini aşmamalıdır.

## V. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Şebeke geriliminin sinüs şeklinde olmaması, yani bunun yüksek harmonikler ihtiva etmesi, şebekeye bağlı tüketiciler üzerine zararlı bir şekilde tesir yapar. Bu arada böyle bir şebekeye paralel bağlı, yüksek harmonik üretmeyen modern generatörler, şebekenin yüksek harmoniklerinden etkilendiği gibi enerji nakil hatlarında ve motorlarda ilave ısı kayıpları meydana gelir. Yüksek harmoniklerin bulunduğu bir şebekede toprak kısa devre akımları da daha büyük efektif değerlere yükselirler. Bunların dışında şebekedeki yüksek harmoniklerin en şiddetli şekilde tesir ettikleri tesis elemanı kondansatörlerdir; kondansatörler böyle bir şebekeden yüksek harmonikli akım çekerler ve aşırı yüklenebilirler. Kondansatörler inşa edildikleri ısınma sınıfına uygun ortam sıcaklığında sinüs şeklindeki nominal gerilimde ve nominal frekansta, nominal akımlarının 1,3 katı ile sürekli yüklenebilirler. Bu yükte gerilim 1,1 Un'den büyük olmamalıdır. Yüksek harmoniklerin tesiri ile artan kondansatör akımının da bu değer üstüne çıkmasına müsaade edilmez. Kondansatörün kapasitif direnci frekans arttıkça azaldığından, yüksek frekanslı gerilim harmoniklerine karşı kondansatörün direnci daha küçük ve bu sebeple çektiği akım daha büyüktür. Onun için kondansatörler, şebeke geriliminin küçük distorsiyonunda dahi büyük akım çekerler. Ayrıca kompanzasyon maksadı ile kullanılan kondansatörler sebebi ile belirli şartlarda akım ve gerilim rezonansları meydana gelebilir ki, bu da ilgili şebeke kısmı için zararlı sonuçlar verebilir.

Rezonansın yol açtığı zararlı etkilerden kurtulmak için kompanzasyon tesisinin öz frekansı, rezonansa neden olabilecek şebeke frekansının altında olmalıdır.

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

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

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.

Ayrıca harmonikler transformatörlerde bakır ve demir kayıpları ile kaçak akımların artmasına, döner makinalarda kayma ve momenti etkileyerek gürültülü 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 ya da geç açılmalarına sebebiyet vermesine, şebekede çalışmakta olan tüm cihazların normal ömürlerinin kısılmasına neden olmaktadır.

Kısaca tüm sistem elemanlarını etkilediğinden harmonikler şebekede istenmeyen büyüklüklerdir. Enerji kalitesinin artırılabilmesi için, şebekede bulunan harmoniklerin bir şekilde yok edilmesi gereklidir. 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. Yaygın olarak pasif filtreler kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda maliyetlerinin azalması ile birlikte aktif filtreler de kullanılmaya başlanmıştır.

Pasif filtre kullanımının kolay maliyetlerinin düşük olması bir avantajdır. Fakat bu tip filtrelerde kaynak empedansının filtrenin karakteristiğini etkilemesi, seri ve paralel rezonans oluşma olasılığının olması dezavantajdır. Bu gibi dezavantajlar, aktif filtre kullanılarak ortadan kaldırılabilir. Fakat yüksek akımlı ve hızlı cevap süreli inverterlerin yapımı zor, maliyetlerinin ve işletme masraflarının oldukça yüksek olmasından dolayı, sadece aktif filtre yerine aktif ve pasif filtreden oluşan karına

filtreler kullanılmaktadır. Karma filtrelerde harmonikli gerilimin dalga şeklinin büyük bir kısmı pasif filtre tarafından, geriye kalan küçük dalgalıklar aktif filtre tarafından elimine edilir.

Filtre tasarımında fazla kondansatör kullanımı rezonansa neden olabilir. Filtreler tasarlanırken kompanzasyon olan tesislerde mevcut reaktif güç göz önünde bulundurulmalıdır. Filtre yapılacak tesiste kompanzasyon yoksa, ayrıca kompanzasyon yapmaya gerek yoktur. Yapılan filtre hem harmoniklerin zararlarını minimuma indireyecek hem de kompanzasyon yapacak şekilde tasarlanmalıdır.

Elektrik enerjisi, yasal bir kalite standardı yayınlanmamış birkaç tüketim ürününden biridir. Gelişmiş güç elektroniği sistemlerinin hızla artan uygulama alanları nedeniyle, elektrik sistemlerinde gözlenen harmonik kirlenmeler giderek artmakta ve enerji kalitesi de düşmektedir. Gerek harmonik üreten tüketicilerin ve gerekse harmoniklerden haksız yere etkilenen tüketicilerin korunması ve kaliteli enerji sağlanması için, bu konuda yabancı ülkelerde oluşturulan standartlara benzer yaptırımların ülkemizde de yapılması ve sürekli kontrollerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Aksi halde, enerji tüketimimiz sanayileşmiş ülkeler boyutuna arttığı ve standartların korunmadığı düşünülürse vahim problemler ile karşılaşılacağı kaçınılmazdır.

## KAYNAKLAR

- [1] SCHNEIDER ELECTRIC, Güç Kalitesi, Teknik Klavuz No.199.
- [2] KOCATEPE,C. , KARAKAŞ,A. , Nonlinear Elemanlar ve Harmonikli Devreler, Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı:156, s.109-116 , İstanbul, 2002.
- [3] ADAK,S. , Elektrik Tesislerindeki Kirlilik ``Harmonikler``, Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı:162, s.116-121, İstanbul, 2002.
- [4] ARİFOĞLU,U. , Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi, s.305-342, İstanbul, 2002.
- [5] KOCATEPE,C. , UZUNOĞLU,M. , Elektrik Enerji Sistemlerindeki Harmoniklerin Meydana Getirdiği Etkiler, Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı:148, s.126-132, İstanbul, 2001.
- [6] SARKUYSAN ELEKTROLİTİK BAKIR SAN. Ve TİC. A.Ş. , Güç Kalitesi Uygulama Klavuzu.
- [7] BAYRAM, M. , Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu , s.129-205 , İzmir , 1997
- [8] BAYRAK,M. ,Elektrik Güç Sistemlerinde Enerji Kalitesi, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi Bülteni, Sayı:1, s.13-18, 2000.
- [9] TEK , Bozucu Etkilerin incelenmesi, 1992.
- [10] ATMACA, E. , Harmoniklerin Elektrik Donanımları Üzerine Etkileri, 3e. s.59-65, 1995.

[11] ERGUN,D. , Harmoniklere Karşı Önlemler, Elektrik Tesisat Mühendisleri Derneği Seminer Notları, CNR Fuar Merkezi,2000.

[12] GÜVENMAN,A. , Harmoniklerin Ölçülmesi,Yorumlanması ve Aktif Filtreler, Elektrik Tesisat Mühendisleri Derneği Seminer Notları, CNR Fuar Merkezi,2000.

[13] AKTİF MÜHENDİLİK DIŞ TİC.LTD.ŞTİ. Firma Kataloğu.

[14] ARRILLAGA, J., BRADLEY, D.A., BODGER, P.S., Power System Harmonics, John Wiley and Sons, Norwich, 1985.

[15] IEEE Standard 519-1992 , ``Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems``, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1993.