

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**MEDYA SEKTÖRÜNDE ELEKTRİK ENERJİ KALİTESİNİN HARMONİK
YÖNÜNDEN İNCELENMESİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İlter CON**

Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji

Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji

MART 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**MEDYA SEKTÖRÜNDE ELEKTRİK ENERJİ KALİTESİNİN HARMONİK
YÖNÜNDEN İNCELENMESİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İlter CON
(301071041)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Şubat 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 5 Mart 2010**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Önder GÜLER (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Sermin ONAYGİL (İTÜ)
Doç. Dr. Mehmet UZUNOĞLU (YTÜ)**

MART 2010

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamda değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Önder Güler'e, ölçümde gereken imkanları sağlayan sevgili dostum Murat Şen'e, değerli meslektaşlarım Burçin Baran ve Hüseyin Aydemir'e, yüksek lisans tezimde sürekli desteğini veren Papatya Ceylan Sevinç'e , yanımdan hiçbir zaman ayrılmayan Hülya Kula'ya ve bu günlere gelmemde en büyük emeği olan başta annem olmak üzere aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Mart 2010

İlter CON

Elektrik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. ELEKTRİK ENERJİ KALİTESİ VE GENEL KAVRAMLAR.....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Elektrik Güç Sistemlerindeki Temel Kavramlar	1
1.2.1 Elektriksel anlamda Fourier Serileri	1
1.2.2 Sinüsoidal dalga şeklinde elektriksel büyüklükler.....	3
1.2.3 Nonsinüsoidal dalga şeklinde elektriksel büyüklükler.....	4
1.2.3.1 Toplam harmonik distorsiyonu (THD)	6
1.2.3.2 Distorsiyon faktörü (DF).....	6
1.2.3.3 Tepe faktörü (CF).....	7
1.2.3.4 Transformator K- Faktörü	7
1.2.3.5 Toplam talep distorsiyonu (TTD)	7
1.2.3.6 Şekil (Form) faktörü.....	8
1.2.3.7 Telefon etkileşim faktörü (TEF)	8
1.2.3.8 Distorsiyon güç faktörü (DGF)	9
1.2.4 Reaktif güç kompanzasyonu.....	10
1.2.4.1 Amacı	12
1.2.4.2 Elektriksel hesaplamalar	13
2. ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ BOZULMALAR	15
2.1 Giriş.....	15
2.2 Kısa Süreli Gerilim Değişimi	17
2.2.1 Gerilim düşmesi (çökme).....	17
2.2.2 Gerilim yükselmesi	17
2.2.3 Kesinti	18
2.3 Uzun Süreli Gerilim Değişimi.....	18
2.3.1 Aşırı gerilim	18
2.3.2 Düşük gerilim.....	19
2.3.3 Kalıcı gerilim kesintileri	19
2.4 Geçici Hal.....	19
2.4.1 Darbeli geçici hal	19
2.4.2 Salınım şeklinde geçici hal	19
2.5 Gerilim Dengesizliği	19
2.6 Harmonik.....	20

2.7 Ara Harmonik	20
2.8 DC Bileşen.....	21
2.9 Çentik	21
2.10 Gürültü.....	21
2.11 Gerilim Dalgalanması.....	22
2.12 Frekans Değişimleri.....	22
2.13 Belirsiz Terimler.....	22
2.14 CBEMA ve ITI Eğrileri.....	23
3. HARMONİKLER	25
3.1 Harmonik Üreten Kaynaklar	25
3.2 Harmoniklerin Meydana Getirdiği Etkiler	27
4. HARMONİKLERİN GİDERİLMESİ	29
4.1 Oluşmuş Harmonik Akımlarını Azaltma.....	29
4.2 Filtreleme.....	30
4.2.1 Pasif filtre	30
4.2.1.1 Pasif filtre çeşitleri	31
4.2.1.2 Rezonans	32
4.2.1.3 Pasif filtre seçiminde kriterler	37
4.2.2 Aktif filtre.....	38
4.2.2.1 Aktif filtrenin çalışma prensibi	38
4.2.2.2 Ters fazda akım üretici	40
4.2.2.3 Kontrol sistemi	41
4.2.3 Karma filtreleme	42
5. HARMONİK STANDARTLARI.....	45
5.1 Giriş	45
5.2 Harmoniklerin Sınırlandırılması.....	47
5.2.1 Yaklaşık inceleme	48
5.3 Temel Kullanılan Bazı Harmonik Standartları.....	50
5.4 Türkiye'de Harmonik Standartları	55
6. MEDYA SEKTÖRÜNDE ALINAN ÖLÇÜMLER VE ANALİZLER.....	61
6.1 A Matbaa Tesisindeki Ölçüm Değerleri ve Analizler	62
6.2 A Medya Tesisindeki Ölçüm Değerleri ve Analizleri.....	71
6.3 B Matbaa Tesisindeki Ölçüm Değerleri ve Analizleri	77
6.4 B Medya Tesisindeki Ölçüm Değerleri ve Analizleri	86
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	91
KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ	97

KISALTMALAR

kA	: Kilo Amper
kVA	: Kilo Volt Amper
kV	: Kilo Volt
VAr	: Volt Amper Reaktif
kVAr	: Kilo Volt Amper Reaktif
MVA	: Mega Volt Amper
MVAr	: Mega Volt Amper Reaktif
kW	: Kilo Watt
IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Enstitüsü
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
VDE	: Alman Elektroteknik Birliği
CBEMA	: Bilgisayar İş Ekipmanları Üreticileri Birliği
ITI	: Bilgi Teknoloji Endüstri
ANSI	: Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
TSE	: Türk Standardları Enstitüsü
IGBT	: Yalıtılmış Anahtarlamalı İki Kutuplu Transistor
THD	: Toplam Harmonik Distorsiyonu
HD	: Harmonik Distorsiyonu
TTD	: Toplam Talep Distorsiyonu
RMS	: Etkin Değer
DC	: Doğru Akım
AC	: Alternatif Akım
PWM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
GF	: Güç Faktörü
CF	: Tepe Faktörü
DF	: Distorsiyon Faktörü
TEF	: Telefon Etkileşim Faktörü
DGF	: Distorsiyon Güç Faktörü
ÇYG	: Çok Yüksek Gerilim
YG	: Yüksek Gerilim
OG	: Orta Gerilim
AG	: Alçak Gerilim
HVDC	: Yüksek Gerilim Doğru Akımı
DSP	: Dijital Sinyal İşlemci
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
PWHD	: Kısmi Ağırlıklı Harmonik Distorsiyonu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Güç sistemlerindeki bozulmaların karakteristikleri	16
Çizelge 2.2 : Elektrik güç sistemlerindeki bozulmaların nedenleri, sonuçları ve çözüm örnekleri	24
Çizelge 3.1 : Belli başlı harmonik kaynaklı yüklerin karakteristikleri.....	26
Çizelge 4.1 : Pasif, aktif ve karma filtreleme prensipleri ve özellikleri	43
Çizelge 5.1 : Harmonik sınırlarına uygunluğun yaklaşık incelenmesinde kullanılan ağırlık faktörleri.....	49
Çizelge 5.2 : Çeşitli ülkelerin harmonik standartları	51
Çizelge 5.3 : Konutlarla ilgili alçak gerilim şebekelerinde IEC-61000-2-2 gerilim harmonik distorsiyon limitleri ($k=0.2+12.5/h$)	52
Çizelge 5.4 : Endüstriyel santraller için IEC-61000-2-4 gerilim harmonik distorsiyon limitleri (2. sınıf elemanlar) ($k=0.2+12.5/h$).....	52
Çizelge 5.5 : Endüstriyel santraller için IEC-61000-2-4 gerilim harmonik distorsiyon limitleri (3. sınıf elemanlar) ($m=5\sqrt{11/h}$)	53
Çizelge 5.6 : Konutlarla ilgili (a) alçak ve (b) orta gerilim şebekeleri için EN 50160 harmonik distorsiyon limitleri.....	54
Çizelge 5.7 : IEEE'nin Gerilim için Harmonik Distorsiyon Sınırları.....	54
Çizelge 5.8 : IEEE'nin dağıtım sistemlerine ait akım harmonik distorsiyon sınırları.....	55
Çizelge 5.9 : A sınıfı donanımların limit değerleri.....	56
Çizelge 5.10 : C sınıfı donanımların limit değerleri	57
Çizelge 5.11 : D sınıfı donanımların limit değerleri.....	57
Çizelge 5.12 : Üç fazlı dengeli yüklerden farklı diğer donanımlar için limit değerler.....	58
Çizelge 5.13 : Üç fazlı dengeli yüklenmiş donanımlar için limit değerler	58
Çizelge 5.14 : Belirtilen koşullar altında üç fazlı dengeli yüklenmiş donanımlar için limit değerler	59
Çizelge 5.15 : 'Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenirliği ve Kalitesi Yönetmeliği' gereğince akım harmonikleri limitleri.....	60
Çizelge 6.1 : A Matbaa tesisinde ölçümde elde edilen veriler	65
Çizelge 6.2 : A Matbaa tesisindeki akım ve gerilim tekil harmonikleri.....	65
Çizelge 6.3 : A Matbaa tesisindeki 1 haftalık kesintisiz ölçümler	66
Çizelge 6.4 : A Medya tesisinde ölçümde elde edilen veriler	75
Çizelge 6.5 : A Medya tesisindeki akım ve gerilim tekil harmonik değerleri	75
Çizelge 6.6 : B Matbaa tesisinde elde edilen veriler	80
Çizelge 6.7 : B Matbaa tesisindeki akım ve gerilim tekil harmonik değerleri	80
Çizelge 6.8 : B Matbaa tesisindeki 1 haftalık kesintisiz ölçümler.....	80
Çizelge 6.9 : B Medya tesisinde elde edilen veriler	89
Çizelge 6.10 : B Medya tesisindeki akım ve gerilim tekil harmonik değerleri	89

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Sinüsoidal dalga durumunda güç üçgeni	3
Şekil 1.2 Nonsinüsoidal dalga durumunda güç üçgeni	6
Şekil 1.3 Reaktif güç kompanzasyonun GF, hat akımı ve hat kayıplarına göre örneklenmesi	10
Şekil 1.4 Reaktif güç sisteminde çekilen akım ve şebeke gerilimi	11
Şekil 1.5 Kompanzasyonlu sistemin düzelttiği gerilim ve akım şekilleri.....	12
Şekil 1.6 Reaktif güç kompanzasyonunda gerekli olan kondansatör gücü (P= sabit)	14
Şekil 2.1 Faz-toprak arızasından kaynaklanan gerilim düşmesi a) Gerilim efektif değerindeki düşüm b) Gerilim dalga şeklindeki düşüm.....	17
Şekil 2.2 Faz-toprak arıza nedeniyle anlık oluşan gerilim yükselmesi.....	18
Şekil 2.3 ITI (CBEMA) Eğrisi (2000’de yapılan son düzenleme)	23
Şekil 3.1 : Doğrusal olmayan bir yükün sebep olduğu harmonik bozulma devresi...	25
Şekil 4.1 : Anti-Harmonik şok bobininin tesisat empedansı üzerindeki etkileri	30
Şekil 4.2 : Seri rezonanstaki akım ve empedansın frekansa göre değişimi	33
Şekil 4.3 : Paralel rezonanstaki akım ve empedansın frekansa göre değişimi	34
Şekil 4.4 : Seri ve paralel rezonanslarda sistem cevabı.....	37
Şekil 4.5 : Aktif filtrenin çalışma prensibi	39
Şekil 4.6 : Aktif filtrenin zaman - frekans domeninde çalışma prensibi	39
Şekil 4.7 : Açık çevrim akım kontrolü.....	40
Şekil 4.8 : Kapalı çevrim akım kontrolü.....	40
Şekil 4.9 : Aktif filtrenin güç devresi	41
Şekil 4.10 : Aktif filtre örnek modeli.....	42
Şekil 5.1 : Akımın toplam harmonik distorsiyonu ile değişimi (I_1 =sabit)	47
Şekil 5.2 : Sistemdeki kayıp gücün toplam harmonik distorsiyonu ile değişimi (I_1 , R= sabit).....	47
Şekil 5.3 : Harmonik distorsiyonu yaklaşık incelenen örnek sistem	50
Şekil 6.1 : A Matbaa tesisinde ölçüm alınan kısmın tek hat şeması.....	62
Şekil 6.2 : A Matbaa tesisinde THD ₁ grafiği.....	63
Şekil 6.3 : A Matbaa tesisinde THD _v grafiği.....	64
Şekil 6.4 : Pasif filtre devrede aktif filtre devre dışı iken durum	64
Şekil 6.5 : Aktif filtre ve pasif filtre devrede iken durum	65
Şekil 6.6 : Pasif filtre devrede aktif filtre devrede değil iken durum	67
Şekil 6.7 : THD _v ve THD ₁ tekil harmonik spektrumu	68
Şekil 6.8 : Pasif filtre ve aktif filtre devrede iken durum	70
Şekil 6.9 : A Medya tesisinin tek hat şeması.....	71
Şekil 6.10 : A Medya tesisinde THD ₁ grafiği	72
Şekil 6.11 : A Medya tesisinde THD _v grafiği.....	73
Şekil 6.12 : A Medya tesisinin ölçümde alınan akım değeri	73
Şekil 6.13 : A Medya tesisinde S _t , P _t , Q _t güç değerleri	74

Şekil 6.14 : A Medya tesisinde GF ve $\cos \phi$ değişim grafikleri	74
Şekil 6.15 : THD ₁ ve THD _v tekil harmonik spektrumu	76
Şekil 6.16 : B Matbaa tesisinin tek hat şeması	77
Şekil 6.17 : B Matbaa tesisinde akım grafiği	78
Şekil 6.18 : B Matbaa tesisinde THD ₁ grafiği	79
Şekil 6.19 : B Matbaa tesisinde THD _v grafiği	79
Şekil 6.20 : Simülasyon yöntemiyle pasif filtresiz kompanzasyon durumu	82
Şekil 6.21 : Simülasyon yöntemiyle pasif filtreli kompanzasyon durumu	83
Şekil 6.22 : THD ₁ ve THD _v tekil harmonik spektrumu	84
Şekil 6.23 : B Medya tesisinin tek hat şeması	86
Şekil 6.24 : B Medya tesisinde akım grafiği	87
Şekil 6.25 : B Medya tesisinde THD ₁ grafiği	87
Şekil 6.26 : B Medya tesisinde THD _v grafiği	88
Şekil 6.27 : B Medya tesisinde S _t , P _t , Q _t güç değerleri	88
Şekil 6.28 : B Medya tesisinde GF ve $\cos \phi$ değişim grafikleri	89

SEMBOL LİSTESİ

A_n	: Harmonik Bileşenin Genliği
A_0	: Doğru Akım Bileşeni
C	: Kondansatör
D	: Distorsiyon Gücü
f_1	: Temel Frekans
G_n	: Harmonik Üreten Cihazların Nominal Güçlerinin Toplamı
h	: Harmonik Derecesi
I_h	: Harmonik Akım Bileşeni
I_K	: Kısa Devre Akımı
I_L	: Yüke Ait Maksimum Talep Akımı
I_n	: n. Harmonik Akımının Efektif Değeri
I_{RMS}	: Akımın Efektif Değeri
I_1	: Akım Efektif Değerinin Temel Bileşeni
i_n	: n. Harmonik Akımının Ani Değeri
k	: Pulse Sayısı
k_f	: Şekil Faktörü
L	: Endüktans
n_r	: Rezonans Harmonik Derecesi
P	: Aktif Güç
P_t	: Toplam Aktif Güç
pu	: Birim Başına Değer
Q	: Reaktif Güç
Q_t	: Toplam Reaktif Güç
R	: Direnç
R_{sce}	: Kısa Devre Oranı
S	: Görünür Güç
S_k	: Kısa Devre Gücü
S_n	: Devreye Bağlı Transformatörlerin Nominal Güçlerinin Toplamı
S_t	: Toplam Görünür Güç
V_n	: n. Harmonik Geriliminin Efektif Değeri
v_n	: n. Harmonik Geriliminin Ani Değeri
V_{RMS}	: Gerilimin Efektif Değeri
V_1	: Gerilim Efektif Değerinin Temel Bileşeni
W_i	: Ağırlık Faktörü
w_1	: Temel Açısal Frekans
X_C	: Kapasitif Reaktans
X_L	: Endüktif Reaktans
Z	: Empedans
δ_n	: n. Harmonik Akım Faz Açısı
θ_n	: n. Harmonik Gerilim Faz Açısı
φ_n	: Harmonik Bileşenin Açısı

MEDYA SEKTÖRÜNDE ELEKTRİK ENERJİ KALİTESİNİN HARMONİK YÖNÜNDEN İNCELENMESİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

ÖZET

İnsanlığın tarihsel süreçte gelişimini sağlayan unsurların başında enerjinin gelmesi yadsınamaz bir gerçektir. Enerji kaynakları, insanlığın her zaman elde etmek için uğraş verdiği hatta savaşların çıktığı olgulardır. Enerjinin kullanılabilirliği elektrik enerjisinin bulunmasıyla insanlık tarihinde farklı bir boyut almıştır. Elektrik enerjisi konut, endüstri, ulaşım vb. gibi uygulama sahalarında en yoğun şekilde kullanılan enerji çeşididir. Günümüzün önemli sorunlarından olan enerji kaynaklarının giderek azalması ve mevcut kaynakların ihtiyacı karşılamaması, artan enerji ihtiyacı ile birlikte elektrik enerjisinin verimli şekilde kullanımını gerektirmektedir. Elektrik enerjisi verimliliğinin içini dolduran kavramlardan biri “elektrik enerji kalitesi”dir. Bu kavram elektrik mühendisliğinin araştırma konuları arasında geniş yer bulmaktadır.

Elektrik enerji kalitesi, herhangi kaynaktan üretilen elektrik enerjisinin son kullanıcıya kadar geçen aşamada gerilim genliğinin ve frekansının anma değerinin değişmemesi, sinüsoidal dalga şeklinin korunması ve bunu istikrarlı olarak kesintisiz bir biçimde alabilmek olarak tanımlanır.

Bu tez çalışması kapsamında elektrik enerji kalitesini etkileyen faktörlerin neler olduğu, etkileri ve nasıl giderileceği konusunda araştırmalar yapılmıştır. Araştırmada elektrik enerji kalitesini etkileyen en önemli parametrelerden olan harmonik kavramı detaylı bir biçimde incelenmiştir. Sinüsoidal dalga şeklinin değişmesine neden olan tüm etkenler, harmoniksel dalga şekline dönüşmüş elektrik güç sistemleri elde etmemizi sağlar. Bu sonucu ortaya koyan etkenlerin bilinmesinin yanı sıra buna nasıl bir çözüm getirilebileceği bu tez çalışmasında medya sektörü özelinde irdelenmiştir.

Araştırılan konularda somut verileri görmek için medya sektöründe enerji analizörü ile ölçümler yapılmıştır. İki medya kuruluşunun televizyon binaları ve yine o tesislere ait olan matbaa tesisleri ile birlikte toplam dört tesis üzerinde incelemeler yapılmıştır. Tesislerde mevcut durum, harmoniksel anlamda yapılan veya yapılmayan düzenlemeler yönünden incelenmiştir. Tesislerdeki yanlış veya eksik yapılan düzenlemeler için çözüm önerileri tezin kapsamı içerisinde belirtilmiştir.

INVESTIGATION OF QUALITY OF ELECTRICAL ENERGY IN MEDIA INDUSTRY AND SOLUTION PROPOSALS FOR HARMONIC SIDE

SUMMARY

That humans have throughout history attempted to obtain energy through various methods is an undeniable fact. Mankind is always trying to hand out energy sources by doing wars, this is known as a phenomenon. Human history has taken a different dimension by finding electric energy for the use of energy. Electrical energy is used in housing, industry, transport, etc., as the most intensive application areas. One of today's critical problems of dwindling energy resources and the needs of existing resources is that they will not meet the increasing energy needs. Electrical energy efficiency within the concept of filling the "quality of electrical energy". This concept can be placed in a wide range at the research of electrical engineering.

Electrical power quality, any source of electric energy produced from the end user in the last stage of the voltage amplitude and frequency does not change the value of the memorial, and that the protection of the sinusoidal wave shape as stable finally is defined as free in a format you can receive.

As part of this thesis, the factors affecting the quality of electrical energy were studied. The effects and how to troubleshoot the issues were also made in the search. We examined the concept of harmonic in a detailed manner that is the most important parameters affecting the quality of electrical energy. Sinusoidal wave that causes a change of shape all the factors, the outcome of a harmonical wave forms allows us to obtain the transformed data. These results revealed that factors in addition to knowing how it could be a solution in this thesis discussed.

Measurements were made in the media sector with the energy analyzer in order to see solid data on issues. The two media companies, television, radio, etc., buildings and facilities belonging to those who still printing (printing) plants with a total of four facilities have been investigated or looked into. Current situation in facilities has been investigated in a harmonious manner and either made or not made in terms of arrangements. Whether the harmonic filter is necessary or not for the situation and what solution would be more appropriate was discussed.

1. ELEKTRİK ENERJİ KALİTESİ VE GENEL KAVRAMLAR

1.1 Giriş

“Enerji kalitesi” kavramı farklı bakış açılarına göre yorumlanmış ve buna bağlı olarak değişik tanımlamalara sahip olmuştur. IEEE 1100 standardına göre enerji kalitesi, kullanılan ekipmanlara uygun olarak hassas cihazların topraklanması ve enerjilendirilmesi olarak tanımlanmaktadır[1]. IEC 61000-4-30 standardına göre elektrik sisteminin herhangi bir noktasındaki elektriğin, referans alınan teknik parametrelere göre değerlendirilen özelliklerinin bir araya getirilmesi olarak tanımlanmaktadır[2].

Enerji kalitesi kavramı, şebekenin tanımlanan bir noktasında, gerilimin genlik ve frekansının anma değerlerini koruması ve gerilim dalga şeklinin sinüs biçiminde bulunmasıdır.

Bu tanımın tersi olarak, gerilimin genliğinin değişmesi, kesintiler, gerilim darbeleri, fliker, gerilimin doğru bileşen içermesi, dalga şeklinin sinüsten uzaklaşması, frekans değişimleri, üç faz dengesizlikleri enerji kalitesizliğidir.

Enerji kalitesi çoklukla yük tarafından bozulur. V-I karakteristiği lineer olmayan yükler şebekeden sinüs olmayan akımlar çeker ve bu akımlar şebekede sinüs olmayan gerilim düşümleri oluşturarak besleme noktasındaki gerilimin dalga şeklini bozar.

Gerilim ve/veya akım dalga şekli sinüs biçiminde değilse, bu dalgaya Fourier analizi uygulanarak harmonikler bulunur.

1.2 Elektrik Güç Sistemlerindeki Temel Kavramlar

1.2.1 Elektriksel anlamda Fourier Serileri

Fransız matematikçi ve fizikçi J. Fourier nonsinüsoidal periyodik dalgaların genlik ve frekansları farklı birçok sinüsoidal dalgaların toplamıyla oluştuğunu, bütün

dalgaların, genlik ve frekansları farklı olan sinüsoidal dalgalara ayrılabilceğini göstermiştir. Bu seri literatürde ‘‘Fourier Serisi’’ olarak yerini almaktadır[3].

Herhangi bir periyodik ifadenin Fourier serisine açılabilmesi için Dirichlet koşullarının sağlanması gerekir.

$f(t) = f(t + T)$ ifadesiyle belirlenen devirli herhangi bir fonksiyonu;

- Fonksiyon süreksiz ise, T periyodu içerisinde sonlu sayıda süreksizlik noktası bulunmalıdır.
- Fonksiyonun T periyodu için sonlu ortalama değeri bulunmalıdır.
- Fonksiyonun sonlu sayıda pozitif ve negatif maksimum değerleri olmalıdır.

Dirichlet şartları olan bu şartlar sağlandığında fonksiyonun Fourier açılımından bahsedebiliriz. Elektrik enerji sistemlerindeki dalga formları her zaman bu koşulları sağladığından Fourier bileşenlerinin elde edilmesi mümkündür[3].

Elektrik sistemlerinde,

$$f(t) = A_0 + A_1 \cos wt + A_2 \cos 2wt + A_3 \cos 3wt + \dots + A_n \cos nwt + B_1 \sin wt + B_2 \sin 2wt + B_3 \sin 3wt + \dots + B_n \sin nwt \quad (1.1)$$

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos nwt + B_n \sin nwt) \quad (1.2)$$

$$A_0 = \frac{a_0}{2} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(t) dt \quad (1.3)$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \cos nwt dt = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (1.4)$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \sin nwt dt \quad (1.5)$$

$$\varphi_n = \arctan \left(\frac{b_n}{a_n} \right) \quad (1.6)$$

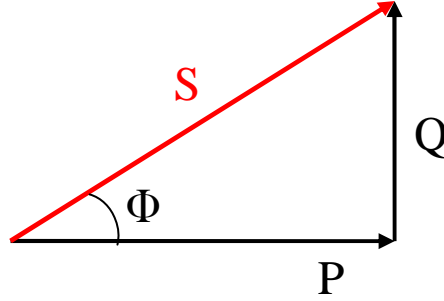
Buna göre;

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega t \mp \varphi_n) \quad (1.7)$$

Eşitlik elektriksel anlamda, A_0 katsayısı doğru akım bileşenini A_n ve φ_n n. harmonik bileşeninin açı ve genliği olarak tanımlanır[4].

1.2.2 Sinüsoidal dalga şeklinde elektriksel büyüklükler

Elektriksel büyüklükleri belli periyodik fonksiyonlarda ifade edebiliriz. Sinüsoidal dalga durumunda güç büyüklükleri Şekil 1.1’de güç üçgeninde görülmektedir.



Şekil 1.1 Sinüsoidal dalga durumunda güç üçgeni

Burada S görünür gücü, P aktif gücü, Q reaktif gücü ifade etmektedir.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1.8)$$

$$P = V_{RMS} I_{RMS} \cos \phi \quad (1.9)$$

$$Q = V_{RMS} I_{RMS} \sin \phi \quad (1.10)$$

Ani güç ise;

$$P(t) = v(t)i(t) \quad (1.11)$$

Aktif güç P; T periyodu içerisinde harcanan ani güç olarak tanımlanır.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad (1.12)$$

Akım ve gerilim RMS değerleri ise;

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad (1.13)$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \quad (1.14)$$

Görünür güç;

$$S = V_{RMS} I_{RMS} \quad (1.15)$$

Güç faktörü;

$$GF = \frac{P}{S} = \cos \phi \quad (1.16)$$

Güç faktörü, AC güç sistemlerinde yük tarafında iş yapabilme verimliliğini ve efektif olarak ne oranda kullanıldığını ifade eden bir parametredir. Burada dikkat edilecek husus sinüsoidal dalgada bulunan bir elektriksel karakteristiğin aktif güç ile görünür güç arasında kalan açının cosinüse eşit olmasıdır. Bizim bu bakımda ideal görmek istediğimiz güç faktörünün $\cos \phi$ 'e eşit ve 1 değerine yakın olmasıdır. Bu, hem cezai durumu hem de sistemin efektif anlamda kullanılmasını etkilemektedir. Fakat bu eşitlik nonsinüsoidal durumda kaybolmaktadır.

1.2.3 Nonsinüsoidal dalga şeklinde elektriksel büyüklükler

Ani güç, aktif güç, RMS (etkin değer) değer, görünür güç ve güç faktörü için yukarıda yapılan tanımlar akım ve gerilimin periyodik fonksiyonlar olarak değişiminde geçerlidir. Sinüsoidal değişim göstermeyen işaretlerde (nonsinüsoidal akım ve gerilim dalga biçimi) ise bu eşitlikler aşağıdaki biçimde yazılabilir[5].

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} v_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} V_n \sin(n\omega_1 t + \theta_n) \quad (1.17)$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} i_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega_1 t + \delta_n) \quad (1.18)$$

Burada v_n ve i_n n. harmonik geriliminin ve akımının ani değeridir. V_n ve I_n sırasıyla n. harmonik mertebesi için gerilim akımın RMS (etkin- efektif) değeridir. ω_1 , ise temel frekansa (f_1) ait açısal frekanstır. θ_n ile δ_n ise sırasıyla n. harmonik için gerilim ve akıma ait faz açılarıdır[5].

Aktif güç;

$$P(t) = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad (1.19)$$

$$P(t) = \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n \cos(\theta_n - \delta_n) \quad (1.20)$$

Akım ve gerilimin RMS değerleri ise;

$$V_{RMS} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2} \quad (1.21)$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} \quad (1.22)$$

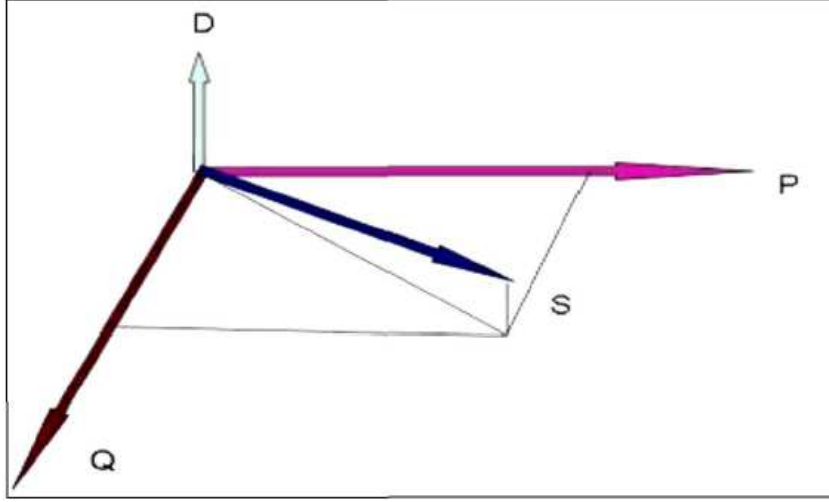
RMS değeri harmonikleri içeriyor ise RMS değeri “true RMS” olarak tanımlanır.

Görünür güç;

$$S = VI \quad (1.23)$$

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 \quad (1.24)$$

İfade içerisinde yer alan D, distorsiyon gücü olup birimi VA'dır. Şekil 1.2'de D,S,P ve Q'nun üç boyutlu vektör diagramı verilmiştir.



Şekil 1.2 Nonsinüsoidal dalga durumunda güç üçgeni

Güç faktörü;

$$GF = \frac{P}{S} \quad (1.25)$$

şeklinde ifade edilir.

1.2.3.1 Toplam harmonik distorsiyonu (THD)

Gerilim ve akım büyüklükleri için toplam harmonik distorsiyonu (THD);

$$THD_v = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} |V_n|^2}{|V_1|^2}} \times \% 100 \quad (1.26)$$

$$THD_i = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} |I_n|^2}{|I_1|^2}} \times \% 100 \quad (1.27)$$

ifade edilir.

1.2.3.2 Distorsiyon faktörü (DF)

Akım ve gerilim değeri için distorsiyon faktörü;

$$DF_I = \frac{1}{I_{RMS}} \left(\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.28)$$

$$DF_V = \frac{1}{V_{RMS}} \left(\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.29)$$

şeklindedir.

1.2.3.3 Tepe faktörü (CF)

Nonsinüsoidal dalgalar için tepe faktörü;

$$CF = \text{Dalğanın Tepe Değeri} / \text{Dalğanın Efektif Değeri} \quad (1.30)$$

olarak ifade edilir.

1.2.3.4 Transformatör K- Faktörü

Güç sistemlerinde harmonik akımlar mevcut olduğunda standart transformatörlerin yüklenme kapasitesindeki azalma miktarını hesaplamak için kullanılan bir kavramdır.

Nonlinear yükleri besleyen bir transformatör için K-Faktörü;

$$K = \sum_{n=1}^{\infty} \left(n \frac{I_n}{I_1} \right)^2 \quad (1.31)$$

olarak tanımlanır.

Transformatörün efektif akımına göre normlaştırıldığında K-Faktör değeri;

$$K = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} (nI_n)^2}{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} (nI_n)^2}{I_{RMS}^2} = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \left(n \frac{I_n}{I_1} \right)^2}{\left(\frac{I_{RMS}}{I_1} \right)^2} = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \left(n \frac{I_n}{I_1} \right)^2}{1 + THD_i^2} \quad (1.32)$$

şeklini alır.

1.2.3.5 Toplam talep distorsiyonu (TTD)

Toplam talep distorsiyonu, bir yüke ait değer olup toplam harmonik akım distorsiyonu olarak aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$TTD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_L} \quad (1.33)$$

Burada I_L yük tarafından, besleme sisteminin ortak bağlantı noktasından çekilen, temel frekanslı maksimum akımdır. On iki ay öncesinden başlanarak hesaplamanın yapılacağı ana kadar olan süre zarfında yük tarafından talep edilen maksimum akımların ortalaması olarak hesaplanır. TTD kavramı IEEE ‘‘Standart 519’’ uygulamasında özellikle belirtilmiştir[5].

1.2.3.6 Şekil (Form) faktörü

Şekil faktörü nonsinüsoidal bir dalga için,

$$k_f = \text{Efektif Değer} / \text{Ortalama Değer} \quad (1.34)$$

olarak tanımlanır. Bozulmuş sinüsoidal bir dalganın bozulma ölçütünü verecek olan bu faktör sinüsoidal bir dalga için 1,11 değerine eşittir.

1.2.3.7 Telefon etkileşim faktörü (TEF)

Telefon etkileşim faktörü, elektrik enerji sistemindeki harmonik akım ve gerilimlerinden kaynaklanan telefon gürültü değerinin tayin edilmesine yarayan bir büyüklüktür. TEF değeri telefon sisteminin ve insan kulağının değişik frekanslardaki gürültüye olan duyarlılığına bağlı olarak ayarlanır. Söz konusu bu büyüklük gerilim ve akım için matematiksel olarak aşağıdaki denklemlerle hesaplanır:

$$TEF_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (w_n V_n)^2}}{V_{RMS}} \quad (1.35)$$

$$TEF_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (w_n I_n)^2}}{I_{RMS}} \quad (1.36)$$

1.2.3.8 Distorsiyon güç faktörü (DGF)

Harmonik içeren gerilim ve akımın efektif değerleri aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$V_{RMS} = V_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_V}{100}\right)^2} \quad (1.37)$$

$$I_{RMS} = I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2} \quad (1.38)$$

Aynı şekilde harmonikli durumdaki toplam güç faktörü;

$$GF_{toplama} = \frac{P}{V_1 I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_V}{100}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} \quad (1.39)$$

olarak ifade edilir. Bu eşitlik aynı zamanda,

$$GF_{toplama} = GF_{dist} \cos(\theta_1 - \delta_1) \quad (1.40)$$

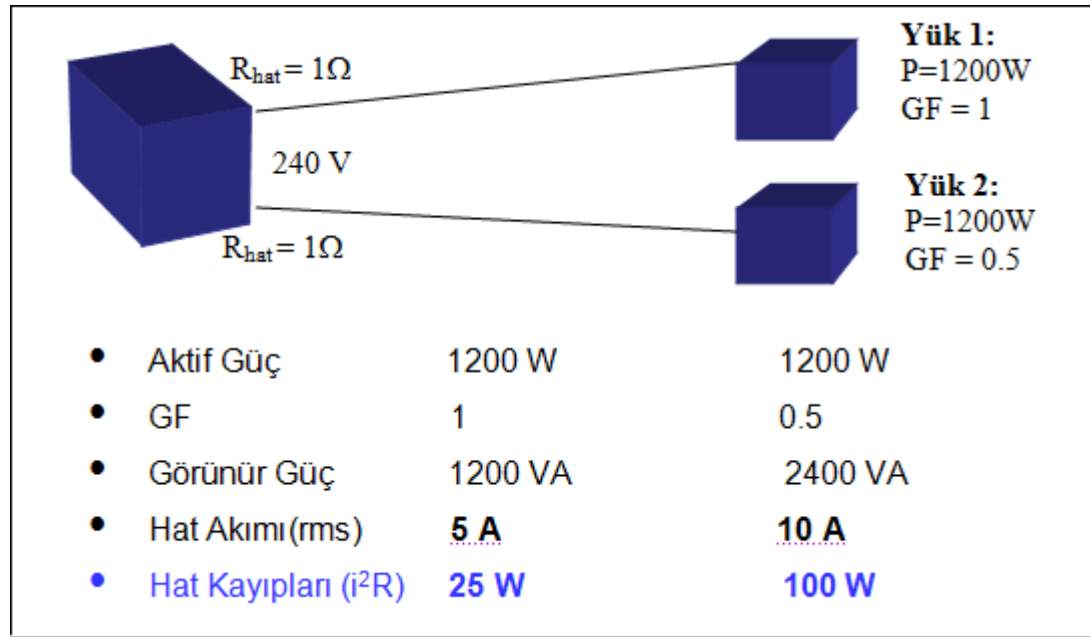
ile de verilir. Burada ilk terim GF_{dist} distorsiyon güç faktörünü ve ikinci terim $\cos(\theta_1 - \delta_1)$ kayma güç faktörünü ifade eder. Kayma güç faktörü, 1'den büyük olamayacağından her zaman;

$$GF_{toplama} \leq GF_{dist} \quad (1.41)$$

olacaktır. Buradan yola çıkarak, yüksek akım distorsiyonlu tek faz nonlineer yükleri için, toplam güç faktörü daha da düşmektedir. Rezonansa neden olma ihtimalinden dolayı bu gibi yükler için güç faktörü düzeltici kondansatörler gerekmektedir. Distorsiyon güç faktörünü iyileştirmenin bir başka yolu ise nonlineer yükler tarafından üretilen harmonikleri yok etmek için pasif ve aktif filtreler kullanmaktır[5].

1.2.4 Reaktif güç kompanzasyonu

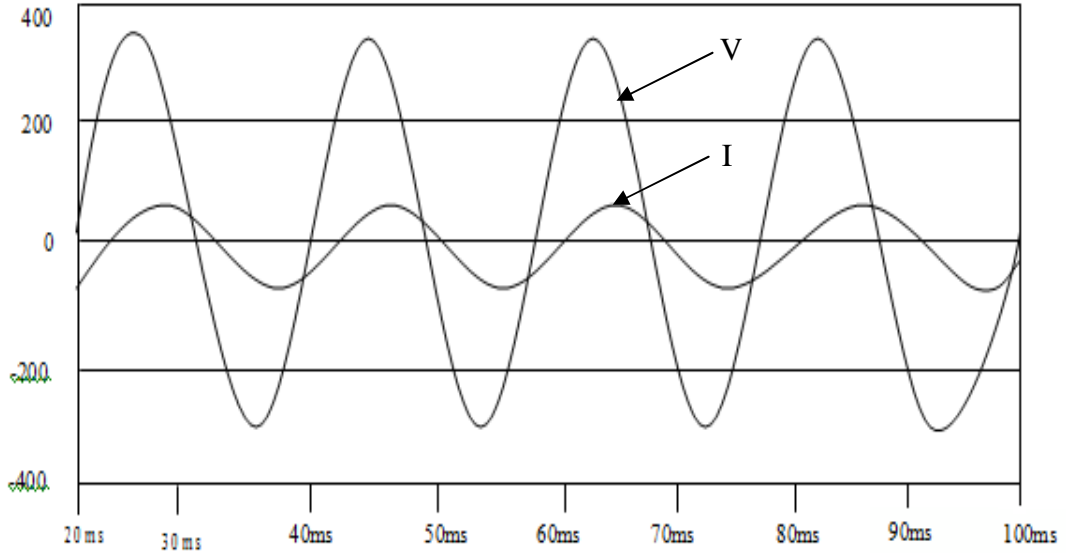
Elektrik enerjisine olan ihtiyacın gün geçtikçe artış göstermesinden dolayı enerji krizi ile karşı karşıya kalınmaması için bir yandan yeni enerji kaynakları araştırılırken, diğer yandan mevcut sistemlerden en verimli şekilde yararlanabilmek amacıyla bazı çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan birisi de reaktif gücün kompanse edilmesidir. Yani güç faktörünün düzeltilmesidir. Şekil 1.3' de reaktif güç kompanzasyonunun GF, hat akımı, hat kayıpları üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 1.3 Reaktif güç kompanzasyonunun GF, hat akımı ve hat kayıplarına göre örneklenmesi

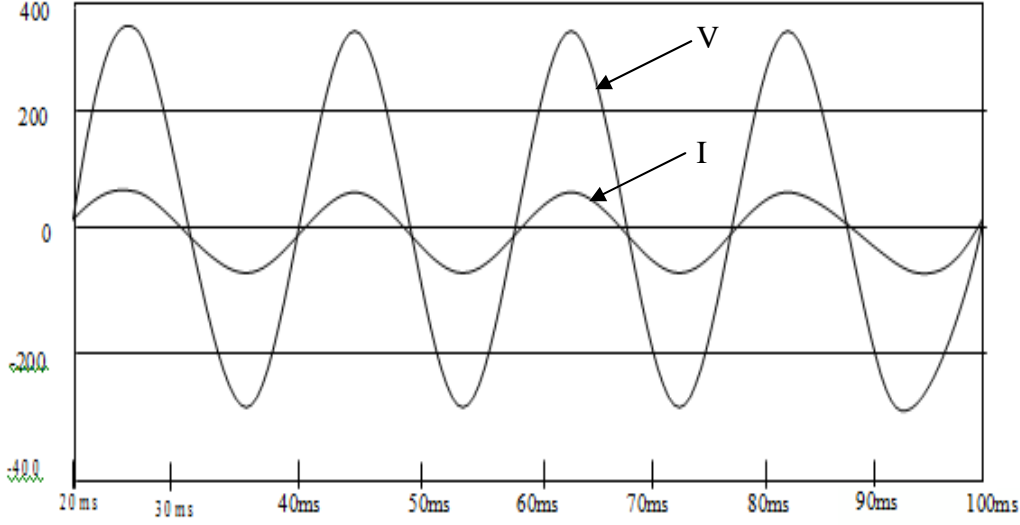
Alternatif akım tüketicileri şebekeden alternatif akım çekerler. Bu akım aktif (etkin) akım ve reaktif (tepkin) akım olmak üzere iki bileşenden oluşur. Aktif akımın meydana getirdiği aktif güç motorlarda mekanik güce, ısıtıcı cihazlarında ısı enerjisine ve termik güce, aydınlatma cihazlarında ışık enerjisine dönüşür. Reaktif akımın meydana getirdiği reaktif güç ise faydalı güce çevrilemez. Fakat endüksiyon prensibine göre çalışan generatör, transformatör, bobin ve motor gibi bütün işletme araçlarının normal çalışmaları için gerekli olan manyetik akı reaktif akım tarafından meydana getirilir. Bilindiği gibi, endüksiyon prensibine göre çalışan bütün makineler ve cihazlar, manyetik akımın meydana getirilebilmesi için bir mıknatıslanma akımı çekerler, bu mıknatıslanma akımı reaktif akımdır[6]. Generatörlerde üretilen elektrik enerjisi iletilmekte, dağıtılmakta

ve son aşamada yükler tarafından kullanılmaktadır. Güç sistemlerinde aktif güç akışının yanında yükün ve sistemin gereksinimini karşılayabilmek için reaktif güç akışı da olmalıdır. Aktif güç generatörlerden yüklerle iletilecektir. Oysa reaktif güç için böyle bir zorunluluk yoktur. Reaktif gücün gereksinim duyulan noktaya en yakın yerde üretilmesinin elektrik sisteminin en iyi koşullarda çalıştırılması açısından büyük yararları vardır. Tüketicilerin normal olarak şebekeden çektikleri endüktif reaktif gücün şebeke yerine, kapasitif reaktif güç alma koşulu ile, özel bir reaktif güç üreticisinden sağlmasına “Reaktif Güç Kompanzasyonu” denir. Bu işlemin doğal sonucu olarak sistemin belirli noktalarında gözüken güç faktörü düzeltilecektir[7]. Şekil 1.4’de yük karakteristiği reaktif olan bir sistemde gerilim ve akım arasında faz farkı olan sinüsoidal dalga şekilleri görülmektedir.



Şekil 1.4 Reaktif güç sisteminde çekilen akım ve şebeke gerilimi

Şekil 1.5’de reaktif güç kompanzasyonu sonucu oluşan durumda gerilim ve akım arasında faz farkının olmadığı görülmektedir.



Şekil 1.5 Kompanzasyonlu sistemin düzelttiği gerilim ve akım şekilleri

1.2.4.1 Amacı

Yük kompanzasyonunun üç ana amacı vardır:

1. Güç katsayısını düzeltmek,
2. Gerilim düşümü ve güç kaybını azaltmak,
3. Boş yere hattın yüklenmesini önlemek.

Güç katsayısının düzeltilmesi, yüke gerekli olan reaktif gücün hemen yükün yanında güç kompanzasyon sistemi yardımı ile üretilmesi olarak tanımlanabilir.

Reaktif gücün varolması, enerji iletim hatlarının, transformatörlerin ve generatörlerin gerçek faydalı güce karşı düşen akımdan daha büyük akım taşımalarına yol açar. Bu da sistemin aşırı yüklenmesine neden olur. Elektrik güç sistemlerinde, 2008 yılında yapılan son düzenleme ile EPDK'nın 'Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği' gereğince son kullanıcının endüktif reaktif güç tüketiminin aktif güç tüketimine oranı %20'yi ($\cos \phi = 0.98$), kapasitif reaktif güç tüketiminin aktif güç tüketimine oranı %15'i ($\cos \phi = 0.99$) aşmaması gerektiği belirtilmiştir[8].

Kompanzasyon çeşitleri tesisler bazında düşünüldüğünde 4 grupta sınıflandırılabilir.

- Orta gerilimde kompanzasyon
- Merkezi kompanzasyon

- Grup kompanzasyon
- Bireysel kompanzasyon

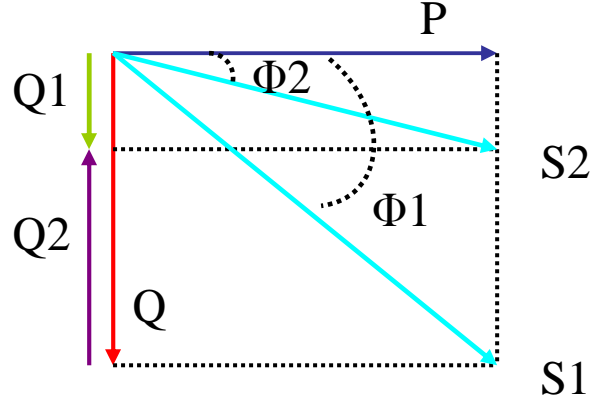
Gerilim düşümü ve güç kaybı azaltılmasında eğer bir alternatif akım şebekesi sonsuz güçte olursa iç empedansı sifıra yakın bir değer alır. Bu nedenlerle gerilim değişmelerini kompanze etmek, diğer bir deyişle sabit tutmak için yüklerin reaktif güçleri kompanze edilir. Kompanze edilecek birimler yükün olduğu yere bağlanır. Kompanze edilmemiş bir yükün aldığı reaktif güç ya da ani reaktif güç değişimleri, eşdeğer empedansları sifır olmayan sonlu güçlü gerçek şebekede gerilim değişimlerine neden olur. Bu gerilim değişimleri aynı noktaya bağlı diğer elektrik enerjisi alıcılarının olumsuz yönde etkilenmesine yol açar ve gerilim değişmelerine neden olan yükün de optimum çalışma koşullarını bozar. Gerilim değeri değişmesinin %5' den az olması istenir.

Kompanze edilmemiş bir yükün şebekeden çekeceği akım daha büyük olacağından hatlardaki ısı kayıpları da fazla olacaktır. Hatlardaki ısı kayıplarının fazla olması sistemin optimum çalışma şartlarını bozar. Onun için kompanzasyon yapılarak ısı kayıpları da en aza indirilmelidir.

Boş yere hattın yüklenmesinin önlenmesi gerekmektedir. Çünkü güç faktörü düzeltilmemiş bir şebekede gereksiz yere reaktif gücün neden olduğu akımlar dolaşır. Bu akımların dolaşımı, hatların kapasitesini azaltır. Elektrik enerjisi üreten generatörlerden daha fazla akım çekilmesine neden olur. Çekilen bu akımların aktif bileşenleri küçük olacağından düşük verimle çalışacaklardır.

1.2.4.2 Elektriksel hesaplamalar

Reaktif güç kompanzasyonunda aktif güç sabit tutularak görünür güçte, reaktif güçte ve güç açısında olan değişiklikler Şekil 1.6'da gösterilmektedir.



Şekil 1.6 Reaktif güç kompanzasyonunda gerekli olan kondansatör gücü ($P=$ sabit)

$$v(t) = V \sin \omega t \quad (1.42)$$

$$i(t) = I \sin(\omega t \pm \phi) \quad (1.43)$$

$$s(t) = v(t)i(t) \quad (1.44)$$

Verilen ifadelerden yola çıkarak reaktif güç kompanzasyonu için gerekli kondansatör gücü;

$$Q_c = P(\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (1.45)$$

formülü ile hesaplanabilir.

2. ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ BOZULMALAR

2.1 Giriş

Elektrik güç sistemlerindeki enerji kalitesini etkileyen ortak bozulmalar aşağıda belirtildiği gibi sınıflandırılmaktadır.

- a) Gerilim Düşmesi (Çökme),
- b) Gerilim Yükselmesi,
- c) Anlık Kesintiler,
- d) Geçici Olaylar,
- e) Gerilim Dengesizliği,
- f) Harmonikler,
- g) Gerilim Dalgalanmaları,

Çizelge 2.1 'de elektromanyetik bozulmaların karakteristikleri gerilim genliklerine, devam etme sürelerine, dalga şekli tiplerine göre tanımlanmaktadır[9].

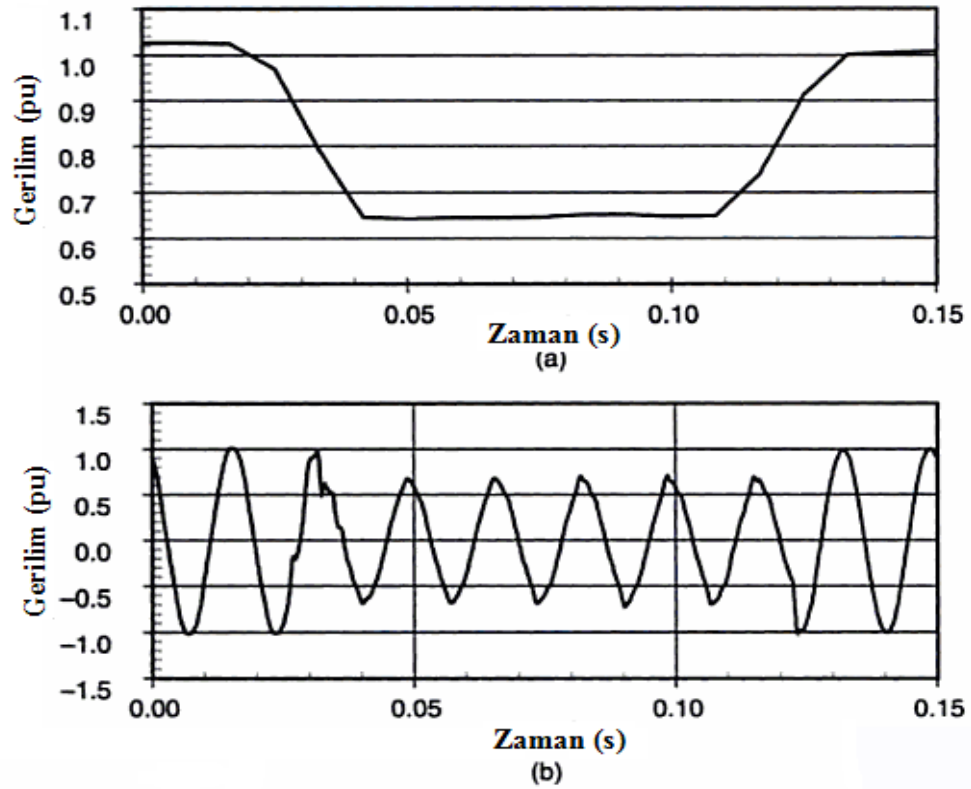
Çizelge 2.1 : Güç sistemlerindeki bozulmaların karakteristikleri[10]

Kategorisi		Dalga Şekli İçeriği	Tipik Devam Süresi	Gerilim Genliği	
Geçici Olaylar	Anlık Darbeler	Nanosaniye mertebesi	5 ns yükseliş	<50 ns	
		Mikrosaniye mertebesi	1µs yükseliş	50ns -1 ms	
		Milisaniye mertebesi	0,1 ms yükseliş	>1ms	
	Salınımlar	Düşük frekanslı	<5kHz	0,3-50 ms	0- 4 pu
		Orta frekanslı	5-500 kHz	20 µs	0-8 pu
		Yüksek Frekanslı	0,5-5 MHz	5 µs	0-4 pu
Kısa Süreli Değişimler	Anlık Değişimler	Kesintiler		0,5-30 periyot	< 0,1 pu
		Gerilim Düşümü		0,5-30 periyot	0,1-0,9 pu
		Gerilim Yükselmesi		0,5-30 periyot	1,1-1,8 pu
	3 Saniyeye Kadar Olan Değişimler	Kesintiler		30 periyot-3 s	< 0,1 pu
		Gerilim Düşümü		30 periyot-3 s	0,1-0,9 pu
		Gerilim Yükselmesi		30 periyot-3 s	1,1-1,4 pu
	1 Dakikanın Altındaki Değişimler	Kesintiler		3s-1 dk	< 0,1 pu
		Gerilim Düşümü		3s-1 dk	0,1-0,9 pu
		Gerilim Yükselmesi		3s-1 dk	1,1-1,2 pu
Uzun Süreli Değişimler	Tam Kesintiler		> 1 dk	0,0 pu	
	Gerilim Düşümü		> 1 dk	0,8-0,9 pu	
	Gerilim Yükselmesi		> 1 dk	1,1-1,2 pu	
Gerilim Dengesizliği			Sürekli Durum	% 0,5-2	
Gerilim İşaretinin Bozulması	DC Bileşen			Sürekli Durum	% 0-0,1
	Harmonikler		0-100. Harmonikler	Sürekli Durum	% 0-20
	Ara Harmonikler		0-6 kHz	Sürekli Durum	% 0-2
	Çentikler			Sürekli Durum	
	Gürültü		Geniş Band	Sürekli Durum	% 0,1
Gerilim Dalgalanmaları		< 25 Hz	Aralıklarla Oluşur	% 0,1-7	
Güç Frekansı Değişimleri			< 10 s		

2.2 Kısa Süreli Gerilim Değişimi

2.2.1 Gerilim düşmesi (çökme)

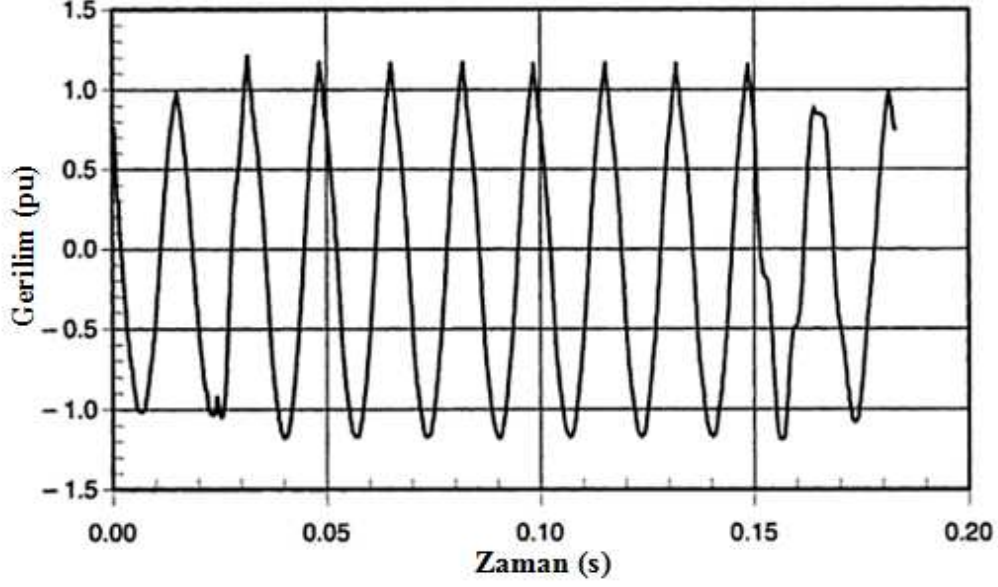
Gerilim efektif değerinin 10 ms ile 1 dakika arasındaki sürede 0,1 ile 0,9 pu arasında azalması olarak tanımlanır. Gerilim çökmeleri, şebekeden kaynaklanan arıza akımları veya büyük güçlü motorların kalkış zamanında çektiği yüksek akımlardan meydana gelmektedir. Şekil 2.1' de gerilimin efektif değerinde ve dalga şeklindeki düşüm grafiksel olarak görülmektedir[9].



Şekil 2.1 Faz-toprak arızasından kaynaklanan gerilim düşmesi a) Gerilim efektif değerindeki düşüm b) Gerilim dalga şeklindeki düşüm[9]

2.2.2 Gerilim yükselmesi

Gerilim efektif değerinin 10 ms ile 1 dakika arasındaki sürede 1,1 ile 1,8 pu arasında artması olarak tanımlanır. Faz-toprak arızasında arızasız fazlarda gerilim yükselmesi meydana gelmektedir. Gerilim yükselmesi, büyük bir yük devreden çıktığında veya büyük güçlü bir kondansatör grubu enerjilendiğinde meydana gelmektedir. Şekil 2.2' de faz-toprak arızasından kaynaklanan bir gerilim yükselmesi görülmektedir[9].



Şekil 2.2 Faz-toprak arıza nedeniyle anlık oluşan gerilim yükselmesi[9]

2.2.3 Kesinti

Besleme geriliminde 1 dakikayı geçmeyecek sürede gerilimde oluşacak azalma 0,1 pu' dan daha düşük olursa kesinti meydana gelmektedir. Kesintiye arızalar, kontrol arızaları veya yanlış ekipman seçimi neden olmaktadır.

Kısa süreli gerilim değişimleri sınıflandırırken kendi sürelerine bağlı olarak üç grupta incelenmektedir.

- a) Anlık değişimler: 0,5- 30 periyot
- b) 3 saniye kadar olan değişimler: 30 periyot-3 saniye
- c) 1 dakikanın altındaki değişimler: 3 saniye- 1dakika[11].

2.3 Uzun Süreli Gerilim Değişimi

2.3.1 Aşırı gerilim

Gerilim efektif değerinin 1 dakikadan daha uzun süre için % 110 ve üst değerini geçmesi ile tanımlanmaktadır. Enterkonnette şebekede veya dağıtım sistemindeki büyük bir yükün devreden çıkması veya kondanstör grubunun tamamen devreye alınması sonucu aşırı gerilim oluşumu meydana gelmektedir. Transformator gerilim ayarının doğru yapılamaması veya kontrolünün yapılamaması sonucu da meydana gelmektedir[9,11].

2.3.2 Düşük gerilim

Gerilim efektif değerinin 1 dakikadan daha uzun süre boyunca % 90 ve altındaki değerlerde olması sonucu tanımlanan bir gerilim değişimidir. Buna neden olan olaylar büyük güçlü bir yükün devreye girmesi veya kondansatörlerin devre dışı kalması olarak ifade edilmektedir. Sistemdeki aşırı yüklenmeler gerilimin değerinde düşmelere neden olmaktadır[9,11].

2.3.3 Kalıcı gerilim kesintileri

Gerilim efektif değerinin 1 dakikadan daha uzun süre değerinin sıfıra düşmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu tür kesintiler tekrardan sistem bakımına neden olmaktadır[9,11].

2.4 Geçici Hal

Geçici haller, darbeleri ve salınım şeklinde geçici hal olarak iki kısımda incelenmektedirler.

2.4.1 Darbeleri geçici hal

Polarite bakımından tek yönlü (pozitif veya negatif) gerilim ve/veya akımın, sürekli hal durumunda güç frekansında olmayan ani değişimler olarak tanımlanmaktadır. Darbeleri geçici haller, genellikle darbenin yükselme veya düşme değerleri ve bununla birlikte darbe süresi ile karakterize edilmektedir. Darbeleri geçici halin en yaygın bilinen sebebi yıldırım düşmesidir.

2.4.2 Salınım şeklinde geçici hal

Sürekli hal çalışma frekansının dışında akım ve/veya gerilimin her iki polarite yönünde salınım yapması şeklinde oluşan geçici hal olarak tanımlanır. Salınım şeklinde geçici haller, frekans değerlerine göre düşük frekanslı, orta frekanslı ve yüksek frekanslı olarak sınıflandırılabilirler. Bu frekans değerleri, salınım süreleri ve gerilim büyüklükleri Çizelge 2.1 'de görülmektedir[9,11].

2.5 Gerilim Dengesizliği

Gerilim dengesizliği, simetrik bileşenler yöntemindeki sıfır bileşen (V_0), negatif bileşen (V_-), pozitif bileşen (V_+) kullanılarak ifade edilir. Yüzesel gerilim

dengelesizliğini belirtirken $\frac{V_0}{V_+}$ veya $\frac{V_-}{V_+}$ oranı olarak tanımlanmaktadır. Elektrik güç sistemlerinde gerilim dengelesizliğine özellikle tek fazlı yükler neden olmaktadır. Tek fazdan akım çeken yükler, diğer fazlarda negatif simetrik bileşen ürettiklerinden gerilim dengelesizliğine yol açarlar.

Büyük gerilim dengelesizliği, cihazlarda aşırı ısınmaya neden olur. Bu aşırı ısınma nedeniyle özellikle endüstride yoğunlukta kullanılan asenkron motorlarda değer kaybı oluşmaktadır[11].

2.6 Harmonik

Elektrik şebekesinden akım çeken nonlineer yükler, şebeke temel frekansından (50 Hz veya 60 Hz) farklı olarak tam katı frekanslarda akım ve gerilim büyüklerinin oluşmasını sağlarlar. Temel çalışma frekansındaki akım ve gerilim büyüklükleri ile farklı frekansda oluşan akım ve gerilim büyüklerinin toplamı sinüsoidal dalga şeklinde bozulmalara neden olmaktadır. Bu bozulmalara harmonik adı verilmektedir[11].

Harmonikler, akım veya gerilim büyüklüklerinin genlikleri yerine yüzdesel anlamda adlandırılırlar. Burada öne çıkan kavram THD değeridir. Akım ve gerilimin yüzdesel bozulumu THD olarak ifade edilir. THD değeri harmonikleri karakterize etmede tam olarak yeterli görülmediği için IEEE 519-1992 standardına göre maksimum yük akımına göre TTD kavramı ön plana çıkmaktadır. İki parametre birbirine paralellik göstermektedir. TTD değeri maksimum yük durumuna göre ifade edilmektedir. Harmoniklere neden olan etkenler, bunların giderilmesi konusunda yapılması gerekenler Bölüm 3 ve 4' de detaylı olarak yer almaktadır.

2.7 Ara Harmonik

Sistem çalışma frekansının tam katları olmayan frekansa sahip sinüsoidal dalga formunda gerilim ve akım şekilleridir.

Ara harmoniklere frekans konvertörleri, siklokonvertörler, asenkron motorlar, ark cihazlarının neden olduğu söylenebilir. Ara harmonikler iletim hattı taşıyıcı sinyallerini etkilerler ve televizyon, bilgisayar vb. tüplü cihazlarda görsel titreşimlere yol açarlar[11].

2.8 DC Bileşen

AC güç sisteminde DC gerilim veya akımın varlığından kaynaklı oluşan bir bileşendir. Bu bileşen yarım dalga doğrultucu veya jeomanyetik bozulmalar sonucu ortaya çıkmaktadır.

AC şebekede bulunan doğru akım transformatörü doyuma götürerek kayıpların artmasına, aşırı ısınmalara ve transformatör ömrünü azaltmaya neden olur. Ayrıca topraklamada kullanılan elektrodların elektrolid erezyona uğramasına neden olur[11].

2.9 Çentik

Üç fazlı konvertörler AC'den DC'ye dönüşüm yaparken iki faz arasında komutasyon yapılması söz konusudur. Komutasyon sırasında iki faz arasında meydana gelen anlık kısa devrede oluşan gerilim bozulması olarak ifade edilmektedir.

Çentik ile ilişkili frekans bileşenleri oldukça yüksek olabilir ve harmonik ölçebilen ölçme cihazlarıyla bile bu değerler karakterize edilemeyebilir. Herhangi bir noktadaki çentik siddeti sistem empedansı ve konvertör ile izlenen nokta arasındaki izole edilmiş endüktans tarafından belirlenir[11].

2.10 Gürültü

Güç devrelerinin kontrol devrelerinde meydana gelen istenmeyen etkileri üreten, band genişlik aralığı 200 kHz'den düşük olan elektrik sinyalleri olarak tanımlanır.

Güç sistemlerinde gürültü, güç elektroniği cihazları, kontrol devreleri, ark ekipmanı, transistör gibi anahtarlamalı doğrultucular ile kullanılan yükler ve güç kaynakları tarafından oluşmaktadır. Gürültü problemleri genellikle yanlış topraklama yapılması nedeniyle oluştuğu bilinmektedir. Gürültü gerilimleri ortak mod gürültü gerilimi ve normal mod gürültü gerilimi şeklinde iki tipte incelenmektedir.

Ortak mod gürültü gerilimi, akım taşıyan iletkenler ile toprak arasında görülen bir gürültü gerilimidir. Normal mod gürültü gerilimi, aktif devre iletkenlerinin birbirleri arasında görülen gürültü gerilimidir.

Gürültü problemleri filtreler, izole transformatörler ve hat düzenleyiciler (kondansatör, endüktans vb.) kullanılarak yok edilebilirler[11].

2.11 Gerilim Dalgalanması

ANSI C84.1-1992 standardına göre 0,9 ile 1,1 pu arasındaki gerilim değerlerini aşmayan rastgele veya sistematik gerilim değişimi olarak tanımlanır. Yük akımından kaynaklı gerilim dalgalanmaları fliker olarak adlandırılır[11].

Gerilim dalgalanmaları, kendi efektif değerinin temel büyüklüğün bir yüzdesi olarak tanımlanırlar. Enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde ark fırtınasının meydana getirdiği gerilim dalgalanmaları yaygın rastlanan bir durumdur. Aydınlatmaya etki eden bu durum, gözlerde kamaşmaya da neden olmaktadır.

2.12 Frekans Değişimleri

Güç sisteminin nominal frekansından (50 Hz, 60 Hz gibi) sapması olarak tanımlanır. Frekans, herhangi bir anda mevcut güç kaynağı kapasitesine ve yük arasındaki dengeye bağlıdır. Dinamik denge değişiklikleri olduğunda frekansda küçük değişiklikler meydana gelir. Modern enterkonnete şebekede frekans, iyi bir düzenleme ile sık aralıklarla kontrol altında tutulur.

Frekanstaki sapma miktarı, yük karakteristiğine ve/veya generatör kontrolünün yük değişimine vereceği cevaba göre değişir.

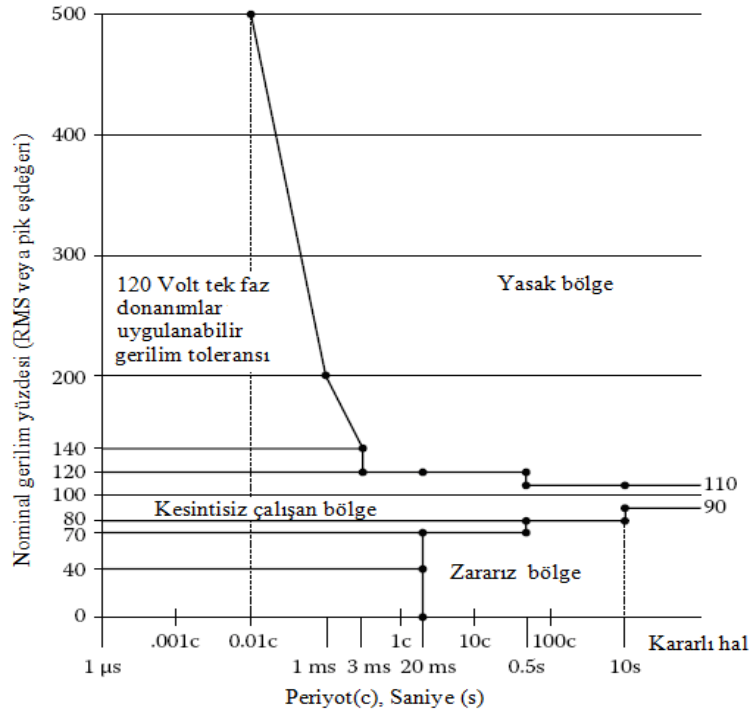
Gerilim çentikleri, aniden sıfıra yakın bir değere düşerek bazı kontrol cihazlarını etkileyebilirler ve dolayısıyla frekansda da değişimlere yol açabilirler[11].

2.13 Belirsiz Terimler

Elektrik güç kalitesinde ifade edilen terimlerin belli teknik koşullara göre tanımlandığı görülmektedir. Bu terimler ile birlikte elektrik güç kalitesini etkileyen, fakat IEEE 1159-1995 standardında da ifade edilen teknik verilere dayanmayan terimler de mevcuttur. Bu terimler teknik parametrelere dayanmayan muğlak ifadelerdir. Bu terimler güç dalgalanması, ham güç, temiz güç, temiz toprak, elektriksel çarpma, aydınlatmada rastlanılan göz kırpması vb. ile ifade edilen terimlerdir[11].

2.14 CBEMA ve ITI Eğrileri

CBEMA eğrisi, Bilgisayar İş Ekipmanları Üreticileri Birliği (CBEMA) tarafından geliştirilmiş ve IEEE 446 standardına göre benimsenmiştir. CBEMA tekrardan isimlendirilen Bilgi Teknoloji Endüstri (ITI) konseyi, geliştirilerek orijinal CBEMA eğrisini oluşturmaktadır. Şekil 2.3’ de CBMEA eğrisi 2000 yılında yapılan son düzenleme ile gösterilmektedir.



Şekil 2.3 ITI (CBEMA) Eğrisi (2000’de yapılan son düzenleme)

Sınırlı toleranslı bölge olan zararsız bölgede, uygulanan gerilim değeri çok düşüktür. Hassas bilgisayar donanımları için düzgün çalışmayacakları bir bölgedir. Ama bu donanımlara da zarar vermez. Yasak bölgede, ciddi gerilim yükselmeleri nedeniyle bilgisayar donanımları zarar görebilir.

CBEMA ve ITI eğrilerinin her ikisinde de kullanılmak için 60 Hz 120 V luk dağıtım gerilim sistemi geliştirildi. Uygulamada 50 Hz 240 V dağıtım sistemi için kullanıcı kararlarına göre bu iki eğriyi uygulayabilmeleri mümkündür.

Bu eğriler için yasal bir zorunluluk olmamasına rağmen orijinal bilgisayar donanımı üreticileri üretimde bu istisnai durumları ve limitleri göz önüne almaktadırlar[11].

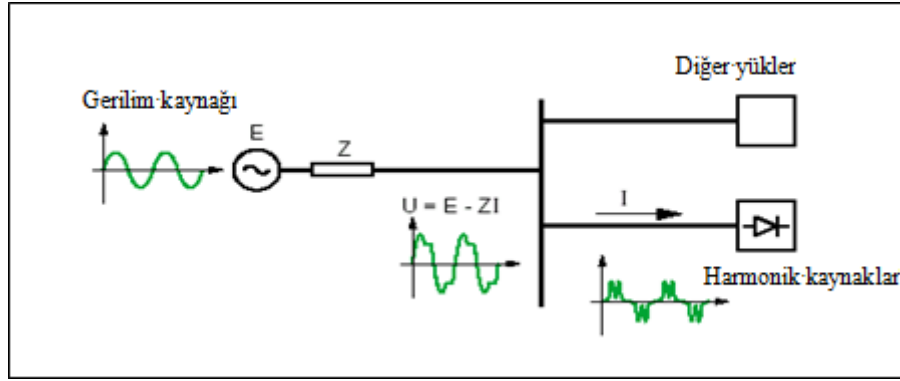
Sonuç olarak, elektrik güç kalitesi ile ilgili olan bozulmaların sebepleri, etkileri ve çözüm önerileri Çizelge 2.2’ de özetlenmektedir.

Çizelge 2.2 : Elektrik güç sistemlerindeki bozulmaların nedenleri, sonuçları ve çözüm örnekleri[12]

Güç Kalitesinde Bozulmalar	Nedenleri	Sonuçları	Hafifletici çözüm örnekleri (özel cihaz ve değişiklikler)
Gerilim değişiklikleri ve dalgalanmaları	<ul style="list-style-type: none"> •Büyük yük dalgalanmaları (kaynak makineleri, ark fırını, vb.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Lambaların parlaklığında dalgalanma (gidip gelme). 	<ul style="list-style-type: none"> •Elektromekanik reaktif güç dengeleyici, • Gerçek zaman reaktif dengeleyici, seri elektronik dengelyici, • Kademe değiştirici.
Gerilim düşüklükleri	<ul style="list-style-type: none"> •Kısa devre, •Büyük yüklerin anahtarlanması (motor yol verme, vb.), •Yıldırım düşmesi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prosesin kesilmesi veya kapanması: veri kaybı, yanlış veri, • Kontaktörlerin açılması, • Tahriklerin kilitlemesi, • Motorların yavaşlaması veya durması, • Gaz değarjlı lambaların sönmesi. 	<ul style="list-style-type: none"> • UPS, gerçek zaman reaktif dengeleyici, • Dinamik elektronik gerilim regülatörü, yumuşak yol verme, seri elektronik dengeleyici, • Kısa devre gücünü (Sk'') arttırmak, • Koruyucu cihazların seçiciliğini değiştirmek..
Kesintiler	<ul style="list-style-type: none"> • Kısa devre, • Aşırı yük, • Bakım, istem dışı açılma. 		<ul style="list-style-type: none"> • UPS, mekanik kaynak transferi, statik transfer anahtarı, sıfır zaman seti, şönt devre kesici, uzaktan kumanda.
Harmonikler	<ul style="list-style-type: none"> • Doğrusal olmayan yükler (hız kontrol cihazları, ark fırınları, kaynak makineleri, gaz değarjlı lambalar, floresan lambaları, vb.). 	<ul style="list-style-type: none"> • Aşırı yükler (nötr iletken, kaynaklar, vb), • İstem dışı açılma, • Enerji veriminin düşmesi. 	<ul style="list-style-type: none"> •Anti-harmonik şok bobini, • Pasif veya aktif filtre, karma filtre, şok bobini, • (Sk'')'nü arttırmak, • Kirletici yükleri denetim altına almak, • Cihazın güç değerini azaltmak.
İç harmonik	<ul style="list-style-type: none"> • Dalgalanma yükleri (ark fırınları, kaynak makineleri, vb), • Frekans değiştiriciler. 	<ul style="list-style-type: none"> •Gidip gelme (titreme), • Ölçüm sinyallerinin kesilmesi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Seri direnç.
Geçici aşırı gerilimler	<ul style="list-style-type: none"> • Bağlama donanımının ve kondansatörlerin çalışması, • Aydınlatma. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tahriklerin kilitlemesi, • İstem dışı açılma, • Bağlama donanımının bozulması, • Yangın. 	<ul style="list-style-type: none"> •Parafudur, yıldırım yönlendirici, ön ekleme direnci, • Şok bobinleri, • Statik otomatik dengeleyici.
Gerilim dengesizliği	<ul style="list-style-type: none"> • Dengesiz yükler (büyük tek fazlı yükler, vb.). 	<ul style="list-style-type: none"> • Ters motor torku (vibrasyon) ve asenkron makinelerin aşırı ısınması. 	<ul style="list-style-type: none"> • Yükleri dengelemek, • Şönt elektronik dengeleyici, • Dinamik elektronik gerilim regülatörü, • (Sk'') 'nü artırınız.

3. HARMONİKLER

Yarı iletken elemanların yapısı gereği ve sanayide kullanılan bazı doğrusal olmayan yüklerin (transformatör, ark fırınları vb.) etkisiyle; akım ve gerilim dalga biçimleri, periyodik olmakla birlikte temel sinüsoidal dalga ile frekans ve genliği farklı birçok sinüsoidal dalgalarının toplamından meydana gelmektedir. Temel dalga dışındaki sinüsoidal dalgalara harmonik denir. Şekil 3.1’de güç sistemlerindeki basite indirgenmiş harmoniksel bozulma devresi modellenmiştir[12].



Şekil 3.1 : Doğrusal olmayan bir yükün sebep olduğu harmonik bozulma devresi[12]

3.1 Harmonik Üreten Kaynaklar



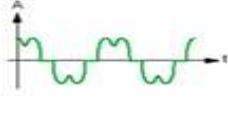





Bilindiği gibi elektrik güç sistemlerinde gerilim ve akımın dalga şeklinin sinüs biçiminden sapmasına neden olan harmonik bileşenleri, harmonik kaynağı olarak nitelendirilen ve akım-gerilim karakteristiği lineer olmayan elemanlar tarafından üretilmektedir. Harmonikleri meydana getiren elemanlar genel olarak şu şekilde verilebilir:

- ❖ Konverterler,
- ❖ Yarı iletken elemanların kullanıldığı cihazlar,
- ❖ Jeneratörler,
- ❖ Motorlar,
- ❖ Senkron makinelerin uyarılması için kullanılan diyot ve tristörlü dönüştürücüler,

- ❖ Transformatörler,
- ❖ Gaz deşarj prensibi ile çalışan aydınlatma elemanları,
- ❖ Fotovoltaik sistemler,
- ❖ Bilgisayarlar,
- ❖ Elektronik balastlar
- ❖ Kesintisiz güç kaynakları,
- ❖ Kaynak makineleri,
- ❖ Kontrol devreleri,
- ❖ Frekans dönüştürücüler,
- ❖ Statik VAr kompanzatörleri,
- ❖ Yüksek doğru gerilim ile enerji iletim (HVDC) sistemleri,
- ❖ Elektrikli ulaşım sistemleri.

Enerji sisteminde harmoniklerin etkinliğinin belirlenmesi ve olumsuzlukların giderilmesi bakımından tüm harmonik üreten elemanların harmonik kaynağı olarak ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir. Harmonik üreten bazı temel kaynaklara ilişkin yüklerin bozunum değerleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir[5].

Çizelge 3.1 : Belli başlı harmonik kaynaklı yüklerin karakteristikleri[12,13]

Doğrusal Olmayan Yükler	Akım İlişkin Dalga Formu	Spektrum	THD %
Hız Kontrol (motor)			44%
Doğrultuculu Şarjlar			28%
Bilgisayar Yüğü			115%
Florosan Aydınlatma			53%

3.2 Harmoniklerin Meydana Getirdiği Etkiler

Harmonikler genel olarak nonlinear elemanlar ile nonsinüsoidal kaynaklardan birisinin veya her ikisinin de sistemde bulunmasından meydana gelirler. Harmonikli akım ve gerilimin güç sistemlerinde bulunması sinüsoidal dalganın bozulması anlamına gelir. Harmonikler güç sistemlerinde; ek kayıplar, ek gerilim düşümleri, rezonans olayları, güç faktörünün değişmesi v.b. gibi teknik ve ekonomik problemlere yol açar.

Sinüsoidal alternatif akım uygulanan bir tüketicinin şebekeden harmonikli akım çekmesi bu tüketicinin yük karakteristiği gereğidir. Harmonik üreten bu tüketicilerden başka, karakteristikleri itibariyle lineer oldukları halde harmonikli akımlara sebebiyet veren tüketiciler de vardır. Bu durum ise tüketiciye uygulanan gerilimin nonsinüsoidal olmasından kaynaklanmaktadır. Alternatif akımın üretilmesi sırasında alternatörlerde yapılan gerekli iyileştirici önlemler yardımıyla elektrik enerjisi mümkün olduğunca sinüsoidal forma yaklaştırılmaktadır. Fakat lineer bir tüketiciye ancak aynı şebekeye bağlı diğer nonlinear yükler tarafından etki edilebilmektedir.

Enerji sistemlerinde harmoniklerle gerilim ve akım dalga şekillerinin bozulması çok çeşitli problemlere yol açmaktadır. Bunlar maddeler halinde şöyle verilebilir:

- Generatör ve şebeke geriliminin bozulması,
- Gerilim düşümünün artması,
- Kompanzasyon tesislerinin aşırı reaktif yüklenme ve dielektrik zorlanma nedeniyle zarar görmesi,
- Enerji sistemindeki elemanlarda ve yüklerde kayıpların artması,
- Senkron ve asenkron motorlarda moment salınımlarının ve aşırı ısınmanın meydana gelmesi,
- Endüksiyon tipi sayaçlarda yanlış ölçmeler,
- Uzaktan kumanda, yük kontrolü v.b. yerlerde çalışma bozuklukları,
- Şebekede rezonans olayları, rezonansın neden olduğu aşırı gerilimler ve akımlar,
- Koruma ve kontrol düzenlerinde sinyal hataları,

- İzolasyon malzemesinin delinmesi,
- Elektrik aygıtlarının ömrünün azalması,
- Sesli ve görüntülü iletişim araçlarında parazit ve anormal çalışma,
- Mikro bilgişlemciler üzerinde hatalı çalışma
- Elektromekanik cihazlarda ve kablolarda ısınma,
- Makinelerde mekanik titreşimler (vibrasyon),
- Ateşleme devrelerinin anormal çalışması,
- CAD/CAM terminallerinde hafızaların silinmesi,
- Elektronik kart arızaları,
- Güç kondansatörlerinde güç kayıpları,delinmeler ve patlamalar,
- Kompanzasyon sigortalarında atmalar,
- Kesici ve şalterlerde açmalar,
- Röle sinyallerinin bozulması ve anormal çalışması,
- Enerji kayıpları[12].

4. HARMONİKLERİN GİDERİLMESİ

Harmonikleri elimine etmenin veya en azından etkilerini azaltmanın olası iki yolu vardır. Bunlar oluşmuş harmonik akımlarını azaltma ve filtrelemedir[12,13].

4.1 Oluşmuş Harmonik Akımlarını Azaltma

a) **Şok bobini:** Güç kaynağına seri olarak 3 fazlı bir şok bobini monte edilmektedir. Bir başka ifade ile DC hattına frekans değiştirici eleman entegre edilmektedir. Bu uygulama hattın akım harmoniklerini, bununla birlikte değiştirici bağlantı noktasındaki bozulmayı ve akım tüketiminin etkin değerini azaltmaktadır. Şok bobinini, harmonik üreticisini etkilemeden monte etmek ve şok bobinlerini birden fazla sistem için kullanmak mümkündür[12].

b) **12 darbeli veya daha üst darbeli doğrultucu kullanma:** Burada amaç, altı darbeli sistemlerde etkin olan 5 ve 7 gibi düşük sıradaki harmonikleri şebeke tarafında ortadan kaldırılmaktır. Genellikle büyük genliklerden dolayı en fazla kesintiye bu harmonik dereceleri yaratmaktadır. Bu çözüm bir transformatör ile iki sekonder sarım (yıldız ve üçgen) gerektirmektedir ve sadece $12q \pm 1$ sayılı harmonikleri üretmektedir. 18 darbeli ve 24 darbeli doğrultucular kullanılmasıyla da daha yüksek sıradaki (17, 19, 23, 24 vb) harmonikleri üreterek çözüm getirilmektedir[12,14].

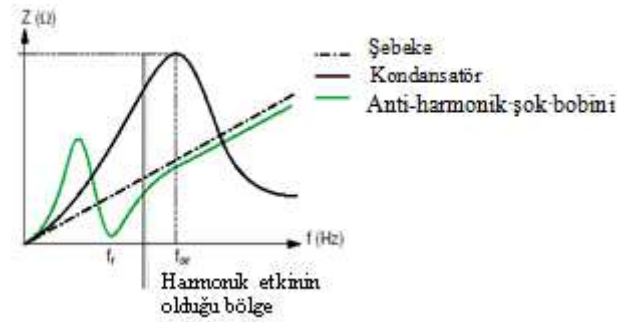
c) **İzolasyon transformatörü kullanma:** 3 ve 3'ün katı harmoniklerin transformatör üçgen sargılarında dolaşmasını ve besleme devresine yayılmasını önlediği için kullanılmaktadır. Bunu önlemek için 'zik zak' sargılı transformatörler de kullanılarak besleme devresinin izole edilmesi sağlanabilir. 'Zik zak' sargılı transformatörler, sargılar arası özel faz ilişkisi olan yıldız bağlantılı oto transformatörler olup sargılar besleme sistemi ile şönt bağlantılıdır[14].

d) **Tesisatı değiştirme:**

- Hassas yükleri filtreler ile daha iyi verimde kullanabilme,
- Tesisatın kısa devre gücünü artırma,

- Cihazın güç değerini azaltma,
- Harmonikli yükleri denetim altına alma,
- Koruyucu cihazlar ve kondansatörlerin gereğinden büyük boyutlandırılması.

Şebeke, kondansatör ve anti-harmonik şok bobinin tesisat empedansı üzerinde etkilerinin grafiksel değişimi Şekil 4.1’de ifade edilmektedir. Burada anti-harmonik şok bobinin, belli bir frekans baz alındığında rezonans frekansını daha düşük mertebelere çekerek rezonans etkisine ve harmoniklerin azalmasına etki ettiği görülmektedir.



Şekil 4.1 : Anti-Harmonik şok bobininin tesisat empedansı üzerindeki etkileri

4.2 Filtreleme

Harmonik üreten cihazların kVA olarak nominal güçlerinin toplamının (G_h), devreye bağlı transformatörlerin kVA olarak nominal güçlerinin toplamına (S_n) oranı %60 dan büyük olması durumunda harmonik değerleri sönmölemek için harmonik filtreleme yapılması gerekmektedir. Harmonik filtreler aktif ve pasif filtre olmak üzere 2 çeşittir. İki bir arada kullanılarak hibrit (karma) filtre olarak da kullanılırlar. Ayrıca filtreleme yapıp yapılmayacağı aşağıdaki hesaplara göre incelenmektedir:

- $G_h/S_n \leq \%15$ ise standart kompanzasyon grupları kullanılmalı,
- $\%15 < G_h/S_n \leq \%25$ ise kondansatör gerilimi arttırılmalı,
- $\%25 < G_h/S_n \leq \%60$ ise kondansatör gerilimi arttırılmalı ve anti-harmonik şok bobini kullanılmalıdır[13].

4.2.1 Pasif filtre

Pasif devre elemanları (endüktans, kondansatör, direnç) kullanılarak, genliği düşürülecek olan frekanslara düşük empedanslı bir geçiş yolu oluşturulur. Pasif

filtrelerde amaç, yok edilmek istenen harmonik bileşen frekansında rezonansa gelecek L ve C değerlerini belirlemektir. Pasif filtreler endüktif ve kapasitif reaktansları birbirine eşit yapan frekansa ayarlanabilir. Burada kalite faktörü (Q) ayar keskinliği ile belirtilir. Rezonans frekansındaki reaktansın filtre direncine oranıyla ifade edilen bir parametredir. Yüksek geçiren sönümlü filtrelerde ise filtre direncinin rezonans frekansındaki reaktansa oranı ile ifade edilir.

Pasif filtreler seri ve paralel olmak üzere iki grupta incelenir. Seri filtreler, harmonik kaynağı ile şebeke arasına seri bağlanır ve harmonik akışına yüksek direnç gösterir. Belli bir frekansa ayarlandığı için , o frekans için yüksek empedans gösterir. Bu filtrelerin dezavantajı, tam yük akımını taşımaları ve hat gerilimine göre yalıtılmak zorunda olmalarıdır. Seri filtrelerde, paralel filtrelerdeki rezonans problemi yoktur[5].

Paralel filtreler, harmonik bileşenlerine düşük empedanslı bir yol sağladıkları için, bu bozunumları toprak seviyesine akıtırlar. Farklı bileşenleri ortadan kaldırmak için birbirine paralel bağlı türdeki pasif filtreler gerekebilir. Harmonik filtreleri boyutlandırılırken çok dikkatli olunmalıdır. Kötü dizayn edilmiş pasif bir filtre rezonansa yol açabilir ve filtrenin montajından önce kesintiye neden olmayan frekansları yükseltebilir. Bu filtrelerin maliyetinin yüksek olmaması ve temel bileşende reaktif güç ihtiyacını karşılaması tercih sebebi olmaktadır[12,15,16].

Paralel filtreler, ayar (odaklama) frekansına göre tek ayarlı ve çift ayarlı; yüksek mertebelerdeki (17. ve üzeri) harmonik seviyelerini süzmek için yüksek geçiren filtreler olmak üzere alt başlıklar altında da incelenmektedirler[5].

4.2.1.1 Pasif filtre çeşitleri

a) Tıkama amaçlı (tam odaklanmamış ; de-tuned filter) filtreler:

Sadece kompanzasyon gerektiren ve harmonik miktarı yok veya az olan endüstri tesisleri için uygundur. Kapasitörleri, meydana gelebilecek geçici harmonik akımlarından (paralel rezonans) koruduğu gibi, devreye girişi esnasında sistemden çektikleri 200-300 kat akımları da tehlikesiz seviyelere indirmeye yarar. De-tuned filtrelerde yaygın olarak 189 Hz tercih edilir. Özet olarak, harmonik olmayan şebekelerde bile, kondansatörler önüne filtre bağlanarak, kondansatörlerle şebekenin (transformatör) rezonansı önlenmiş olur.

b) Kısmi tıkamalı (partially filter) filtreler:

Bu filtrelerde, kısmi tıkama için filtre frekans ayarı 210-240 Hz arasında seçilebilir. Yaygın kullanımı 210 Hz dir. Hem kompanzasyonu hem filtrelemeyi birlikte yapmak için en ucuz ve etkili filtreleme yoludur. Rezonans fitresine göre daha az risklidir. Şebekeden çekilen harmonik akımlar %90'lardan %10'a kadar inebilir.

c) Rezonans (tam odaklanmış ; tuned filter) filtreler:

Tam odaklanmış filtrelerde odaklama frekansı 240-250 Hz arası seçilebilir. Yüksek miktardaki harmoniklerin süzülmesi gereken yerler için uygunsu da, büyük riskleri beraberinde taşır. 210 Hz' e akortlu filtreler beşinci harmoniğe karşı (250 Hz) küçük empedans gösterip, üzerine alırken, aynı filtre 7. harmonik (350 Hz) ve daha üst harmonikleri de kısmen yutarlar. Ama daha iyisi kompanzasyon kademelerini ayrı ayrı frekanslara ayarlamaktır. Mesela 3., 5., 7., 9. harmonikler için sırasıyla 134 Hz, 210 Hz, 300 Hz, 380 Hz' e odaklama yapılmış filtrelerle daha iyi süzme gerçekleşir[15].

4.2.1.2 Rezonans

Devredeki endüktif reaktans ile kapasitif reaktansın birbirine eşit olması sonucunda rezonans durumu meydana gelir. Telsiz, televizyon ve radyo gibi pek çok elektronik devrenin çalışma prensibi rezonansa dayalı olsa da elektrik dağıtım sistemlerinde rezonans, aşırı gerilim ve aşırı akım gibi yüksek mertebelere çıkabilecek bir durumdur. Çünkü bu durum enerji akışının kesilmesine yol açarak sistemin güvenilirliğini ve kalitesini azaltır. Elektrik devrelerinde seri ve paralel rezonans olmak üzere iki çeşit rezonans durumu görülür[5].

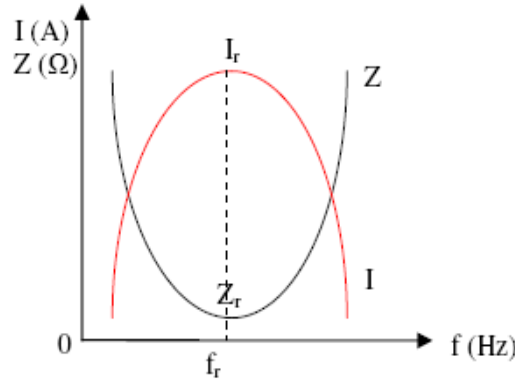
a) Seri rezonans:

Seri bağlı RLC elemanlarından oluşan devrede meydana gelen rezonans durumu, endüktif reaktans ile kapasitif reaktansın birbirine eşit olmasıyla ifade edilir. Bu durumda devre empedansı düşük olduğu için devreden yüksek miktarda rezonans akımı çekilecektir. Normal çalışma durumunda seri RLC elemanlarından oluşan bir devrede empedans ifadesi

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = f \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \quad (4.1)$$

n. harmonik frekansında rezonans oluşması halinde $n = f_r / f$ olacağı için son eşitlik, harmonik derecesine göre aşağıdaki şekilde ifade edilebilir[5]:

$$n_r = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \quad (4.2)$$

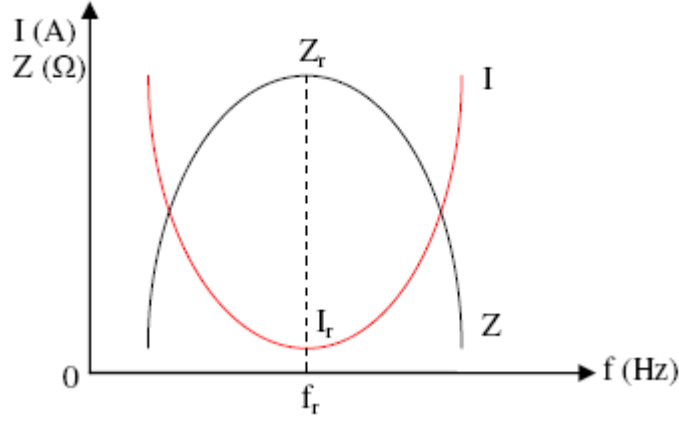


Şekil 4.2 : Seri rezonansta akım ve empedansın frekansa göre değişimi

Seri rezonansta kondansatör ve endüktans gerilimleri birbirine eşit fakat ters yönlü olduklarından toplamları sıfır olur. Bu nedenle seri rezonans gerilim rezonansı olarak da adlandırılır. Ayrıca akım ve empedansın frekansa göre değişiminin rezonans frekansında en yüksek ve en düşük değerleri aldığı Şekil 4.2’de gösterilmektedir.[5]

b) Paralel rezonans:

Seri rezonansta olduğu gibi paralel rezonansta da paralel bir RLC devresinde endüktif ve kapasitif reaktansların birbirine eşit olması sonucunda rezonans durumu oluşur. Ancak bu durumda devrenin admitansı küçük olduğundan küçük bir rezonans akımı büyük bir gerilimde meydana gelir (Şekil 4.3). Başka bir deyişle, rezonans durumunda empedans maksimum değer alır ve bu nedenle özellikle sistemde harmoniklerin mevcut olması halinde devreden küçük bir akım geçse bile devre elemanlarının uçlarında yüksek genlikli, tehlikeli rezonans gerilimleri oluşabilir.



Şekil 4.3 : Paralel rezonansda akım ve empedansın frekansa göre değişimi

Paralel rezonansda endüktansın ve kondansatörün büyük değerlerde olan akımları birbirine eşit ve toplamları sıfırdır. Bu nedenle paralel rezonans akım rezonansı olarak da adlandırılır[5].

c) Harmonikli durumda rezonans oluşumu:

Genel olarak elektrik dağıtım sistemleri temel frekansta rezonansa girmeyecek şekilde yapılır. Ancak sistemde harmonikler varsa, bu durumda sistemin normal çalışması etkilenebilir. Temel frekans dışındaki harmonik frekanslarında da rezonans meydana gelebilir. Bu durumda sistemdeki endüktans ve kapasite değerlerine bağlı olarak sistem herhangi bir frekansta rezonansa girebilir.

Daha önce de ifade edildiği gibi, endüktif reaktans kapasitif reaktansa eşit olursa sistemde rezonans durumu oluşacaktır. Sistem rezonansı harmonik frekanslarından birine yakın bir değerde oluşursa, aşırı seviyede harmonikli akım ve gerilimler ortaya çıkar. Dağıtım sistemlerinde gerek reaktif güç kompanzasyonu gerekse gerilim düzenlenmesi amacıyla kullanılan kondansatörlerin, belli koşullarda sistemdeki harmoniklerin etkilerini artırma özellikleri vardır[5].

Sistem kaynağının empedansı, sisteme bağlı olan yüklerin oluşturduğu paralel empedanslardan çok daha düşük olduğu için harmonik akımları, doğrusal olmayan yüklerden (harmonik kaynaklarından) çoğunlukla sistemin kaynağına doğru akar. Ancak harmonik akımları empedanslar oranında bölünecektir. Yüksek dereceli harmonikler, bu frekanslara karşı düşük empedans gösteren kondansatörlere doğru akacaktır[14].

Devre elemanlarının seri veya paralel bağlı olmasına göre çeşitli şekillerde rezonans oluşabilir. Seri bağlı RLC elemanlarından oluşan bir devreye V_n gibi

harmonik içeren bir kaynaktan gerilim verildiğinde devreden harmonikli bir akım geçer. Burada n. harmonik için devre elemanlarının dirençleri şu şekilde gösterilebilir:

$$R_n = R \quad (4.3)$$

$$X_{Ln} = nX_L \quad (4.4)$$

$$X_{Cn} = X_C / n \quad (4.5)$$

Seri RLC devresi için harmonikli durumda eşdeğer empedans aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Z_n = R_n + j(X_{Ln} - X_{Cn}) = R + j(nX_L - X_C/n) \quad (4.6)$$

Yine aynı devrede rezonansın hangi harmonik frekansında oluşacağı Denklem 4.7 yardımıyla hesaplanabilir:

$$n_r = \frac{1}{w\sqrt{LC}} \quad (4.7)$$

X_r reaktansı, rezonansa giren endüktans ve kondansatöre ait reaktansdır. Seri rezonans devresinin empedansı $Z_r = R$ dir. Ayrıca seri rezonans devresi belli frekanstaki bir harmoniğin filtrelenmesi için de kullanılabilir. Rezonans durumunda devreden geçen akımın yükselmesi sonucunda endüktans ve kapasite elemanlarının gerilimi yükselir ancak vektörel toplamları sıfırdır. Akımın yükselmesi sonucunda devredeki kondansatör aşırı yüklenir ve ısınarak yalıtımı zarar görür[5].

Elemanların paralel bağlı olduğu bir devre ise, harmonikli bir gerilim kaynağından beslenirse, devreden çeşitli harmonikleri içeren bir akım geçer. Bu devrede pratik bakımdan en önemli büyüklük, kondansatörün üzerinden geçen akımdır. Çünkü harmonik frekansı yükseldikçe reaktansın azalması nedeniyle akım büyür ve kondansatör aşırı yüklenir. Kondansatörün harmonik bileşen akımı aşağıdaki denklem 4.8 ile bulunabilir[5].

$$I_{Cn} = j_n \frac{V_{Cn}}{X_{C1}} \quad (4.8)$$

Yükün aktif kısmını oluşturan direnç kısmı, rezonans durumunda çok önemlidir. Çünkü paralel rezonans harmonikler, daha düşük dirençli olduğu için bu dirençli yoldan akarlar. Bu nedenle paralel rezonans frekansının yakınlarında sistemde aşırı yüklenme durumu ortaya çıkar. Örneğin 4. harmonik yakınlarında oluşan bir paralel rezonans durumunda sistemin cevabı, yüklenme seviyesine göre değişir[17].

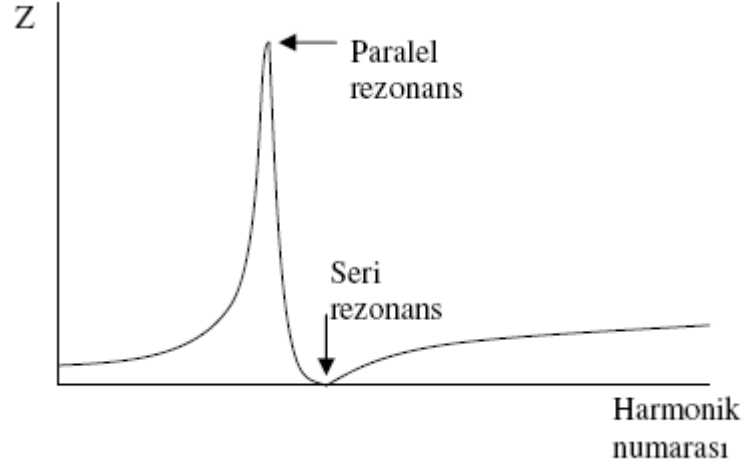
Paralel rezonans olayı, doğrusal olmayan yüklerin ürettiği harmonik frekanslarından birinde, kondansatör grupları ile sistem endüktansı arasında oluşabilir. Bu olay, en sık görülen problemlerden biridir.

Rezonans frekansını hesaplamak için aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi mevcut sistem değerlerinden yararlanılır[18].

$$h_r = \sqrt{\frac{X_C}{X_{SC}}} = \sqrt{\frac{MVA_{SC}}{MVA_{r_{cap}}}} \approx \sqrt{\frac{kVA_{tr} \times 100}{kVA_{r_{cap}} \times Z_{tr} (\%)}} \quad (4.9)$$

Bu denklemde h_r , rezonans harmoniği; X_C , kondansatör reaktansı; X_{SC} , sistemin kısa devre reaktansı; MVA_{SC} , sistemin kısa devre gücü; $MVA_{r_{cap}}$ ve $kVA_{r_{cap}}$, kondansatör bankının gücü; kVA_{tr} ve Z_{tr} , düşürücü transformatörün sırasıyla görünür gücü ve empedansıdır.

Seri ve paralel rezonans durumlarında sistem cevabı genel olarak Şekil 4.4'de gösterildiği gibi olur.



Şekil 4.4 : Seri ve paralel rezonanslarda sistem cevabı

4.2.1.3 Pasif filtre seçiminde kriterler

6 darbeleri hız kontrol cihazlarının ağırlıklı olduğu endüstri tesislerinde 5. ve 7. harmoniklerin varlığı $n = kq \pm 1$ formülünde k, pulse sayısı; q, sıra ile ilerleyen tam sayı; olmak üzere $n = 6q \pm 1$ hesaplandığında etkili olacağı gözükmemektedir. 400 V şebekelerde kullanılan reaktif güç kapasitörleri, filtre ile birlikte kullanılırsa daha yüksek gerilime maruz kalacaklarından, kondansatörlerin daha uzun ömürlü olması için gerilim yükselmesi göz önüne alınmalıdır.

Örneğin; $U_{cn}=400$ Volt olan bir kondansatör 189 Hz ($p=X_L/X_C=\%7$) bir filtre ile birlikte kullanılırsa $U_n=400$ Volt olan bir şebeke gerilimi, kondansatör terminalinde;

$$U_c = U_n \times (1 + \% p) = 400 \times (1 + 0,07) = 428 \text{ Volt} \quad (4.10)$$

değer görülür.

Burada, şebeke geriliminde seçilen kondansatörler, filtre reaktörleri ile kullanılamayacaktır. Çünkü kondansatör seçiminde, artık şebeke gerilimine göre değil, reaktör odaklama frekansı oranında artan gerilime göre hesap yapılması gerekir. Diğer önemli konu ise, kondansatörün etiket gücü, uygulamada işletme geriliminin karesiyle artıp veya azalmasıdır.

Örnek olarak, 50 kVAR 400 V'luk, $p=\%7$, THDv= $\%8$ dayanımlı, olan bir filtre reaktörü, ile kullanılacak kondansatörü seçerken, dizayn için seçilecek kondansatör uç gerilimi 460 V ($428 < 460$ V) kabul edersek, bu şekilde kondansatör güç değeri hesaplanınca;

$$Q_{c_{460}} = \frac{U_{cn}^2}{U_c^2} \times Q_{c_{400}} \times \frac{1}{1 - \% p} = \frac{460^2}{428^2} \times 50 \times \frac{1}{1 - 0,07} = 62 \text{ kVAR} \quad (4.11)$$

olarak bulunur.

Bu kondansatör L_n ile seri bağlı ise, rezonans frekansından yola çıkarak L_n endüktansının değeri hesaplanır.

$$L_n = \frac{U_{cn}^2 \times f}{2 \times \pi \times Q_{cn} \times f_r^2} = \frac{460^2 \times 50}{2 \times \pi \times 62 \times 189^2} = 0,76 \text{ mH} \quad (4.12)$$

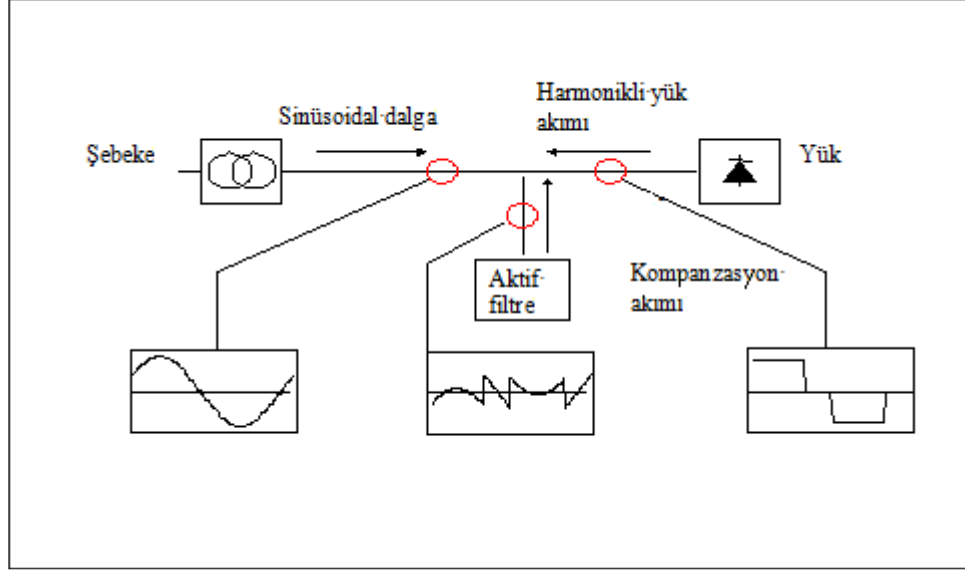
Bunun anlamı, 400 V' da 50 kVAr' lık bir filtreli kompanzasyon için 460 V' da 62 kVAr kondansatör gerekir. Standart kondansatörler, nominal akımın yüzde 30 fazlasına sürekli yüklenebilirler. Kondansatör akımını taşıyacak reaktörler de temel dalgaya ilave %30 harmonik akımlarını da taşıyacak şekilde toleranslı imal edilmelidir. Hatta harmonik akımlar kısa sürede aşırı seviyelere yükselebileceğinden, reaktörlerin nominal akımının yüzde 70-80' i kadar aşırı akımlarda dahi manyetik devresinin doymaması istenir[15].

4.2.2 Aktif filtre

Aktif filtre, ''devreye bağlandığı noktadaki akımı ölçen, içerisindeki güç elektroniği devresi sayesinde tespit ettiği harmoniğin tam ters işaretlisini kendi tetikleme devresi ile üreten ve sisteme veren eden filtre düzeneği'' olarak açıklanabilir[12].

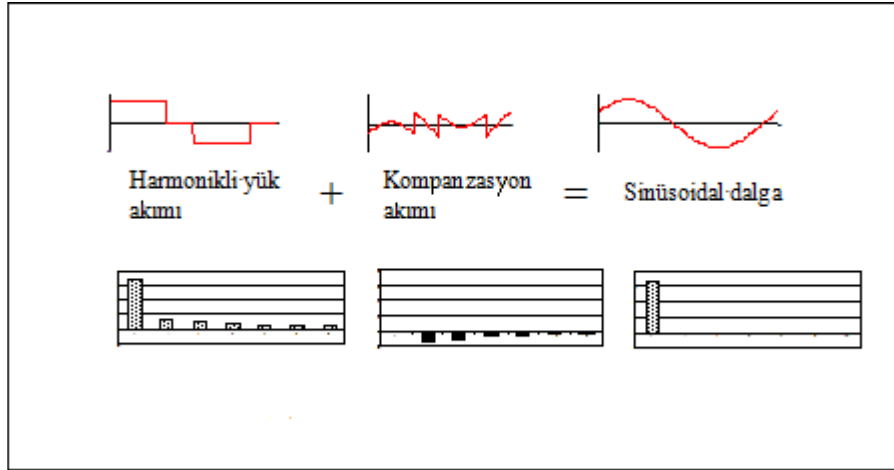
4.2.2.1 Aktif filtrenin çalışma prensibi

Aktif filtrenin çalışma prensibi pasif filtreninkinden tamamen farklıdır. Daha önce belirttiğimiz gibi pasif filtre kontrolü olmayan ve filtreleme performansı tesis edildiği şebekeye bağlı olan tasarımıdır. Aktif filtre şebekedeki harmonikleri ölçer ve bu ölçülen harmoniklerin ters fazında harmonik üretir. Böylece orijinal olan harmonikler yok edilir. Çalışma prensibi Şekil 4.5' de verilmiştir.



Şekil 4.5 : Aktif filtrenin çalışma prensibi

Aktif filtre varolan harmonikleri yok edecek olan harmonikleri üretmekle sorumlu olduğundan aşırı yüklenme ihtimali yoktur. Kapasitesinin üzerindeki harmonik akımlar şebekede dolaşmaya devam edecek, aktif filtre ise kapasitesi mertebesinde harmonik üretmeye yani çalışmaya devam edecektir. Aktif filtrenin çalışma prensibi zaman - frekans domeninde Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

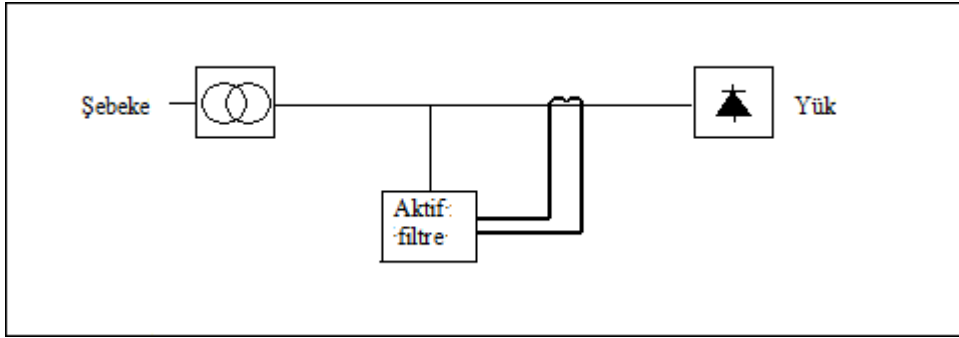


Şekil 4.6 : Aktif filtrenin zaman - frekans domeninde çalışma prensibi

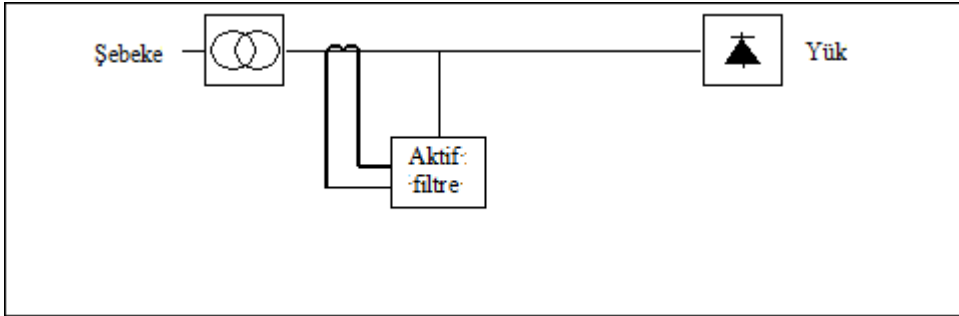
Aktif filtrenin kontrol sistemi açık ve kapalı akım çevrimi olmak üzere iki yol ile yapılabilir. Açık çevrim kontrol şeklinde harmonik akımlar aktif filtrenin yük tarafından okunur ve gerekli harmonikler ters fazda üretilerek şebekeye verilir. Şekil 4.7'de açık çevrim kontrol sistemi gösterilmiştir.

Şekil 4.8’de gösterilen kapalı çevrim kontrol sisteminde ise şebeke akımının son durumu ölçülür ve aktif filtre bu sonuç akımının en az harmonikleri içermesini sağlayacak şekilde harmonik üretir.

Açık çevrim kontrol sistemi daha kolay tesis edilmesine rağmen , çok yüksek sınıflı akım sensörlerine ihtiyaç duyulacağı için verimsizdir. Kapalı çevrimde ise filtreleme performansı direkt olarak kontrol edilir. Çünkü sonuç (şebeke) akımı ölçülmektedir[19].



Şekil 4.7 : Açık çevrim akım kontrolü



Şekil 4.8 : Kapalı çevrim akım kontrolü

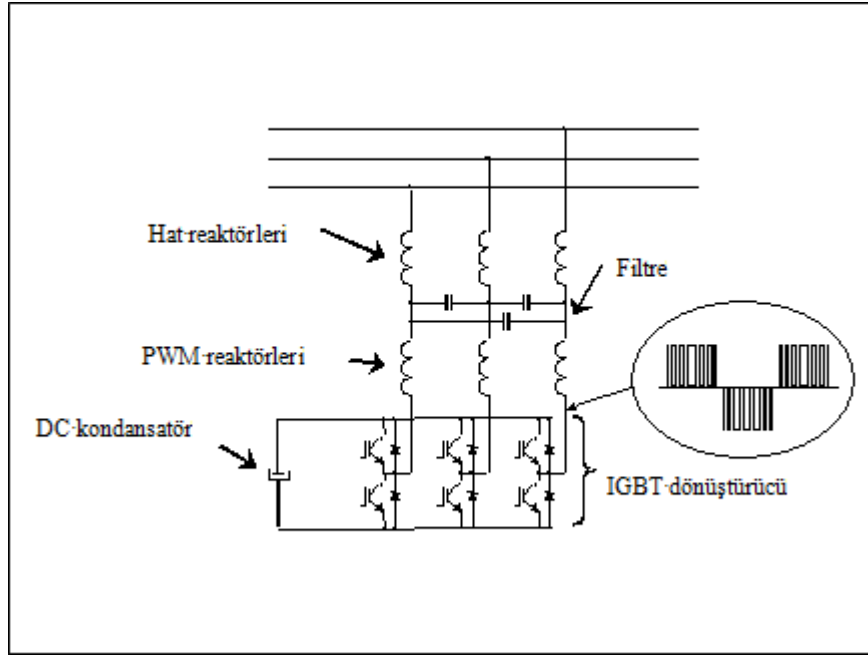
4.2.2.2 Ters fazda akım üretici

Aktif filtrenin en önemli kısımları akım üretici ve kontrol sistemidir. Birkaç değişik akım üretme prensibi ve MOSFET ile GTO gibi yarıiletken malzemeler bu sistem için uygun olmasına rağmen, söz konusu bu uygulama için günümüzdeki en pratik çözüm IGBT’lerdir. Ters faz akımı üretilmesinin ilk aşaması üç fazlı IGBT köprüsü ile “Darbe Genlik Modülasyonu” teknolojisi sayesinde gerilim üretmektir. IGBT köprüsü bir DC kondansatör tarafından sağlanan DC gerilimi kaynak olarak kullanır. IGBT köprüsü tarafından üretilen gerilim şebekeye reaktörler ve küçük filtre devreleri eşliğinde bağlanır.

Şekil 4.9’da güç devresinin ana parçaları verilmektedir. IGBT konvertör DC kondansatörlerini ters faz akımı üreterek devamlı olarak şarj eder. Bu sebeple DC kondansatörleri şarj etmek için başka bir güç kaynağına gerek yoktur[19].

4.2.2.3 Kontrol sistemi

Aktif filtre basit analog veya dijital bir kontrol algoritması ile kontrol edilebilir. Bozulmuş olan şebeke sinyali referans bir sinyal ile karşılaştırılır ve güç devresi buna göre kontrol edilebilir.



Şekil 4.9 : Aktif filtrenin güç devresi

Böyle basit bir kontrol sistemi ile, filtreleme devresinin performans verimliliği çok azalır. Ayrıca basit bir özellik olan aşırı yüklenmeme işlemi bile, bu kontrol sistemi ile karmaşık bir hal alır.

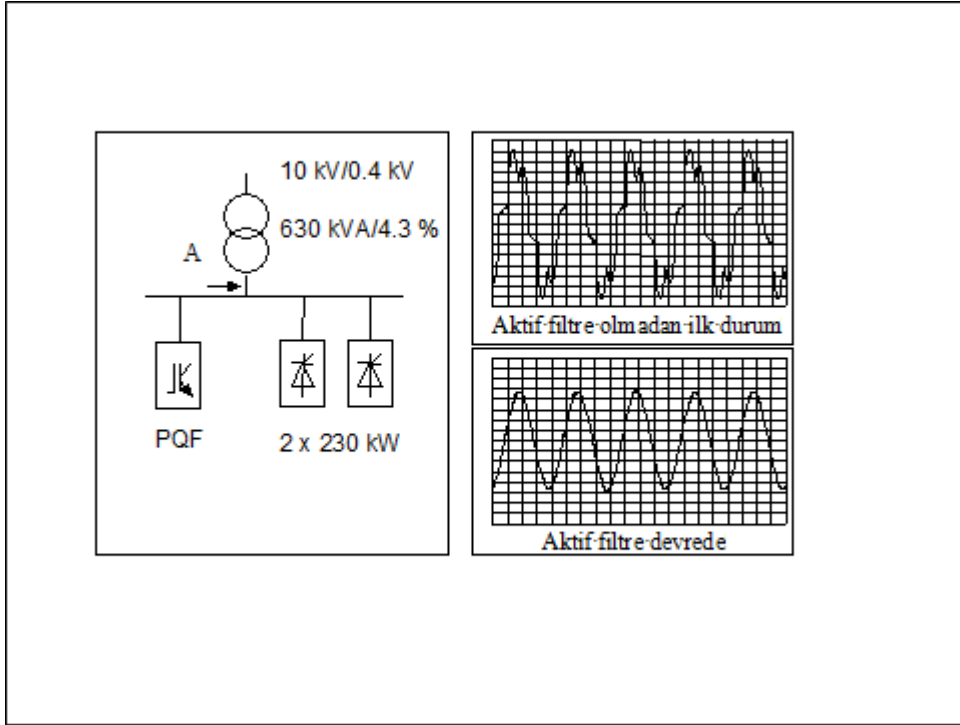
Aktif filtrenin en verimli şekilde kullanılması için dijital bir ölçüm ile gerçek-zaman işlemi yapabilecek kadar hızlı bir kontrol sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Her bir harmonik bileşenin takip edilmesi, tesisin ihtiyacına göre ters faz akımının ayarlanması ve tüm bu işlemlerin zamanın her anında kontrol edilmesi, aktif filtre verimliliği için gereklidir. Bütün bunlar için gelişmiş “Dijital Sinyal Prosesörleri”(DSP) gerekmektedir.

Aktif filtrenin sisteme uygulanması için detaylı bir şebeke bilgisine ve özel bir mühendisliğe ihtiyaç yoktur. Standart bir ürün seçilir ve uygulamaya göre rahatlıkla programlanabilir.

Şebekedeki değişiklikler veya ilave yeni harmonik kaynakları aktif filtre için herhangi bir sorun yaratmaz. Gücünün tümünü aşırı yüklenmeye olanak tanımadan kullanılabilir.

Filtreleme ile reaktif güç üretimi birbirinden ayrı ve bağımsız işlemlerdir.

İdeal filtre için gerekli koşullar göz önüne alındığında, aktif filtrenin Şekil 4.10'daki örnek gibi modellendiğinde bu koşullara çok yaklaştığı açıktır[19].

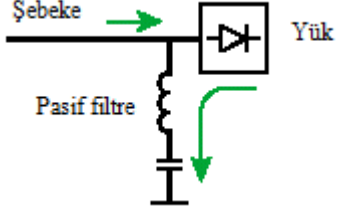
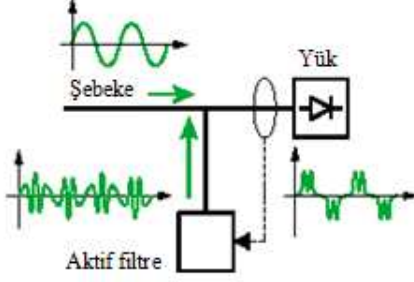
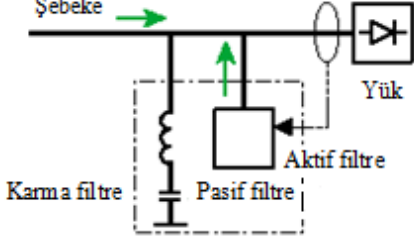


Şekil 4.10 : Aktif filtre örnek modeli

4.2.3 Karma filtreleme

Hibrit filtre olarak da bilinen bu yöntem, gerekli reaktif gücü sağlayan hakim harmonik (örneğin 5) sırası için bir aktif filtre ve bir pasif filtre setinden oluşmaktadır[12].

Çizelge 4.1 : Pasif, aktif ve karma filtreleme prensipleri ve özellikleri

Filtre	Prensip	Özellikler
Pasif	<p>Ortadan kaldırılacak her bir harmonik frekansı için ayarlanan by-pass seri AG devresi</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reaktif gücün dengelenmesi, ➤ Bir veya daha fazla harmonik sırasının ortadan kaldırılması (genellikle 5, 7, 11), ➤ Tesisat değişiminde harmoniklerin artma riski, ➤ Dış kirlenmeden kaynaklanan aşırı yük riski, ➤ Mühendislik durum çalışması.
Aktif	<p>Yükün oluşturduğu tüm harmonikleri iptal eden akımın üretilmesi.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Özellikle “makinalı” filtrelemeye uygun (lokal) çözüm, ➤ Geniş bir frekans bandı üzerinde filtreleme (harmonik sırası 2-25’in ortadan kaldırılması), ➤ Kendi kendine ayarlama, ➤ Tesisat değişikliğinin hiçbir etkisi yoktur, ➤ Yük ve harmonik spektrumunda tüm ayarlamalara uyum sağlar, ➤ Basit mühendislik çalışması.
Karma		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pasif ve aktif filtreleme çözümlerinin avantajlarını sunmaktadır ve geniş bir güç ve performans yelpazesini içermektedir, ➤ Geniş bir frekans bandı üzerinde filtreleme (2-25 numaralı harmoniklerin ortadan kaldırılması), ➤ Reaktif gücün dengelenmesi, ➤ Akım filtreleme için yüksek kapasite, “tesisat” filtreleme için iyi teknik-ekonomik çözüm.

Filtre çeşitlerine göre yapılan karşılaştırmalar Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

5. HARMONİK STANDARTLARI

5.1 Giriş

Harmoniklerin genlik olarak belirli değerlerin üzerinde olması, güç sisteminde kirlenmeye sebep olabilir. Harmonik akımlarının güç sistemi empedansı üzerinden gerilim dalga şeklinde bozulmaya sebep olduğu daha önceki bölümlerde vurgulanmıştı. Bu söz konusu gerilim harmonikleri yakın çevredeki diğer yükler ile etkileşime geçebilir. Daha önceki bölümlerde bahsi geçen istenmeyen durumlar ortaya çıkabilir. Sistem içindeki negatif etkileri dışında öngörülemez biçimde diğer sistemleri de etkileyebilirler. Bu sebeplerden ötürü birçok kuruluş, bir yükün şebekeye enjekte edebileceği harmonik akım büyüklüğünü standart limitler içine alma yoluna yönelmiştir. Amerikan ordusu da bu problemi fark eden ilk kuruluşlardan biri olmuş, çok sıkı bir şekilde THD_v değerini %3 değerinde tutmayı öngörmüştür.

IEC ve IEEE tarafından konvansiyonel sistemler için daha yeni standartlar getirilmiştir. Bir diğer uygulama olarak da telefon ve enerji sistemlerinin ortak direklerde iletiminin yapıldığı durumlarda ortaya çıkan “telefon etkileşim (parazit) faktörü” olarak karşımıza çıkmaktadır[20].

Harmonik distorsiyonu olarak anılan ve enerji sistemindeki harmonik bileşenler sonucu meydana gelen harmonik kirliliği, özellikle güç elektroniği elemanlarının yaygın kullanımı ile giderek artış göstermektedir. Bu distorsiyon sonucu oluşan olumsuzlukların giderilmesi bakımından harmonik sınırlamanın yapılması gereği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle elektrik enerjisindeki harmonik kirliliği bazı ülkelerce sınırlandırılmış ve güç kalitesinin artması hedeflenmiştir.

Son yıllarda ülkemizde yarı-iletken kontrol elemanlarının hızla yaygınlaşması, ark fırınlarının kullanıldığı demir-çelik tesislerindeki kapasite artırımları vb. dikkate alındığında, gelişmiş ülkelerde olduğu gibi, gerek akımlar ve gerekse gerilimler için THD, TTD ve HD değerlerine ilişkin izin verilen maksimum değerleri standartlaştırmak önemli yararlar sağlar. Harmonik bileşenlerin sınırlandırılması

sistemde harmoniklerin oluşturdukları ek kayıpların azaltılması, sistemdeki elemanların tam kapasite ile kullanılması ve meydana getirdikleri zorlanma ve arızaların giderilmesi bakımından son derece gereklidir.

Gelecekte enerji sistemlerinde harmonik problemlerinin daha da artacağı göz önüne alınarak, nonlinear yükler içeren tesislerin daha kuruluş ve tasarım aşamasında düşük seviyede harmonik üretmesi için önlemler alınmalıdır. Bu amaçla, üç fazlı nonlinear yük, bir transformatör üzerinden şebekeye bağlanıyor ise teknik bir zorunluluk olmadıkça transformatörün şebeke tarafındaki sargıları üçgen bağlı olmalıdır. Böylece üç ve üçün katı harmonikler şebekeyi etkilemeyecek, ek kayıplar ve THD değerleri azalacaktır. Ayrıca mümkün olduğu kadar tüketicilerin çevirici kullanımında ekonomik kriterler de dikkate alınarak, daha az sayıda ve daha düşük genlikli harmonik akım bileşenleri içeren yüksek darbe sayılı çeviriciler tercih etmesi teşvik edilmelidir[5]. Standartlarda harmonik bozulmanın değeri için en çok kullanılan tanımlar: Toplam harmonik distorsiyonu (THD), tekil harmonik distorsiyonu (HD) ve toplam talep distorsiyonu (TTD)'dur. Bölüm 1 de ifade edildiği gibi THD, harmonik bileşenlerin efektif değerlerinin, temel bileşen efektif değerine oranıdır ve genellikle yüzde olarak ifade edilir. Bu büyüklük, harmonikleri içeren periyodik dalga formunun mükemmel bir sinüs dalga formundan sapmasını tespit etmek için kullanılır. Temel frekansta saf sinüs dalga formu için THD sıfırdır. Harmonik bozulma ile ilgili diğer bir kavram, çekilen yük akımları için tanımlanan ve ‘‘IEEE Standard 519’’ uygulamasında özellikle belirtilen ‘‘toplam talep distorsiyonu’’ kavramıdır. Buna ait ifade Bölüm 1 'de verilmiştir.

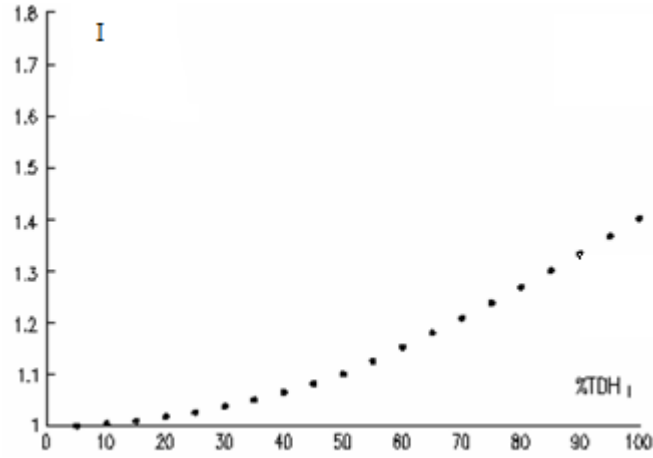
Daha önce ifade edildiği gibi elektrik devrelerinin temel büyüklükleri olan gerilim ve akım, harmonikler içerdiğinde efektif değerleri harmonik distorsiyona bağlı olarak şu şekilde ifade edilir:

$$V_{RMS} = V_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_V}{100} \right)^2} \quad (5.1)$$

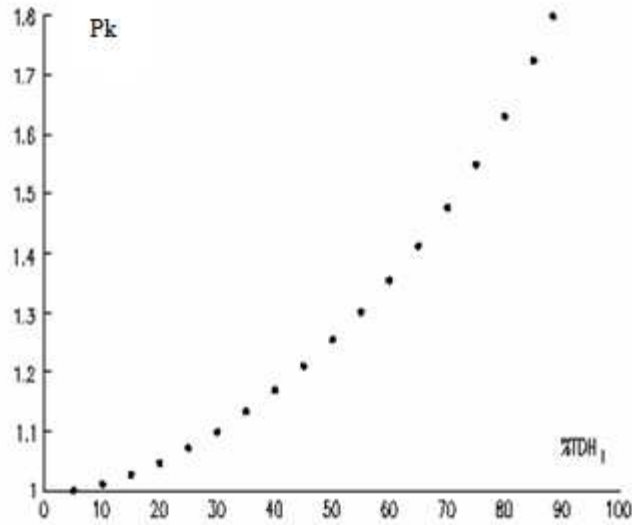
$$I_{RMS} = I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100} \right)^2} \quad (5.2)$$

Buradaki V_1 ve I_1 , gerilimin ve akımın efektif değer olarak temel bileşenidir. Görüldüğü gibi gerilim ve akım değerleri harmonik bileşenlerin artması ile artış

göstermektedir. Akımın artışı ile sistemdeki kayıp güç değeri de artış gösterecektir. Şekil 5.1'de akımın toplam harmonik distorsiyonu ile değişimi, Şekil 5.2'de ise kayıp gücün (P_k) toplam harmonik distorsiyonu ile değişimi görülmektedir.



Şekil 5.1 : Akımın toplam harmonik distorsiyonu ile değişimi ($I_1 = \text{sabit}$)[5]



Şekil 5.2 : Sistemdeki kayıp gücün toplam harmonik distorsiyonu ile değişimi ($I_1, R = \text{sabit}$)[5]

5.2 Harmoniklerin Sınırlandırılması

Elektrik enerji sistemlerinde bulunan harmoniklerin miktarını sınırlamak amacıyla iki ayrı yöntem vardır. Bunlardan birincisi, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnic Commission, IEC) tarafından da tercih edilen herhangi bir doğrusal olmayan yükün bağlandığı noktada uygulanan yöntemdir. İkinci yöntem ise IEEE (International Electrical and Electronics Engineers) tarafından benimsenen

birden fazla doğrusal olmayan yükün beslediği bir veya daha fazla merkezi noktada uygulanan bir yöntemdir.

IEC tarafından ön görülen sınırlamanın mantığında, tek tek her bir yükten kaynaklanan harmoniklerin sınırlandırılması söz konusudur. Böylece harmoniklerin toplamsal etkisinin de sınırlandırılacağı kabulüne dayanır. Bu mantık düşünsel bazda etkin olmakla birlikte uygulamada harmonik sınırlama için yapılan kabuller nedeniyle gerçekte oldukça farklı olmaktadır. IEEE tarafından ön görülen değerler, hem akım ve hem de gerilim harmoniklerine sınırlar getirmeleri bakımından daha etkin ve sınırlayıcı olarak görünmektedir[5].

5.2.1 Yaklaşık inceleme

Araştırmacı Halpin ve Burch harmonik sınırlandırma çalışmalarını ve harmonik seviyelerinin yaklaşık incelenmesini şu şekilde vermişlerdir[5]:

Daha önce de açıklandığı üzere, uygulamada tam bir harmonik analizinin gerçekleştirilmesine ihtiyaç göstermeyen küçük güçlü tüketicilerin söz konusu olduğu pek çok durumla karşılaşmaktadır. Böyle bir durumda, tam ve detaylı bir harmonik analizinin gerçekleştirilmesi zorunlu değildir. Küçük tüketiciler için genel olarak “yaklaşık inceleme” adı verilen kriter yeterli olmakta ve daha geniş kapsamlı bir analiz yapılması ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Böyle durumlarda, harmonik limitlerine uygunluk, ortak kuplaj noktasında (özel bir tüketiciyi besleyen ve bir başka tüketicinin bağlanması söz konusu olan besleme sistemindeki bir nokta) detaylı analizlerin yapılmasına gerek olmaksızın kontrol edilebilir. Bunun için gerek ve yeter koşul, kısa devre gücünün, ortak kuplaj noktasından beslenen nonlinear yüklerin görünür güçlerinin toplamından çok daha büyük olmasıdır. Aşağıda harmonik limitlerine uygunluğun yaklaşık olarak kabul edilmesi için takip edilmesi gereken dört temel adım özetlenmiştir:

1. Adım: Ortak kuplaj noktasındaki kısa devre gücünün (S_K'') belirlenmesi

2. Adım: Beslenen nonlinear yükün türünün ve boyutunun belirlenmesi

3. Adım: $S_{DW} = \sum_i S_{Di} W_i$

değerinin hesaplanması. Burada, S_{Di} i' inci nonlinear yükün görünür gücü ve W_i ise ağırlık faktörüdür.

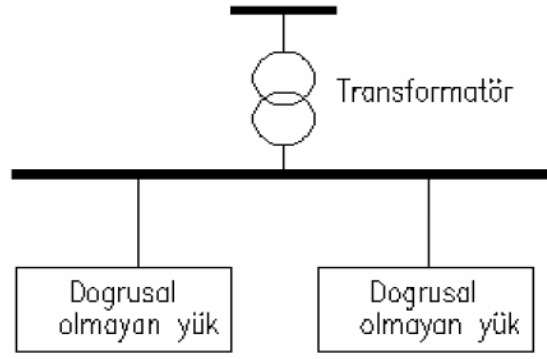
$$4.\text{Adım: } N = \frac{S_{DW}}{S_K} \times 100$$

eşitliği sonucunda $N < 0,1$ şartı sağlanıyorsa harmonik limitlerine uygunluk yaklaşık olarak kabul edilir.

Çeşitli nonlinear yükler için W_i ağırlık faktörleri Çizelge 5.1' de verilmiştir. Genelde, daha fazla distorsiyonlu harmonik akımları üreten nonlinear yükler için ağırlık faktörünün değeri daha büyük olmaktadır.

Çizelge 5.1 : Harmonik sınırlarına uygunluğun yaklaşık incelenmesinde kullanılan ağırlık faktörleri[5]

Yük tipi	Ağırlık faktörü
Tek fazlı güç kaynağı	2,5
Yarı kontrollü doğrultucu	2,5
6 darbeli konverter (kondansatörle filtre edilmiş ve seri endüktans yok)	2,0
6 darbeli konverter (kondansatörle filtre edilmiş ve seri endüktans $> \%3$ veya DC sürücülü)	1,0
6 darbeli konverter (akımı filtrelemek için büyük endüktans kullanılması durumunda)	0,8
12 darbeli konverter	0,5
AC gerilim regülatörü	0,7
Fluoresan lamba	0,5



Şekil 5.3 : Harmonik distorsiyonu yaklaşık incelenen örnek sistem

Örneğin, Şekil 5.3' deki sistem için 150 kVA' lik 6 darbeli çevirici (endüktanssız) ve 300 kVA' lik 6 darbeli çevirici (%3 endüktanslı) ve $S_K''=28000$ kVA için N değeri hesaplanacak olursa,

$$N = \frac{S_{DW}}{S_K''} \times 100 = \frac{(150 \times 2) + (300 \times 1)}{28000} = \%2,14 \quad (5.3)$$

elde edilir. Hesaplanmış olan %2,14 değerinin sınır değer olan %0,1 değerinden büyük olması harmonik limitlerine uygunluğun tamamen olanaksız olduğu anlamına gelmez. Bununla birlikte, %2,14 değerinin yaklaşık uygunluk kabulü kriterinin sağlanması için yeterince küçük olmaması, harmonik limitlerinin aşılabacağı olasılığını güçlendirmektedir. Bu limitin aşılabacağını kesin olarak söylemeden önce, ortak kuplaj noktasındaki harmonik akım ve gerilimlerinin gerçek karakteristiklerinin belirlenmesi maksadıyla detaylı bir harmonik analizinin yapılması zorunludur. % 0,1 sınır değerine çok yakın değerler için bile harmonik limitlerin aşılması söz konusu olabilmektedir. Bu durumda ele alınan yük veya yükler tarafından üretilen harmonik frekanslarında , sistemde rezonans olaylarının meydana gelmesi olasıdır[5].

5.3 Temel Kullanılan Bazı Harmonik Standartları

Şebekenin ve sistemdeki diğer yüklerin harmoniklerin 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 bazı ülkeler, doğrusal olmayan yüklerin meydana getirdiği harmonik bileşenleri bir yaptırım olarak sınırlandırmış ve harmonik standartları oluşturmuşlardır.

Harmonik standartları, harmonikler için sınırlama getirmektedir. IEEE tarafından 1992 yılında getirilen IEEE 519-1992 nolu standart ve IEC tarafından 1995 yılında IEC 1000-3-2 gibi standartlar, elektrik şirketleri için şebeke bara gerilim distorsiyonunu ve müşteriler için doğrusal olmayan yükler tarafından üretilen harmonik akımları ile ilgili sınırlamaları vurgulamaktadır[5].

IEEE-519 ve VDE-0839 da endüstriyel kullanıcılarla birlikte elektrik üretim ve dağıtım ile harmonik standartlar içermektedir. Bu standartlarda, şebeke gücünün bir fonksiyonu olarak akım ve gerilim harmonik bileşenlerinin, temel bileşenlere oranı verilmiştir[5].

Çeşitli ülkeler tarafından farklı gerilimler için harmoniklerin sınırlanmış değerleri toplam harmonik distorsiyonu olarak Çizelge 5.2’de verilmiştir[5].

Çizelge 5.2 : Çeşitli ülkelerin harmonik standartları

Ülke	Gerilim(kV)	THD _v (%)
A.B.D	Genel	5
	2,4-69	1,5
	115<	8
	Özel	1,5
	2,4-69	1,5
Almanya	Tüm Gerilimler (15. harmoniğe kadar)	10
Avustralya	Dağıtım	5
	33>	3
	İletim	1,5
Finlandiya	22-33-66	5
	110<	4
	1	3
	3-20	1,5
Fransa	30-45	1.6
	110	1.6
İngiltere	Tüm gerilimler (15. harmoniğe kadar)	5
	0,415	4
	6,6-11	3
	33-66	1,5
İsveç	132	4
	0,43/0,25	3
	3,3-24	1
	84>	1

IEC-555, elektronik ev aletleri donanımı ile ilgili harmonik standartları içerir. Bu standartta, cihazların sınıflandırılmasına göre akım harmoniklerinin kabul edilebilir seviyesi verilmiştir.

Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) harmonik sınırlamasını çeşitli yükler için sınırlamış ve bunlara ait tablolarda sınır değerleri vermiştir. IEC 61000-2-2 konutlarla ilgili alçak gerilim şebekelerine ait gerilim harmonik sınırlamalarını içermektedir. Bunlar Çizelge 5.3’ de verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Konutlarla ilgili alçak gerilim şebekelerinde IEC-61000-2-2 gerilim harmonik distorsiyon limitleri ($k=0.2+12.5/h$)

Tek harmonikler		Çift harmonikler		3 ve 3’ün katı harmonikler	
h	% V _n	h	% V _n	h	% V _n
5	6	2	2	3	5
7	5	4	1	9	1.5
11	3.5	6	0.5	15	0.3
13	3	8	0.5	≥21	0.2
17	2	10	0.5		
19	1.5	≥12	0.2		
23	1.5				
25	1.5				
≥29	k				

Yine IEC tarafından endüstri için 2.sınıf olarak verilen IEC 61000-2-4 deki sınır değerler Çizelge 5.4’ de görülmektedir[21].

Çizelge 5.4 : Endüstriyel santraller için IEC-61000-2-4 gerilim harmonik distorsiyon limitleri (2. sınıf elemanlar) ($k=0.2+12.5/h$)

Tek harmonikler		Çift harmonikler		3 ve 3’ün katı harmonikler	
H	% V _n	h	% V _n	h	% V _n
5	6	2	2	3	5
7	5	4	1	9	1.5
11	3.5	6	0.5	15	0.3
13	3	8	0.5	≥21	0.2
17	2	10	0.5		
19	1.5	≥12	0.2		
23	1.5				
25	1.5				
≥29	k				

IEC 61000-2-4, 3.sınıf olarak endüstriyel tesislere ait iç alan bağlantı noktasındaki harmonik gerilim yüzdelerinin sınır değerleri Çizelge 5.5’ de gösterildiği gibidir[5].

Çizelge 5.5 : Endüstriyel santraller için IEC-61000-2-4 gerilim harmonik distorsiyon limitleri (3. sınıf elemanlar) ($m=5\sqrt{11/h}$)

Tek harmonikler		Çift harmonikler		3 ve 3'ün katı harmonikler	
h	% V _n	h	% V _n	h	% V _n
5	8	2	3	3	6
7	7	4	1.5	9	2.5
11	5	≥6	1	15	2
13	4.5			21	1.75
17	4			≥27	1
19	4				
23	3.5				
25	3.5				
≥29	m				

Avrupa standartları EN 50160' da alçak gerilim ve orta gerilime ait gerilim harmoniklerinin sınır değerleri verilmiştir, bu değerler alçak gerilim şebekesi için Çizelge 5.6 a' da, orta gerilim şebekesi için Çizelge 5.6 b' de görülmektedir.

IEC tarafından cihaz giriş akımı faz başına 16A ve altında olan alçak gerilim dağıtım sistemine bağlanan özel bir dalga şekline sahip donanımlar için belirtilen D sınıfı cihazlar için kabul edilebilen en büyük harmonik akım değerleri IEC 61000-3-2' de verilmiştir. Bu değerler 220V un altındaki gerilimli sistemler için henüz uygulanmamaktadır. Ayrıca IEC/TS 61000-3-4' deki teknik rapor, 16A' in üstündeki akım değerlerine sahip alçak gerilim dağıtım sistemine bağlanacak şu donanımlarla ilgilidir.

- ❖ Nominal gerilimi 240V' a kadar,tek fazlı,iki veya üç telli
- ❖ Nominal gerilimi 600V' a kadar,üç fazlı,üç veya dört telli
- ❖ Nominal frekansı 50Hz veya 60Hz olan sistemler

Çizelge 5.6 : Konutlarla ilgili (a) alçak ve (b) orta gerilim şebekeleri için EN 50160 harmonik distorsiyon limitleri

(a)

Alçak Gerilim Şebekesi ($\leq 1\text{kV}$)

Tek harmonikler		Çift harmonikler		3 ve 3'ün katı harmonikler	
h	% V_n	h	% V_n	h	% V_n
5	6	2	2	3	5
7	5	4	1	9	1.5
11	3.5	6...24	0.5	15	0.5
13	3			21	0.5
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				

(b)

Orta Gerilim Şebekesi ($1\text{kV} < V < 35\text{kV}$)

Tek harmonikler		Çift harmonikler		3 ve 3'ün katı harmonikler	
h	% V_n	h	% V_n	h	% V_n
5	6	2	2	3	5
7	5	4	1	9	1.5
11	3.5	6...24	0.5	15	0.5
13	3			21	0.5
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				

IEC-1000-2-2 ise alçak gerilim şebekeleri ile ilgilidir. Gerilimde bulunan harmonik bileşenlerinin temel bileşene oranları için sınır değerler oluşturulmuştur.

IEEE'nin harmonik sınır standartları Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8' de verilmiştir. Bu tablolarda I_K'' , sistemin kısa devre akımını; I_L , yüke ait maksimum talep akımını (ortalama 15 veya 30 dakikalık); TTD ise toplam talep distorsiyonunun değerini göstermektedir. (TTD değeri, temel bileşen akımının yerine I_L akımının kullanılmış olması hali dışında THD değeri ile aynıdır).

Çizelge 5.7 : IEEE'nin Gerilim için Harmonik Distorsiyon Sınırları

Bara Gerilimi (V_n)	Tekil Harmonik Büyüklüğü(%)	THDv [Toplam Harmonik Distorsiyonu(%)]
$V_n \leq 69\text{kV}$	3.0	5.0
$69 \leq V_n \leq 161\text{kV}$	1.5	2.5
$V_n > 161\text{kV}$	1.0	1.5

Transformatör akımındaki harmonikler IEEE C 57.1200-1987 tarafından %5 olarak sınırlandırılmıştır[5].

Çizelge 5.8 : IEEE'nin dağıtım sistemlerine ait akım harmonik distorsiyon sınırları

$V_n \leq 69\text{kV}$						
I_k''/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	$TTD(\%)$
<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
$69 < V_n \leq 161\text{kV}$						
<20	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20-50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50-100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100-1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
$V_n > 161\text{kV}$						
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.0	1.5	1.15	0.5	0.22	4.0

5.4 Türkiye'de Harmonik Standartları

Ülkemiz açısından harmonik standart değerlerine bakıldığında 12.11.2008 tarihinde yapılan son düzenleme ile 'Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmelik' gereğince harmonik standartları belirtilmektedir. Buna göre dağıtım şirketi, TS EN 50160:2001 standardında tanımlanan ve Çizelge 5.6 b'de gösterilen gerilim harmonik sınır değerlerine uymakla yükümlüdür. Bununla birlikte, THD değeri (40. harmoniğe kadar değerler dahil) en fazla % 8 olarak uygulanır.

Dağıtım şirketinin gerilim harmoniklerine ilişkin performansı; AG seviyesi için, ölçüm alt yapısının bulunması durumunda bağlantı noktasından, ölçüm alt yapısının bulunmaması durumunda ise müşterinin bağlandığı OG/AG transformatörün AG çıkışından ölçülür. OG seviyesi için ölçüm noktası ise OG bağlantı noktasıdır.

Harmonik bozulmaya ilişkin bu şartın ihlal edilmesi durumunda, dağıtım şirketi hakkında Elektrik Piyasası Kanununun 11 inci maddesi hükümleri çerçevesinde işlem yapılır.

Dağıtım sistemi kullanıcıları IEEE Std.519-1992 standardında ya da bunun revizyonlarında belirtilen Çizelge 5.8'deki harmonik sınır değerlerine uymakla yükümlüdür. Kullanıcının akım harmoniklerine ilişkin performansı, AG ve OG seviyesi için faturalandırmaya esas ölçüm noktasından ölçülür. Kullanıcıdan harmonik ölçüm değerleri talep edildiğinde, kullanıcı, akım harmoniklerini bir hafta boyunca kesintisiz kaydedebilecek uygun cihazları tesis eder ve işletir[22].

Türk Standardları Enstitüsü (TSE) harmonik standartları konusunda TS EN 61000-3-2 ve TS EN 61000-3-12 standartlarını kabul etmektedir. TS EN 61000-3-2 standardı, giriş akımı faz başına 16 A' den düşük donanımlar için harmonik sınır değerlerini içermektedir. TS EN 61000-3-12 standardı, giriş akımı faz başına 16 A ile 75 A arasında olan donanımlar için harmonik sınır değerlerini içermektedir.

TS EN 61000-3-2 standardında belirtilen A sınıfı (üç fazlı dengelenmiş yükler, akkor lambalı aydınlatmalar için dimmerler vb.) donanımların harmonik akım limit değerleri Çizelge 5.9' da görülmektedir[23].

Çizelge 5.9 : A sınıfı donanımların limit değerleri

Harmonikler (h)	İzin Verilen En Yüksek Harmonik Akımı (A)
Tekil Harmonikler	
3	2,30
5	1,14
7	0,77
9	0,40
11	0,33
13	0,21
$15 \leq h \leq 39$	$0,15 \times 15/h$
Çift Harmonikler	
2	1,08
4	0,43
6	0,30
$8 \leq h \leq 40$	$0,23 \times 8/h$

B sınıfı (taşınabilir aletler, mesleki olmayan ark kaynak donanımı vb.) donanımlarının limit değerleri A sınıfı limit değerlerinin 1,5 katıdır. Yine aynı

standarda göre C sınıfı (aydınlatma) donanımları için Çizelge 5.10' da ve D sınıfı (bilgisayar, televizyon alıcısı vb.) donanımlar için Çizelge 5.11' de harmonik akım limit değerleri belirtilmektedir[23].

Çizelge 5.10 : C sınıfı donanımların limit değerleri

Harmonikler (h)	İzin Verilen En Yüksek Harmonik Akımın Temel Frekanstaki Akıma Yüzdesele Oranı (%)
2	2
3	$30 \times \lambda$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq h \leq 39$ (sadece tekil harmonikler)	3
* λ : Devrenin güç faktörü	

TS EN 61000-3-12 standardı, limit değerlerini bazı parametrelere göre şekillendirmektedir. Bu standart kısa devre oranına (R_{sce}) göre limit değerleri belirlenmektedir. $R_{sce}=33$ kritik değer olarak kabul edilmekte olup, bu değer in altındaki değerler limit standardı için düşünülme yen kısmı oluşturmaktadır[24].

Çizelge 5.11 : D sınıfı donanımların limit değerleri

Harmonikler (h)	İzin Verilen En Yüksek Harmonik Akımı (mA/W)	İzin Verilen En Yüksek Harmonik Akımı (A)
3	3,4	2,30
5	1,9	1,14
7	1,0	0,77
9	0,5	0,40
11	0,35	0,33
$13 \leq h \leq 39$ (sadece tekil harmonikler)	$3,85/h$	Çizelge 5.9

Çizelge 5.12' de üç fazlı yüklerden farklı donanımların akım harmonik limit değerleri görülmektedir.

$$PWHD = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} n \left(\frac{I_n}{I_1} \right)^2} \quad (5.4)$$

Burada PWHD, kısmi ağırlıklı harmonik distorsiyonu; I_h , harmonik akım bileşenini; I_1 , referans alınan temel akımı ifade etmektedir[24].

Çizelge 5.12 : Üç fazlı dengeli yüklerden farklı diğer donanımlar için limit değerler

En Düşük R_{sce}	I_h/I_1 (%)						İzin Verilen THD ₁ (%)	
	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}	THD ₁	PWHD
33	21,6	10,7	7,2	3,8	3,1	2	23	23
66	24	13	8	5	4	3	26	26
120	27	15	10	6	5	4	30	30
250	35	20	13	9	8	6	40	40
≥350	41	24	15	12	10	8	47	47

Çizelge 5.13 ve Çizelge 5.14' de üç fazlı dengeli yüklü donanımlar için akım harmonik limit değerleri verilmektedir.

Çizelge 5.13 : Üç fazlı dengeli yüklenmiş donanımlar için limit değerler

En Düşük R_{sce}	I_h/I_1 (%)				İzin Verilen THD ₁ (%)	
	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}	THD ₁	PWHD
33	10,7	7,2	3,1	2	13	22
66	14	9	5	3	16	25
120	19	12	7	4	22	28
250	31	20	12	7	37	38
≥350	40	25	15	10	48	46

İki çizelge arasındaki fark R_{sce} oranının hesaplanmasından kaynaklanan farklılıklardan ileri gelmektedir[24].

Çizelge 5.14 : Belirtilen koşullar altında üç fazlı dengeli yüklenmiş donanımlar için limit değerler

En Düşük R_{sce}	I_h/I_1 (%)				İzin Verilen THD₁ (%)	
	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}	THD ₁	PWHD
33	10,7	7,2	3,1	2	13	22
≥120	40	25	15	10	48	46

Ayrıca ‘Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenirliği ve Kalitesi Yönetmeliği’ 24.09.2008 tarihli yapılan son düzenleme ile kabul edilebilir akım harmonik limitleri Çizelge 5.15’de belirtilmektedir[8].

**Çizelge 5.15 : ‘Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenirliği ve Kalitesi Yönetmeliği’
gereğince akım harmonikleri limitleri**

KABUL EDİLEBİLİR AKIM HARMONİK LİMİTLERİ

Harmonik Sırası		OG 1<Un<34.5					YG 34.5<Un<154					ÇYG Un>154				
Grup	No	I_K''/I_L					I_K''/I_L					I_K''/I_L				
		<20	20-50	50-100	100-1000	>1000	<20	20-50	50-100	100-1000	>1000	<20	20-50	50-100	100-1000	>1000
T	3	4	7	10	12	15	2	3,5	5	6	7,5	1	1,8	2,5	3	3,8
	5	4	7	10	12	15	2	3,5	5	6	7,5	1	1,8	2,5	3	3,8
E	7	4	7	10	12	15	2	3,5	5	6	7,5	1	1,8	2,5	3	3,8
K	9	4	7	10	12	15	2	3,5	5	6	7,5	1	1,8	2,5	3	3,8
H	11	2	3,5	4,5	5,5	7	1	1,8	2,3	2,8	3,5	0,5	0,9	1,2	1,4	1,8
	13	2	3,5	4,5	5,5	7	1	1,8	2,3	2,8	3,5	0,5	0,9	1,2	1,4	1,8
A	15	2	3,5	4,5	5,5	7	1	1,8	2,3	2,8	3,5	0,5	0,9	1,2	1,4	1,8
R	17	1,5	2,5	4	5	6	0,8	1,25	2	2,5	3	0,4	0,6	1	1,25	1,3
M	19	1,5	2,5	4	5	6	0,8	1,25	2	2,5	3	0,4	0,6	1	1,25	1,3
O	21	1,5	2,5	4	5	6	0,8	1,25	2	2,5	3	0,4	0,6	1	1,25	1,3
N	23	0,6	1	1,5	2	2,5	0,3	0,5	0,75	1	1,25	0,15	0,25	0,4	0,5	0,6
İ	25	0,6	1	1,5	2	2,5	0,3	0,5	0,75	1	1,25	0,15	0,25	0,4	0,5	0,6
K	27	0,6	1	1,5	2	2,5	0,3	0,5	0,75	1	1,25	0,15	0,25	0,4	0,5	0,6
L	29	0,6	1	1,5	2	2,5	0,3	0,5	0,75	1	1,25	0,15	0,25	0,4	0,5	0,6
E	31	0,6	1	1,5	2	2,5	0,3	0,5	0,75	1	1,25	0,15	0,25	0,4	0,5	0,6
R	33	0,6	1	1,5	2	2,5	0,3	0,5	0,75	1	1,25	0,15	0,25	0,4	0,5	0,6
	h>33	0,3	0,5	0,7	1	1,4	0,15	0,25	0,35	0,5	0,7	0,75	0,12	0,17	0,25	0,35
Çift harmonikler izleyen tek harmoniğin 0.25 katı ile sınırlıdır.																
Toplam Akım Distorsiyonu		5	8	12	15	20	2,5	4	6	7,5	10	1,3	2	3	3,75	5
Bu değerler 3 saniyelik ortalamalardır.																

I_K'' : Ortak koplaj noktasındaki maksimum sistem kısa devre akımı

I_L : Ortak koplaj noktasındaki maksimum yük akımının en büyük bileşeni

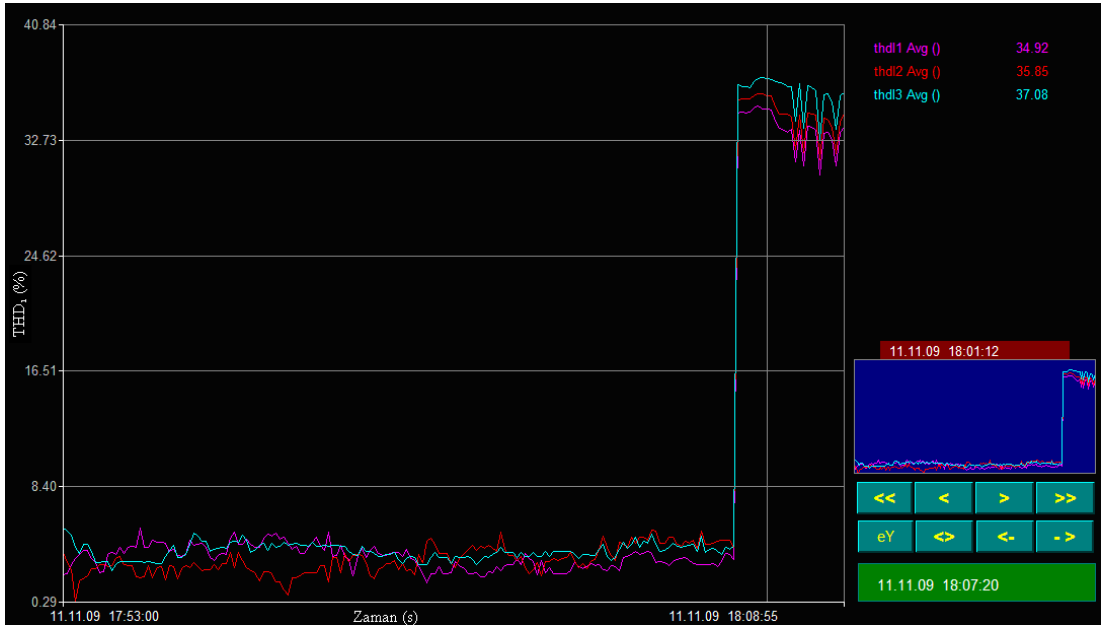
6. MEDYA SEKTÖRÜNDE ALINAN ÖLÇÜMLER VE ANALİZLER

Tez çalışması kapsamında enerji kalitesini daha iyi etüt edebilmek için medya sektöründe ölçümler alınmıştır. Medya sektöründe ölçüm olarak baskı tesisleri ve televizyon, radyo bölümleri irdelenmiştir. Ölçüm alınan tesisler adlandırılır iken A grubuna ait A Medya ve A Matbaa; B grubuna ait B Medya ve B Matbaa tesisleri olarak ifade edilmektedir. Yapılan tüm ölçümlerde, tesisin 1 haftalık kesintisiz değerleri alınmış ve özellikle matbaa tesislerinde gün içerisinde en yoğun güç tüketiminin olduğu, yük karakteristiklerinin büyük oranda sistemde olduğu zamanlar dikkate alınarak analizler yapılmıştır. Ayrıca ölçüm süresince sistemdeki dalgalanmaları ve değişiklikleri daha iyi analiz edebilmek için kompanzasyon sisteminin devrede iken (filtreli veya filtresiz) ve devrede değil iken durumları aynı ölçümde görülmektedir. Sadece B medya tesisinde bu esasa uyulmadan ölçüm alınmıştır. Tesislerde alınan ölçümlerde hangi koşul olursa olsun (filtreli kompanzasyon durumu, filtresiz kompanzasyon durumu, kompanzasyonun devre dışı olması durumu), sistemin harmoniksel anlamda en zor şartlardaki karakteristiği ele alınmalıdır. Ayrıca bu şartlardaki harmoniksel durumların sistemde görülme süresine ve sistemdeki nonlineer yüklerin yüklenme durumuna da bakılmalıdır. Ölçümler HT Italia firmasının Vega76 adlı enerji analizörü ile alınmıştır. Ölçüm alınan cihazın standartlara uygunluğu aktif enerji statik sayıcılar için 'Class 2' EN61036, reaktif enerji statik sayıcılar için 'Class 3' IEC1268 olarak belirtilmektedir. Ayrıca izolasyonu 'Class 2' olan bu cihaz EN 61010-1+ A2(1996) güvenlik standardına göre imal edilmiştir.

Tek hat şemasında iki adet 34,5/0,4 kV dönüştürme oranında 1600 kVA'lık transformatör tarafından beslenen AT1 adlı birim görülmektedir. AT1'in kurulu gücü 2912 kW, talep gücü ise 2184 kW'dır. Sistemdeki reaktif güç ihtiyacını karşılayabilmek ve harmonik değerlerini yok etmek için 1050 kVAR'lık pasif filtreli kompanzasyon sistemi ile 450 A ve onlara ilave 2 adet 250 A' lik aktif filtre sistemi tesis edilmiştir. Burada sistemde bulunan matbaa makinaları karma sistem olarak düşünülmelidir. Çünkü içinde tek fazlı ve üç fazlı elektriksel donanımları bulundurmaktadır. Ayrıca sistemin ihtiyacına göre tek fazlı veya üç fazlı yüklerin devrede olacağı veya olamayacağı durumlar bulunmaktadır.

Ölçümler AGT1 transformatörünün AG kısmından AT1'i beslediği noktadan alınmıştır. Burada AGT2 transformatörü sistemde ihtiyaç duyulması halinde devreye alınmaktadır. Bu baskı makinaları, sistem üretim kapasitesine göre her ikisi de devrede olduğunda da AGT2 'e ihtiyaç duymamaktadır.

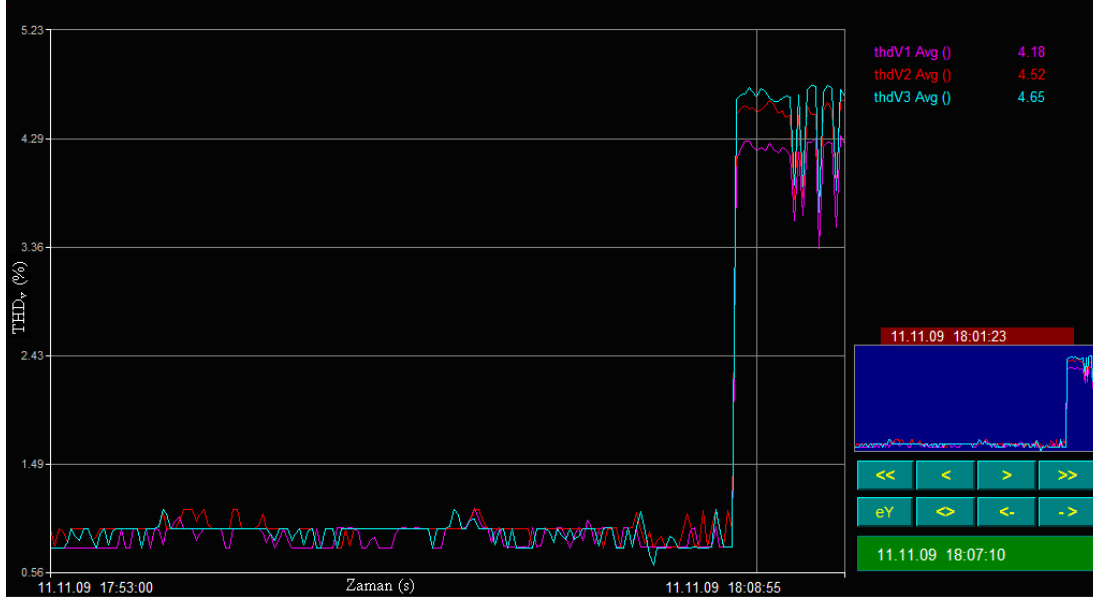
11.11.2009 tarihinde 17:53 ile 18:08 arasında 5 saniye örnekleme zamanlamalarıyla alınan ölçümde pasif filtre ve aktif filtre devrede iken THD_1 değeri %4-5, pasif filtre devrede aktif filtre devrede değilken % 35-37 mertebelerinde olduğu Şekil 6.2'de görülmektedir.



Şekil 6.2 : A Matbaa tesisinde THD_1 grafiği

11.11.2009 tarihinde 17:53 ile 18:08 arasında 5 saniye örnekleme zamanlamalarıyla alınan ölçümde pasif filtre ve aktif filtre devrede iken THD_v değeri %1, pasif filtre

devrede aktif filtre devrede değil iken % 4,3 mertebelerinde olduğu Şekil 6.3’de görülmektedir.



Şekil 6.3 : A Matbaa tesisinde THD_v grafiği

Sistem takibi için kurulan enerji izleme programında 11.11.2009 tarihli 17:22 anında alınan veride aktif filtre devre dışı pasif filtre devredeyken THD_v=%5-6, THD_i=% 30 ve cos ϕ ile GF arasındaki farkı görmek anlamında Şekil 6.4’ü irdeleyebiliriz.

	L1	L2	L3	III		L1	L2	L3	
Voltage					Consumed power (+)				
Phase-neutral (V)	227,77	228,97	228,85	228,53	Active (kW)	130,1	135,7	125,8	
Phase-phase (V)	395,56	396,58	395,12	395,75	Capacitive (kvarC)	0,0	0,0	0,0	
Neutral voltage (V)				0,00	Inductive (kvarL)	1,7	10,3	10,2	
Total distortion (%)	5,6	5,9	6,4		Apparent (kVA)	136,0	143,4	134,0	
Distortion in neutral tension (%)				99,9	Power factor	0,950	0,945	0,939	
Frequency (Hz)	50,00				Cosine Phi	0,999	0,997	0,996	
Ponderated flicker (Nva)	1,9	0,4	0,4		Energy				
PST (%)	1,9	0,8	0,5		Consumed (+)				
Crest factor	1,66	1,52	1,49		Active (kWh)	514,072,2			
Current					Capacitive (kvarCh)	115,553,3			
Current (A)	600,6	626,6	585,4	604,2	Inductive (kvarLh)	24,433,6			
Neutral current (A)				0,0	Apparent (kVAh)	595,512,3			
Total distortion (%)	30,9	31,7	32,7						
Distortion in neutral current (%)				0,0					

Şekil 6.4 : Pasif filtre devrede aktif filtre devre dışı iken durum

Aktif filtreyi de devreye aldığımızda duruma bakacak olursak;

	L1	L2	L3	III		L1	L2	L3	
Voltage					Consumed power (+)				
Phase-neutral (V)	227,62	228,77	228,70	228,36	Active (kW)	132,5	139,8	128,2	
Phase-phase (V)	395,38	396,25	394,82	395,48	Capacitive (kvarC)	0,0	0,0	0,0	
Neutral voltage (V)				0,00	Inductive (kvarL)	1,6	11,6	12,2	
Total distortion (%)	1,5	1,9	1,8		Apparent (kVA)	132,7	140,6	129,0	
Distortion in neutral tension (%)				99,9	Power factor	0,998	0,994	0,993	
Frequency (Hz)	50,01				Cosine Phi	0,999	0,996	0,995	
Ponderated flicker (Ma)	2,3	0,7	0,6		Energy				
PST (%)	1,7	0,9	0,5		Consumed (+)				
Crest factor	1,81	1,47	1,45		Active (kWh)	514,088,1			
Current					Capacitive (kvarCh)	115,553,3			
Current (A)	583,0	614,7	564,2	587,2	Inductive (kvarLh)	24,434,5			
Neutral current (A)				0,0	Apparent (kVAh)	595,528,8			
Total distortion (%)	5,7	6,0	6,0						
Distortion in neutral current (%)				0,0					

Şekil 6.5 : Aktif filtre ve pasif filtre devrede iken durum

$THD_v = \% 1,5-2$, $THD_i = \% 5-6$ mertebelerine indiği ve $\cos \phi$ ile GF arasındaki fark, harmonik etkisi azaldığından dolayı sifira daha da yaklaştığı Şekil 6.5’de görülmektedir. Çizelge 6.1’de A Matbaa tesisinde ölçümde alınan değerlerin genel bir ifadesi görülmektedir.

Çizelge 6.1 : A Matbaa tesisinde ölçümde elde edilen veriler

A Matbaa Tesisinde Elde Edilen Ölçüm Değerleri								
Durum / Parametre	I_{RMS} (A)	V_{RMS} (V)	THD_i (%)	THD_v (%)	$\cos \phi$	GF	P_t (kW)	Q_t (kVAr)
Pasif filtre devrede	620	228	35-37	4-5	0,998	0,95	390	21
Hibrit filtre devrede	580	228	4-5	1	0,999	0,998	400	25

Çizelge 6.2’de ölçümlerde A Matbaa tesisindeki akım ve gerilim tekil harmonik değerleri görülmektedir.

Çizelge 6.2 : A Matbaa tesisindeki akım ve gerilim tekil harmonikleri

A Matbaa Tesisindeki Akım ve Gerilim Tekil Harmonik Değerleri														
Durum / Parametre	I_{h_3}	I_{h_5}	I_{h_7}	I_{h_9}	$I_{h_{11}}$	$I_{h_{13}}$	$I_{h_{15}}$	V_{h_3}	V_{h_5}	V_{h_7}	V_{h_9}	$V_{h_{11}}$	$V_{h_{13}}$	$V_{h_{15}}$
	A							V						
Pasif filtre devrede	18	170	63	0,1	40	21	13	0	7	3,8	0	2,5	1,3	1,7
Hibrit filtre devrede	12	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0

Bu ölçüm değerleri, üretimin tam yüklenme durumuna yakın olduğu zaman alınan verileri ifade etmektedir. IEC 61000-4-30’da tanımlanan bir haftalık kesintisiz ölçüm zamanına uygun olarak veriler de Çizelge 6.3’de bulunmaktadır.

Çizelge 6.3 : A Matbaa tesisindeki 1 haftalık kesintisiz ölçümler

A Matbaa Tesisinde Elde Edilen Ölçüm Değerleri								
Durum / Parametre	I_{RMS} (A)	V_{RMS} (V)	THD _i (%)	THD _v (%)	$\cos \phi$	GF	P_t (kW)	Q_t (kVAr)
Hibrit filtre devrede	213	228	9,3	1,7	0,99	0,95	121,1	39,6

Buradaki verileri sonuç olarak ele aldığımızda Çizelge 6.1’deki verilerden farklı olduğu görülmektedir. Bunun nedenleri olarak 1 haftalık süreçte baskı makinalarının sürekli devrede olmamasını, baskı makinalarının üretim kapasitesine göre yüklenme durumlarının değişmiş olmasını ve aktif filtrenin belli dönemlerde devrede olmamasını söyleyebiliriz. Baskı tesisleri 24 saat çalışan tesisler değildir. Sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için 1 haftalık süreci gözlemler iken sistemin % 100, % 50, % 25 vb. yüklenme durumlarına göre incelemeler yapılması gerekmektedir. Harmonik değerlerin yok edilmesi için sistemin hangi yüklenme durumu olursa olsun, üretimde en yoğun çalışılan yüklenme durumundaki harmonik düzeylerin ele alınması gerekmektedir. Kısaca, sistemde üretim alışkanlığı dışında olan geçici ve kısa çalışma süreleri hariç, harmonik değerlerinin en yüksek olduğu zaman dilimleri incelenmelidir.

Sistemin ölçümlerde elde edilen verilerini analiz yöntemiyle incelediğimizde pasif filtre ve aktif filtrenin ne oranda gerçekleştiği irdelenecektir. Bu analiz ABB NETQ Harmonik Analiz programından yararlanılarak gerçekleştirilmiştir[25].

Harmonic Analysis

Reference : A MATBAA

HV Net (None)

Frequency	50 Hz
S _{CC}	200 MVA
U	34,5 kV
Tel Fq	0,0 Hz
Distortion	100,0 %

Tranformer

S	1600 kVA
U _{CC}	6,00 %
U	400 V

Cable

Length	30 m
Section	240 mm ²
Parallels	3

Drive (Measurements)

S	406 kVA
cos ϕ	0,99
Pulse nr	

Load

P	0 kW
cos ϕ	0,00

Power Factor

Desired	1,00
---------	------

Compensation System

Name	
Number of steps	6
Q _c / Step (kvar)	10,0
p (%)	7,00
QF	40,0
High Pass	No
Total Q _c (kvar)	60,0
Tuning (Hz)	189,0

Total Q_c : 60,0 kvar Cos ϕ before : 0,99 Inductive
 Q_c (PF=1) : 57,3 kvar Cos ϕ after : 1,00 Capacitive
 Q_c (PF=1.0) : 57,3 kvar

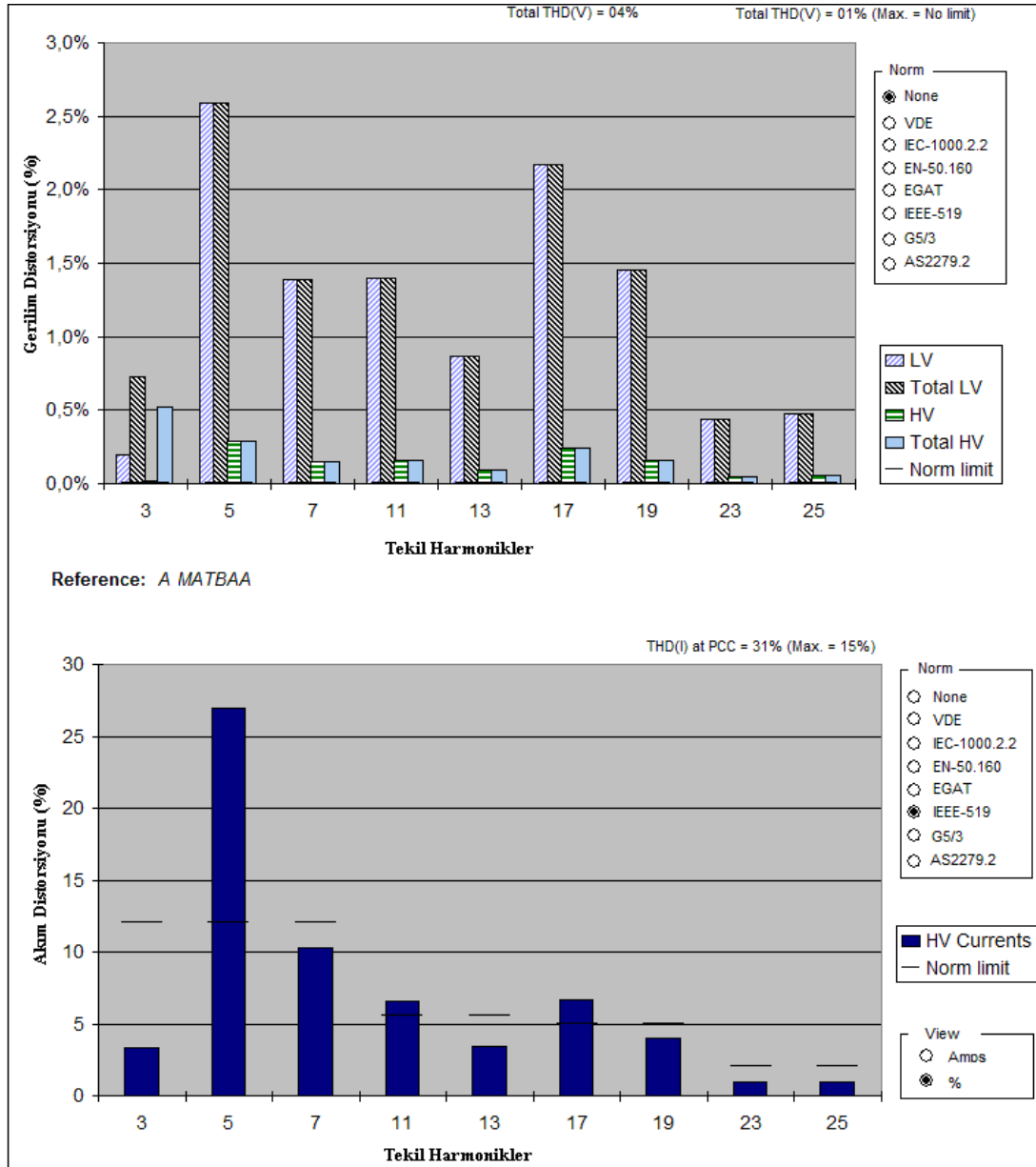
Harmonic Pollution

h	Sources		Contribution of customer			Total effect	
	I _L (A)	U _{HV} (%)	U _{LV} (%)	U _{HV} (%)	I _{HV} (A)	U _{LV} (%)	U _{HV} (%)
3	18,0	0,50%	0,19%	0,02%	0,2	0,73%	0,52%
5	170,0	0,00%	2,59%	0,29%	1,8	2,59%	0,29%
7	63,0	0,00%	1,39%	0,15%	0,7	1,39%	0,15%
11	40,0	0,00%	1,40%	0,15%	0,4	1,40%	0,15%
13	21,0	0,00%	0,87%	0,10%	0,2	0,87%	0,10%
17	40,0	0,00%	2,17%	0,24%	0,4	2,17%	0,24%
19	24,0	0,00%	1,45%	0,16%	0,3	1,45%	0,16%
23	6,0	0,00%	0,44%	0,05%	0,1	0,44%	0,05%
25	6,0	0,00%	0,48%	0,05%	0,1	0,48%	0,05%
THD	—	0,50%	4,32%	0,48%	30,97%	4,37%	0,70%

Şekil 6.6 : Pasif filtre devrede aktif filtre devrede değil iken durum

Şekil 6.6'da analizde pasif filtre devrede iken elde edilen değerler, ölçümde elde ettiğimiz değerlerle örtüştüğü görülmektedir.. Şekil 6.7'de tekil harmoniklere baktığımızda THD_v ve THD_i değerlerinin, baz olarak alabileceğimiz IEC-1000-2-2, IEC 6100-3-4 ve IEEE-519 standartlarına göre yüksek olduğu söylenebilir.

Mevcut tesisatta pasif filtrede tam odaklanmamış (de-tuned) reaktör kullanılması uygundur ve uygulamada vardır. Fakat bu yeterli olmamaktadır. THD_v' nin yükselmemesi ve pasif harmonik filtre panelinin herhangi bir durumda devre dışı kalmaması istenmektedir. Eğer bu durumun tersi gerçekleşirse, harmonik akımların sisteme zarar vermemesi istenir. Bunun için harmonik akımları tamamen filtrelemek için sistem ihtiyaçlarına uygun olarak **Aktif Harmonik Filtre** kurulması ideal bir çözüm olabilir.



Şekil 6.7 : THD_v ve THD_i tekil harmonik spektrumu

Aktif filtre gücünün hesaplanmasında[19];

$$I_{RMS_Filter} = \sqrt{I_{RMS_H3}^2 + I_{RMS_H5}^2 + I_{RMS_H7}^2 + \dots} \quad (6.1)$$

$$I_{RMS_FilterSize} \geq I_{RMS_Filter} \quad (6.2)$$

$$I_{RMS} \text{ filtre boyutu} = 1,5 I_{RMS} \text{ filtre} \\ = 2 I_{RMS} \text{ filtre} \quad (6.3)$$

$$I_{RMS} = \sqrt{6^2 + 170^2 + 63^2 + 40^2 + 21^2 + 40^2 + 24^2 + 6^2 + 6^2} \cong 193A \quad (6.4)$$

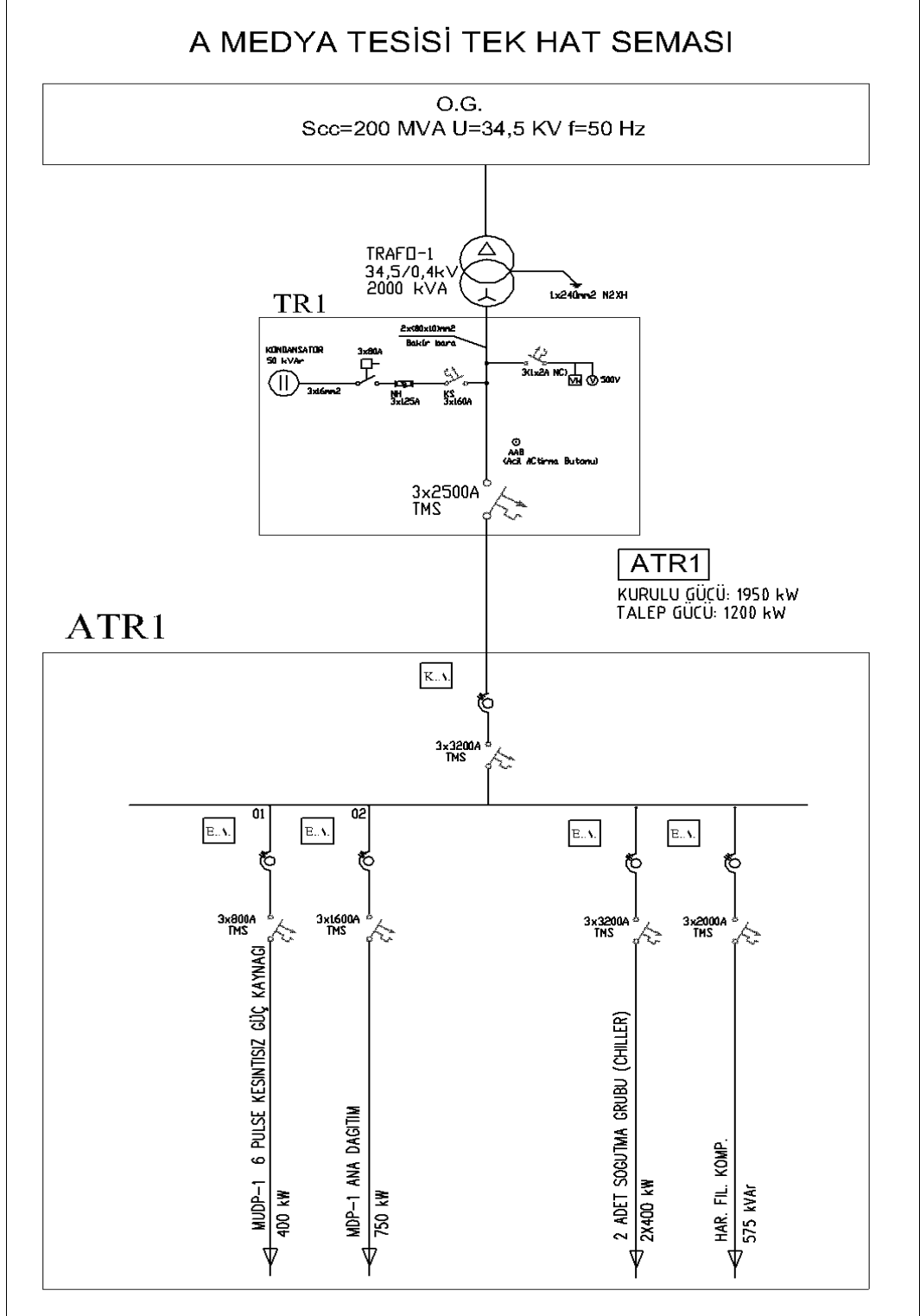
$$\begin{aligned} I_{RMS} \text{ filtre boyutu} &= 1,5 I_{RMS} \text{ filtre} = 289 \text{ A} \\ &= 2 I_{RMS} \text{ filtre} = 386 \text{ A} \end{aligned} \quad (6.5)$$

bulunur.

Hesaplamalarda her iki katsayıya göre aktif filtre güçlerinin ne olması gerektiği hesaplanmıştır. Bu durumda harmonik değerleri süzdüğümüzde yeni durum Şekil 6.8’ de görülmektedir. Ayrıca hesaplamada 3. tekil harmonik 18 A iken hesaplamalarda 6 A kullanılmaktadır. Bunun nedeni ölçümlerde elde ettiğimiz değerlere göre hesaplamaların yapılmasıdır. 3. harmonik akımı, aktif filtre devrede değil iken 18 A, aktif filtre devrede iken 12 A’ lik değerler ölçülmüştür. Aradaki fark oranında süzmek istediğimiz 6 A’ lik değer hesaplamalarda yer almaktadır. Sistemde seçilen aktif filtre değeri ölçümlere göre bakıldığında tüm 3. harmonik akımını süzebilecek kapasitededir. Bunu yapabilmek için aktif filtrenin kontrol kısmından her süzülmesi istenen harmonik oranı kontrolöre girilerek gerçekleştirilir. Eğer aktif filtrenin kapasitesi yeterli olmasaydı kapasitesi oranında süzme gerçekleştirebilecektir.

6.2 A Medya Tesisindeki Ölçüm Değerleri ve Analizleri

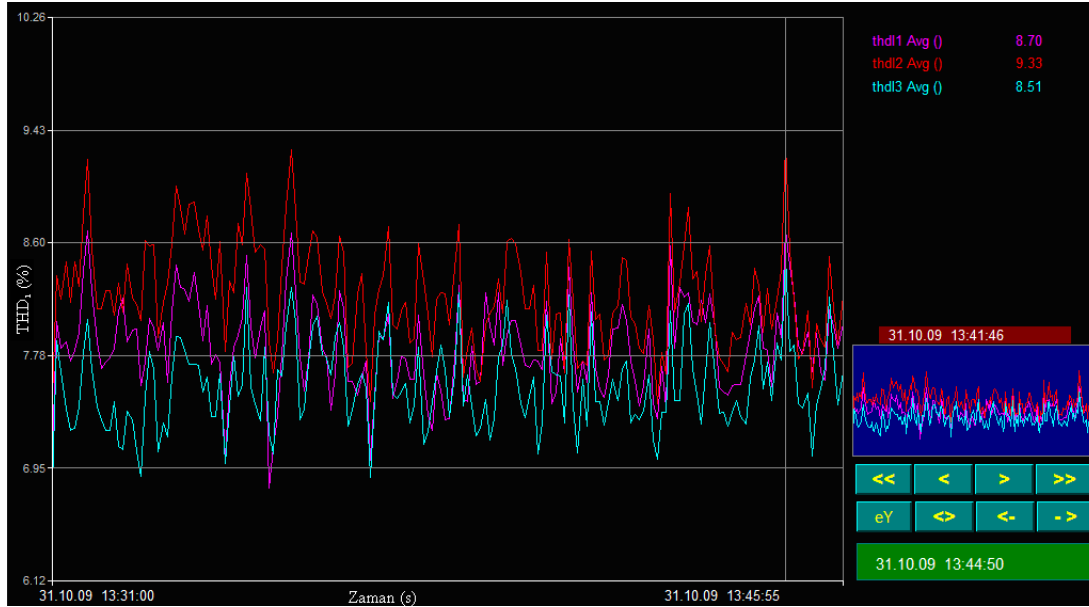
Şekil 6.9'da verilen tek hat şemasında A Medya tesisinde 34,5/0,4 kV dönüştürme oranında 2000 kVA'lık transformatör tesis edilmiştir.



Şekil 6.9 : A Medya tesisinin tek hat şeması

Sistemin yük karakteristiğine baktığımızda dört bölümden oluştuğu görülmektedir. Tesisde bulunan yükler , 400 kW' lık 6 pulse kesintisiz güç kaynağından, 750 kW' lık ana dağıtım panosuna bağlı çeşitli bir fazlı ve üç fazlı yükler, ısıtma grupları ve aydınlatma yüklerinin toplamından, soğutma grupları için 2x400 kW' lık 2 adet chiller grubundan oluşmaktadır. Transformatörün kurulu gücü 1950 kW, talep gücü ise 1200 kW'dır. Sistemde 575 kVAr'lık pasif filtreli kompanzasyon tesis edilmiştir. Sistem ile ilgili değerlendirme yapabilmek için yapılan ölçümler transformatörün AG barasından yapılmıştır.

31.10.2009 tarihinde 13:31 ile 13:46 arasında 5 saniye örnekleme zamanlamalarıyla alınan ölçümde Şekil 6.10'da pasif filtreli kompanzasyon devrede iken THD_1 değeri %7-9'dur.



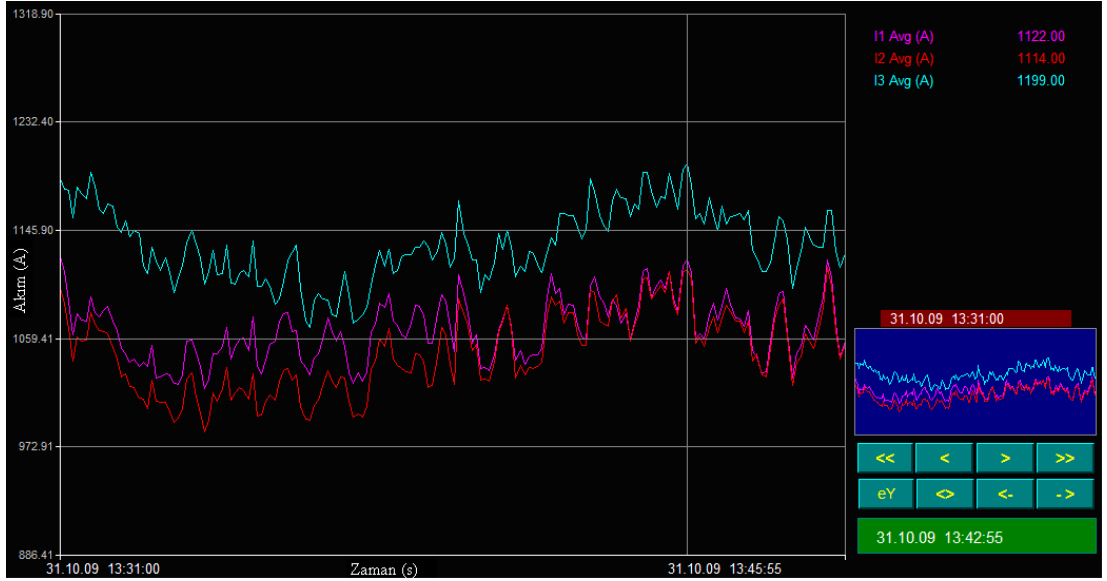
Şekil 6.10 : A Medya tesisinde THD_1 grafiği

31.10.2009 tarihinde 13:31 ile 13:46 arasında 5 saniye örnekleme zamanlamalarıyla alınan ölçümde Şekil 6.11'de pasif filtreli kompanzasyon devrede iken THD_v değeri %0,5-2 arasındadır.



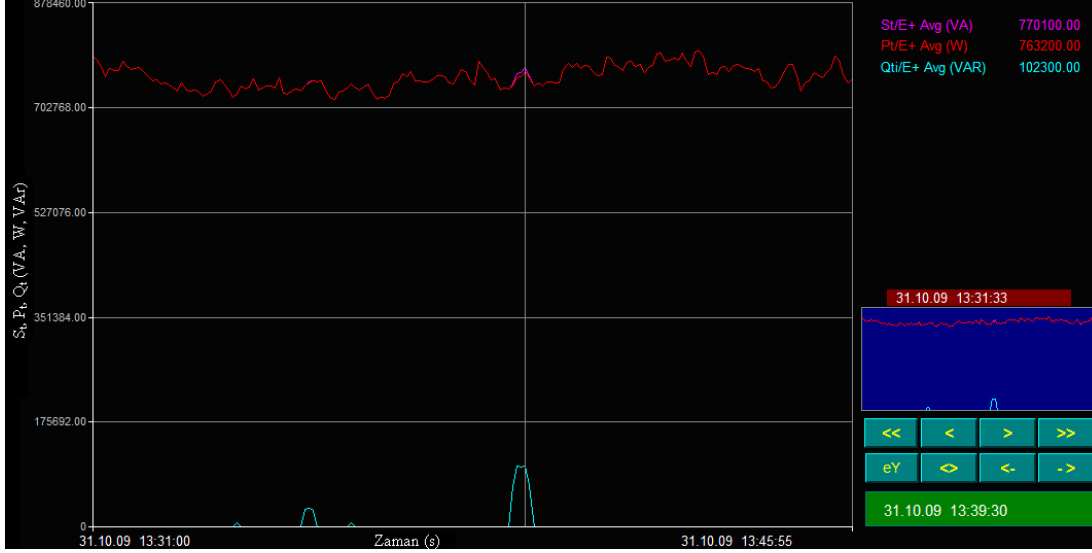
Şekil 6.11 : A Medya tesisinde THD_v grafiği

Transformatörün alçak gerilim tarafından alınan ölçümde tesisin şebekeden çektiği akım Şekil 6.12’de 1000 A ile 1200 A arasında olduğu görülmektedir. Tabii ki bu değerler yaz aylarında ilave yükler ile daha yüksek mertebelere çıkmaktadır.



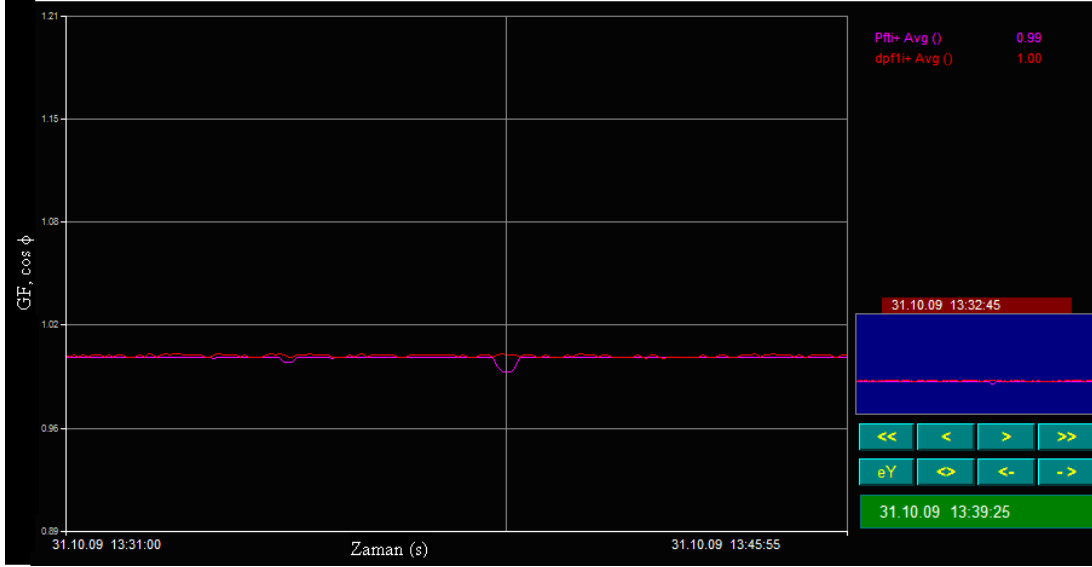
Şekil 6.12 : A Medya tesisinin ölçümde alınan akım değeri

Bu tesiste güç grafiklerine baktığımızda kısa an olarak $S_t=770$ kVA, $P_t=763$ kW, $Q_t=102$ kVAr gibi değerler aldığı, onun dışında S_t ve P_t grafiklerinin örtüştüğü yani $\cos \phi=1$ 'e geldiği yorumunu Şekil 6.13'e bakarak yapabiliriz.



Şekil 6.13 : A Medya tesisinde S_t , P_t , Q_t güç değerleri

Aşağıdaki grafikte Şekil 6.14’de yorumumuzu doğrular şekilde çıkmaktadır. Grafikteki dpf parametresi $\cos \phi$, pf parametresi ise GF değeridir.



Şekil 6.14 : A Medya tesisinde GF ve $\cos \phi$ değişim grafikleri

Çizelge 6.4’de A Medya tesisinde alınan ölçüm değerlerinin sonucu belirtilmektedir. Bu ölçüm değerleri dikkate alındığında reaktif güç kompanzasyonunun EPDK yönetmeliklerine uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.4 : A Medya tesisinde ölçümde elde edilen veriler

A Medya Tesisinde Elde Edilen Ölçüm Değerleri								
Durum / Parametre	I _{RMS} (A)	V _{RMS} (V)	THD _i (%)	THD _v (%)	cos ϕ	GF	P _t (kW)	Q _t (kVAr)
Pasif filtre devrede	1200	232	7-9	0,5-2	0,998	0,995	763	102

Ayrıca Çizelge 6.5’de ölçüm sonuçlarına göre bu tesisdeki toplam harmonik bozulmaların bileşenleri görülmektedir.

Çizelge 6.5 : A Medya tesisindeki akım ve gerilim tekil harmonik değerleri

A Medya Tesisindeki Akım ve Gerilim Tekil Harmonik Değerleri														
Durum / Parametre	I _{h3}	I _{h5}	I _{h7}	I _{h9}	I _{h11}	I _{h13}	I _{h15}	V _{h3}	V _{h5}	V _{h7}	V _{h9}	V _{h11}	V _{h13}	V _{h15}
	A							V						
Pasif filtre devrede	34	74	44	0	12	7	3	0	1,3	2,2	0	0,4	0,2	0,1

Sistemde de-tuned reaktörler kullanılarak tesis edilmiş pasif filtreli kompanzasyon, harmonik değerleri sönmleme konusunda yeterli görülmektedir. Burada tesis edilen kompanzasyon gücü; 11x50 kVAr + 1x25 kVAr =575 kVAr olarak tesis edilmiştir.

50 kVAr ve 25 kVAr lık olarak ifade edilen harmonik filtre reaktör gücünü ifade etmektedir. Sistemde şebeke geriliminden yüksek gerilimde kondansatör gerilimi seçilmiştir. Hesap olarak 460 V’ luk kondansatör gerilimi baz alınarak düşünülürse;

Kondansatör önünde kullanılan reaktörün, gerilimi kendi kademesi oranında yükselttiğini düşünürsek, 400 V şebeke gerilimini;

$$400 \times (1 + \% p) = 400 \times (1 + 0,07) = 428 \text{ V} \quad (6.6)$$

değerine gelir.

Eğer 460 V gerilimde Q_c=50 kVAr değerini veren eşdeğer kondansatörü gücü ise;

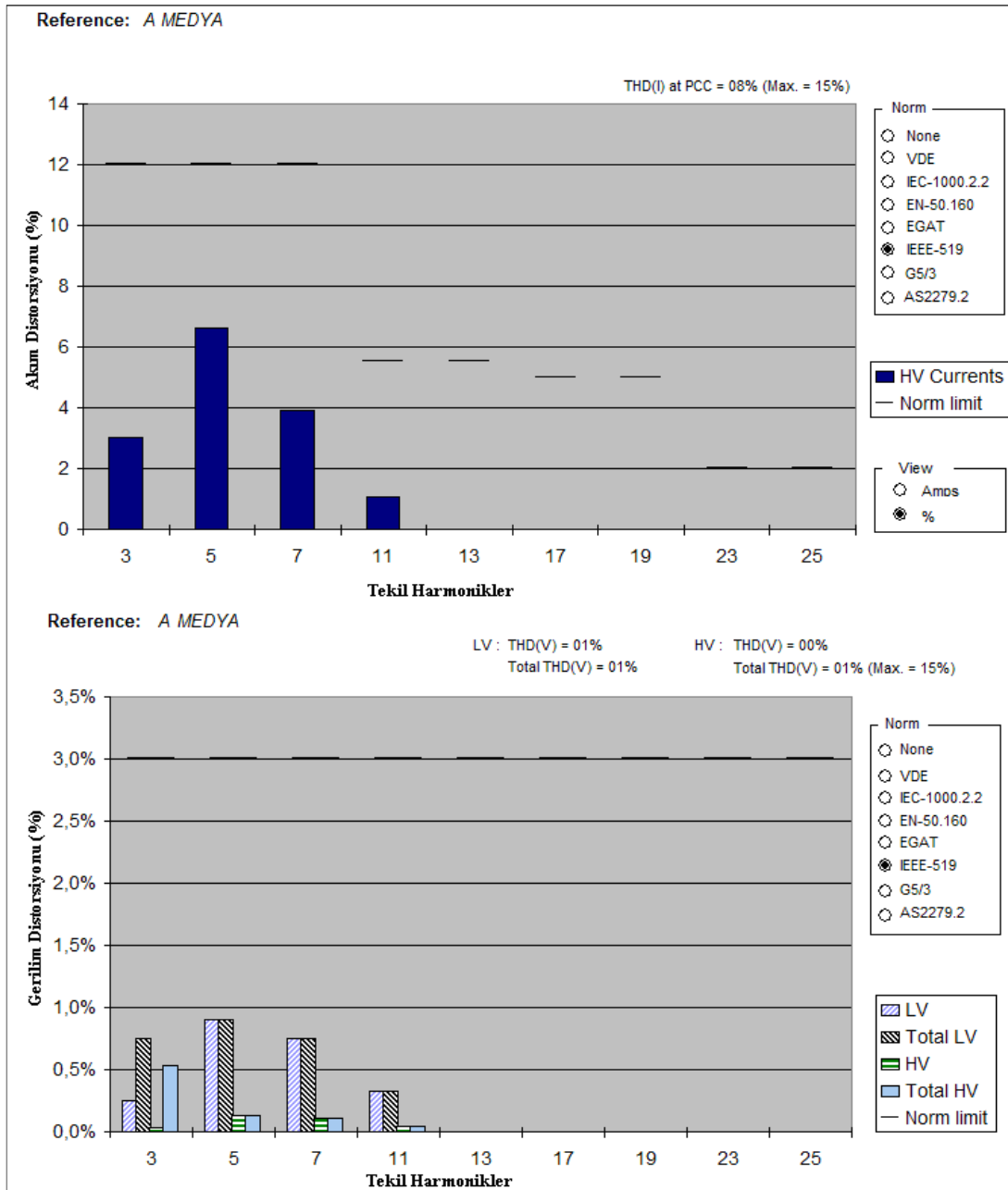
$$Q_{c_{460}} = \frac{U_{cn}^2}{U_c^2} \times Q_{c_{400}} \times \frac{1}{1 - \% p} = \frac{460^2}{428^2} \times 50 \times \frac{1}{1 - 0,07} = 62 \text{ kVAr} \quad (6.7)$$

olması gerekmektedir.

Yani ifade olarak sisteme 50 kVAr gruplar için 460 V da 62 kVAr'lık kondansatör , 25 kVAr için ise 460 V da 31 kVAr tesis edilmelidir.

400 V 575 kVAr/ 460 V 713 kVAr olarak pasif filtreli kompanzasyon tesis edilmiştir. Burada kullanılan reaktörler ise 400 V gerilimde 50 kVAr ve 25 kVAr, p%7 kademeli THD_v=%8 dayanımlı de-tuned reaktörlerdir.

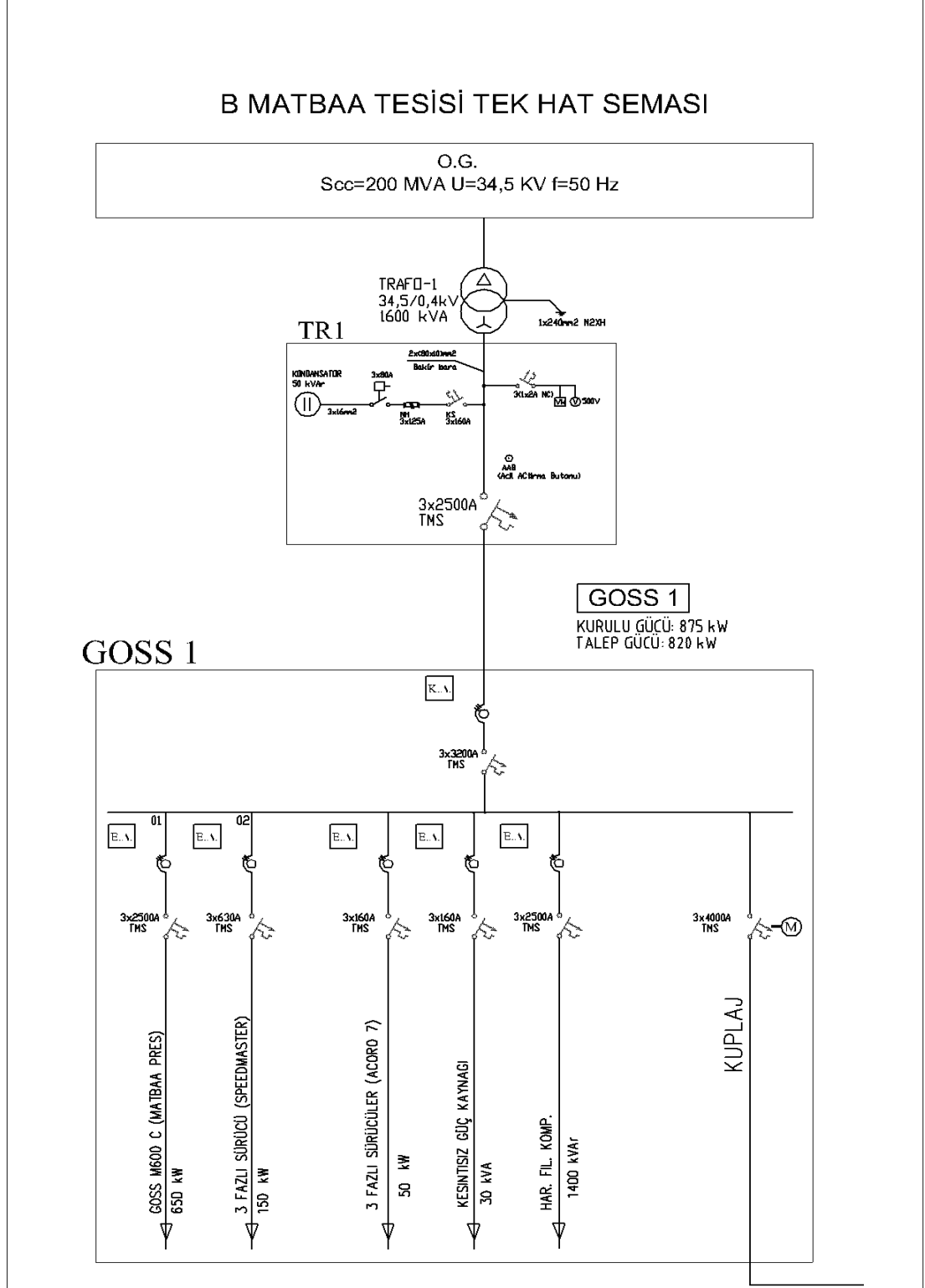
Sistemdeki harmonik değerlerine baktığımızda mevcut durumdaki THD_v, THD_i ve tekil harmoniklerin IEC 1000-2-2 ve IEEE 519 standartların altında kaldığı analiz edildiğinde Şekil 6.15'de görülmektedir.



Şekil 6.15 : THD_i ve THD_v tekil harmonik spektrumu

6.3 B Matbaa Tesisindeki Ölçüm Değerleri ve Analizleri

Şekil 6.16' da tek hat şeması verilen 34,5/0,4 kV dönüştürme oranında 1600 kVA'lık transformatör tarafından beslenen GOSS 1 adlı birim görülmektedir.

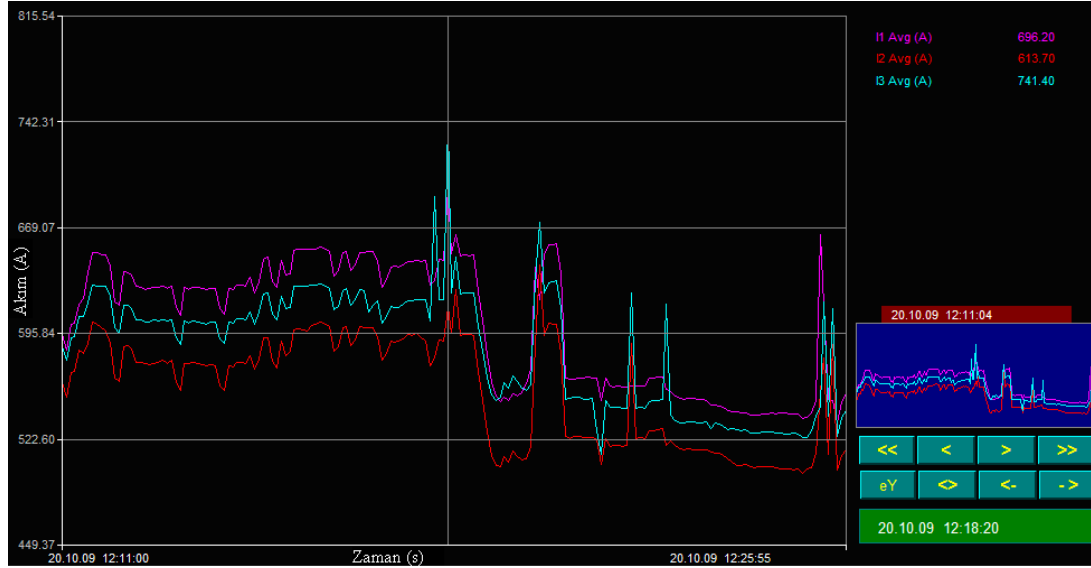


Şekil 6.16 : B Matbaa tesisinin tek hat şeması

GOSS1' in kurulu gücü 875 kW, talep gücü ise 820 kW' dır. Sistemde beslenen yükler; 650 kW gücünde GOSS M600 C matbaa makinası, ayrı ayrı bulunan 150 kW ve 50 kW lık üç fazlı sürücüler, 30 kVA' lık UPS ve 1400 kVAr' lık pasif filtreli kompanzasyondur.

Harmonik filtre reaktörü olarak kullanılan reaktörler A Matbaa tesisinden farklı olarak $p=5,67$ (210 Hz) kullanılmaktadır. B Matbaa tesisinde alınan ölçümler transformatörün AG barasından alınmıştır.

20.10.2009 tarihinde 12:11 ile 12:26 arasında 5 saniye örnekleme zamanlamalarıyla Şekil 6.17'de görülen transformatör alçak gerilim tarafından alınan ölçümde baskı makinelerinin devrede olduğu durumda akım değerleri 650 A mertebelerindedir.



Şekil 6.17 : B Matbaa tesisinde akım grafiği

20.10.2009 tarihinde 12:11 ile 12:26 arasında 5 saniye örnekleme zamanlamalarıyla alınan ölçümde pasif filtreli kompanzasyon devrede iken THD_1 değeri %15-16, pasif filtre devrede değil iken % 18-20 mertebelerinde olduğu Şekil 6.18'de görülmektedir.



Şekil 6.18 : B Matbaa tesisinde THD₁ grafiği

20.10.2009 tarihinde 12:11 ile 12:26 arasında 5 saniye örnekleme zamanlamalarıyla alınan ölçümde pasif filtreli kompanzasyon devrede iken THD_v değeri % 1-1,2 , pasif filtre devrede değil iken % 0,8-1,4 mertebelerinde olduğu Şekil 6.19'da görülmektedir.



Şekil 6.19 : B Matbaa tesisinde THD_v grafiği

Bu ölçüm değerlerine göre hem reaktif güç kompanzasyonun düzeltilmesi hem de harmoniklerin eliminasyonu sağlanarak, enerji kalitesi anlamında sinüsoidal dalga şeklinin elde edilmesi şeklinde optimum çözümler gerekmektedir.

Çizelge 6.6 : B Matbaa tesisinde elde edilen veriler

B Matbaa Tesisinde Elde Edilen Ölçüm Değerleri								
Durum / Parametre	I_{RMS} (A)	V_{RMS} (V)	THD_1 (%)	THD_v (%)	$\cos \phi$	GF	P_t (kW)	Q_t (kVAr)
Pasif filtre kompanzasyon devre dışı	570*	220	18-20	1-1,2	0,84	0,81	296	208
Pasif filtre devrede	650*	220	15-16	0,8-1,4	0,87	0,85	350	221

Çizelge 6.6' da B Matbaa tesisine alınan ölçümlerdeki verilerin sonucu belirtilmektedir. Çizelge 6.7' de ölçümlerdeki akım ve gerilim tekil harmoniklerin değerleri yer almaktadır.

Çizelge 6.7 : B Matbaa tesisindeki akım ve gerilim tekil harmonik değerleri

B Matbaa Tesisindeki Akım ve Gerilim Tekil Harmonik Değerleri														
Durum / Parametre	I_{h_3}	I_{h_5}	I_{h_7}	I_{h_9}	$I_{h_{11}}$	$I_{h_{13}}$	$I_{h_{15}}$	V_{h_3}	V_{h_5}	V_{h_7}	V_{h_9}	$V_{h_{11}}$	$V_{h_{13}}$	$V_{h_{15}}$
	A							V						
Pasif filtre kompanzasyon devre dışı	24	83	38	0,1	2	0,3	0	0	2,2	1,3	0	0,9	0,6	0,6
Pasif filtre devrede	25	71	45	0	1,3	0,2	0	0	2	1,1	0	0,5	0,4	0,4

Çizelge 6.8' de ise IEC 61000-4-30'da tanımlanan bir haftalık kesintisiz ölçüm zamanına uygun olarak veriler bulunmaktadır. Burada bulunan veriler pasif filtrenin devrede olduğu 1 haftalık ölçümleri belirtmektedir. A Matbaa tesisinde olduğu gibi Çizelge 6.6 ile Çizelge 6.8 arasında fark olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.8 : B Matbaa tesisindeki 1 haftalık kesintisiz ölçümler

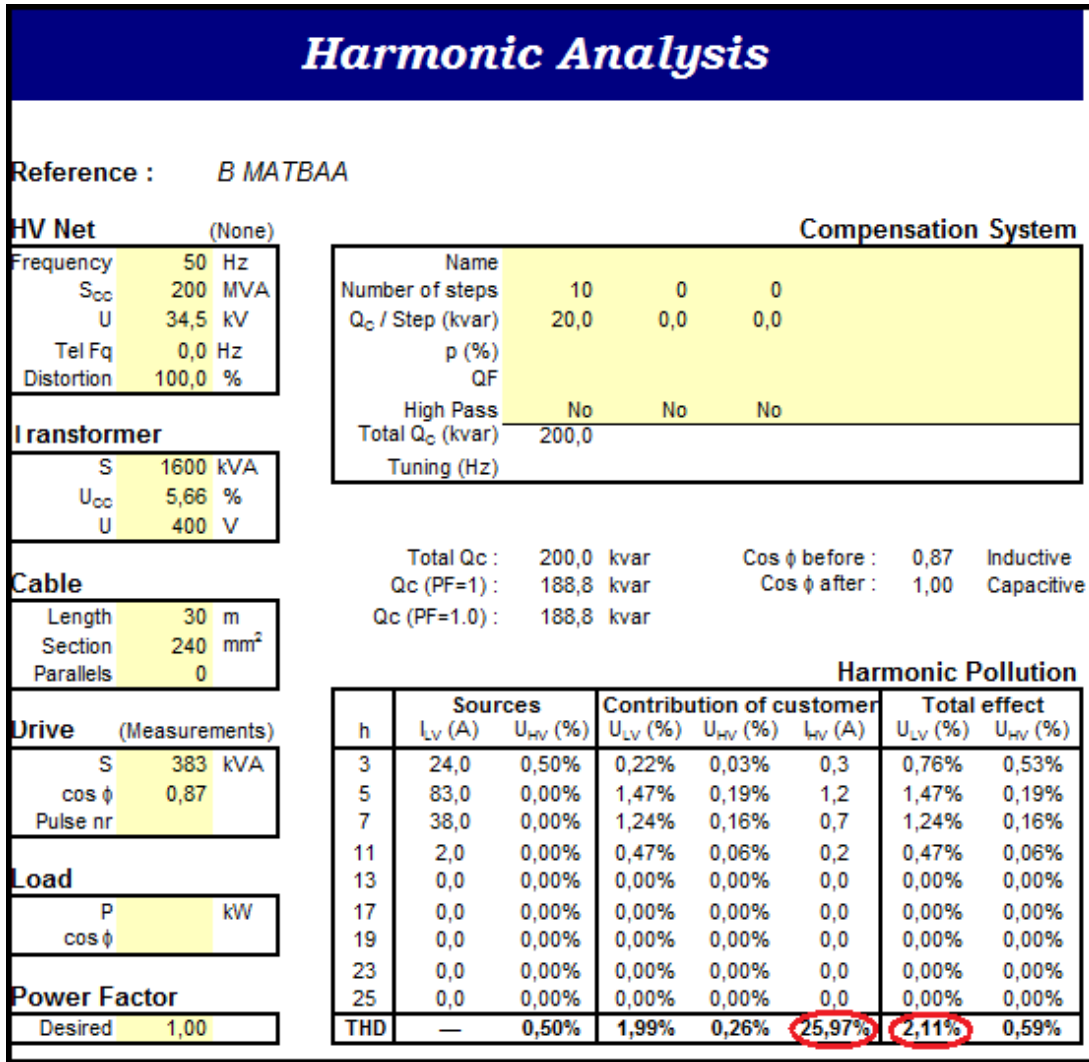
B Matbaa Tesisinde Elde Edilen Ölçüm Değerleri								
Durum / Parametre	I_{RMS} (A)	V_{RMS} (V)	THD_1 (%)	THD_v (%)	$\cos \phi$	GF	P_t (kW)	Q_t (kVAr)
Pasif filtre devrede	242	220	14	1	0,87	0,85	139,3	86,4

Çizelge 6.6'yı ele alacak olursak, pasif filtreli kompanzasyonun devre dışında tutulması durumu ölçümler sırasında elde edilen değerlerdir. Buradaki amaç, iki durum arasındaki farkı irdeleyebilmek ve pasif filtreli durum yeterli değil ise yapılması gereken ilave çözümleri belirleyebilmektir. Çizelge 6.6'da '*' ile belirtilen I_{RMS} değerinde pasif filtreli kompanzasyon devreden çıkmasıyla I_{RMS} ' de yükselme

beklenmektedir. Ama verilerde tam tersi gözlemlenmektedir. Bunun nedeni ölçüm sırasında yüklenme durumunda meydana gelen ciddi anlamda yük azalmasıdır. Dolayısıyla I_{RMS} değerinde düşüş görülmektedir.

Harmoniksel anlamda analiz yapmak için, önce normal anlamda kondansatör gruplarıyla bir analiz yaparak sistemin ne şekilde cevap vereceği gözlemlenecektir. Daha sonra pasif filtre ve ihtiyaç duyulursa çözüm olarak aktif filtrenin gerekliliği irdelenecektir.

Ölçümde pasif filtreli kompanzasyon sistemi tamamen devre dışı iken sistemde $THD_i = \%18-20$, $THD_v = \%0,8-1,4$ mertebelerindedir. Kompanzasyon sistemi kondansatör ile sağlansaydı bu değerlerin $THD_i = \%26$, $THD_v = \%2$ mertebelerine yükseldiği Şekil 6.20' de görülmektedir. Bu yüksek değerlerden, kondansatörlerle yapılan reaktif güç kompanzasyonunun reaktif güç tüketimini azaltmasına karşın yüksek harmonik değerleri ürettiği de anlaşılmaktadır. Ayrıca enerji kalitesinden bahsederken, frekans parametresi kondansatör reaktansının değişiminde etkili olduğu için rezonans sıkıntısının ortaya çıkması da sürpriz olmamalıdır.



Şekil 6.20 : Simülasyon yöntemiyle pasif filtresiz kompanzasyon durumu

Burada çözüm olarak pasif filtreli kompanzasyon yapmak düşünülenebilir. Sistemde kullanılan sürücü devreleri 6 pulse sistemlerin yüzdesel olarak fazla olduğundan, $n = kq + 1$ formülünde k, pulse sayısı; q, sıra ile ilerleyen tam sayı; olmak üzere $n = 6 \cdot 1 + 1 = 5$ ve 7 gibi tekil harmonik akımları baskın olacaktır. Bu yüzden filtre dizaynında her harmonik seviyesinin risk altında olduğunu ancak kondansör gücü devreye girdikçe rezonans frekansının düşük değerli harmonik değerlerine kayacağını göz önünde bulundurmalıyız. Burada odaklama frekansı olarak 250 Hz ve 350 Hz değerine yakın değerler olarak 189 Hz ($p = \%7$) ve 210 Hz ($p = \%5,67$) kullanabiliriz. B Matbaa tesisinde pasif filtreli kompanzasyon için $p = \%5,67$ reaktörü kullanılmıştır.

Harmonic Analysis

Reference : B MATBAA

HV Net (None)

Frequency	50 Hz
S _{CC}	200 MVA
U	34,5 kV
Tel Fq	0,0 Hz
Distortion	100,0 %

Transformer

S	1600 kVA
U _{CC}	5,66 %
U	400 V

Cable

Length	30 m
Section	240 mm ²
Parallels	0

Drive (Measurements)

S	383 kVA
cos φ	0,87
Pulse nr	

Load

P	kW
cos φ	

Power Factor

Desired	1,00
---------	------

Compensation System

Name			
Number of steps	10	0	0
Q _c / Step (kvar)	20,0	0,0	0,0
p (%)	5,67		
QF	40,0		
High Pass	No	No	No
Total Q _c (kvar)	200,0		
Tuning (Hz)	210,0		

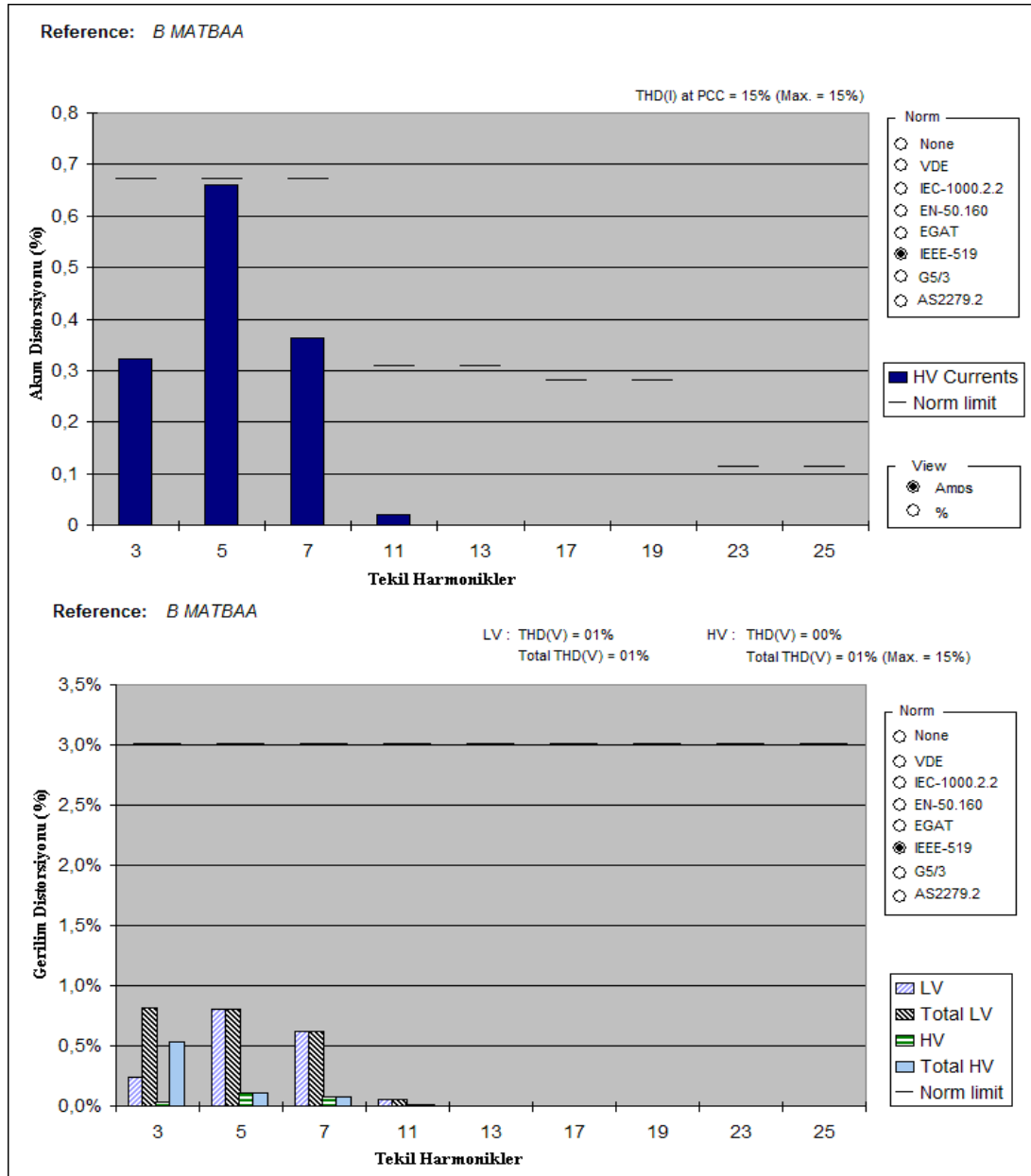
Total Q_c : 200,0 kvar Cos φ before : 0,87 Inductive
 Q_c (PF=1) : 188,8 kvar Cos φ after : 1,00 Capacitive
 Q_c (PF=1.0) : 188,8 kvar

Harmonic Pollution

h	Sources		Contribution of customer			Total effect	
	I _{LV} (A)	U _{HV} (%)	U _{LV} (%)	U _{HV} (%)	I _{HV} (A)	U _{LV} (%)	U _{HV} (%)
3	24,0	0,50%	0,24%	0,03%	0,3	0,82%	0,53%
5	83,0	0,00%	0,80%	0,10%	0,7	0,80%	0,10%
7	38,0	0,00%	0,62%	0,08%	0,4	0,62%	0,08%
11	2,0	0,00%	0,05%	0,01%	0,0	0,05%	0,01%
13	0,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,0	0,00%	0,00%
17	0,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,0	0,00%	0,00%
19	0,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,0	0,00%	0,00%
23	0,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,0	0,00%	0,00%
25	0,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,0	0,00%	0,00%
THD	—	0,50%	1,04%	0,13%	14,70%	1,30%	0,55%

Şekil 6.21 : Simülasyon yöntemiyle pasif filtreli kompanzasyon durumu

Sonuçları irdelediğimizde THD_v değerinin %1,3 mertebelerinde, THD_i değeri ise %14,70 oranında olduğu Şekil 6.21’de görülmektedir. THD_v ve THD_i değeri sınır IEC-1000-2-2 ve IEEE-519 standartlarına göre sınır değerlerin altında olduğu Şekil 6.22’ de görülmektedir.



Şekil 6.22 : THD_I ve THD_V tekil harmonik spektrumu

Eğer tekil harmoniklerin tamamen süzülmesi istenseydi aktif filtre gücünün hesaplanmasında Denklem 6.1 ve 6.3 kullanılarak;

$$I_{RMS} = \sqrt{24^2 + 83^2 + 38^2 + 2^2 + 0,3^2} \cong 94,4 \text{ A} \quad (6.8)$$

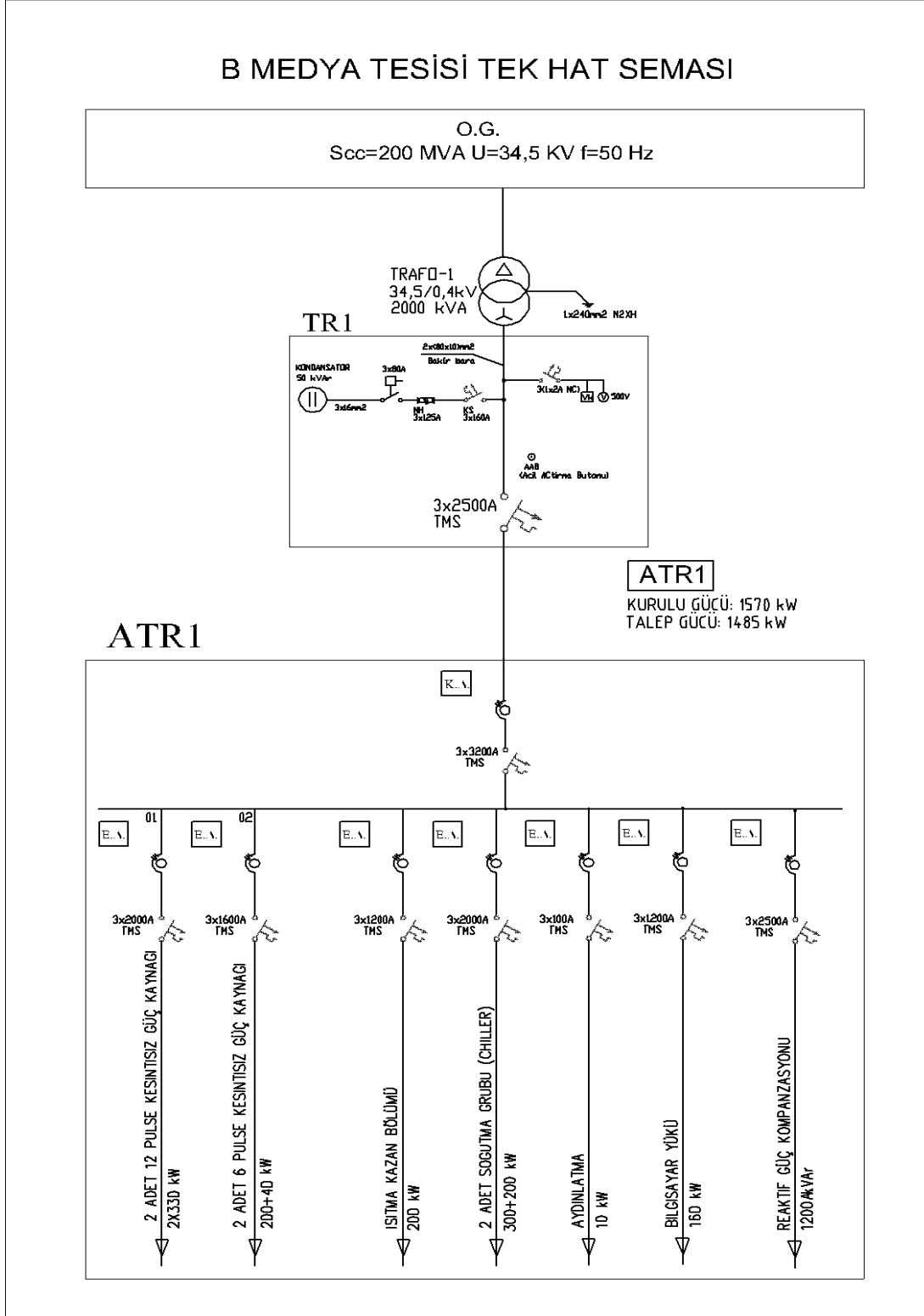
$$\begin{aligned} I_{RMS} \text{ filtre boyutu} &= 1,5 I_{RMS} \text{ filtre} = 142 \text{ A} \\ &= 2 I_{RMS} \text{ filtre} = 188 \text{ A} \end{aligned} \quad (6.9)$$

bulunabilir.

Bu veriler ışığında sisteme ilave yük alınmayacağı varsayımıyla 200A lik aktif filtre yeterli olacaktır. Bu yeni durumda tüm ölçüm sırasında elde edilen tekil harmonikleri süzdüğümüz için elektrik güç sisteminde sinüsoidal şekle ulaşılacaktır.

6.4 B Medya Tesisindeki Ölçüm Değerleri ve Analizleri

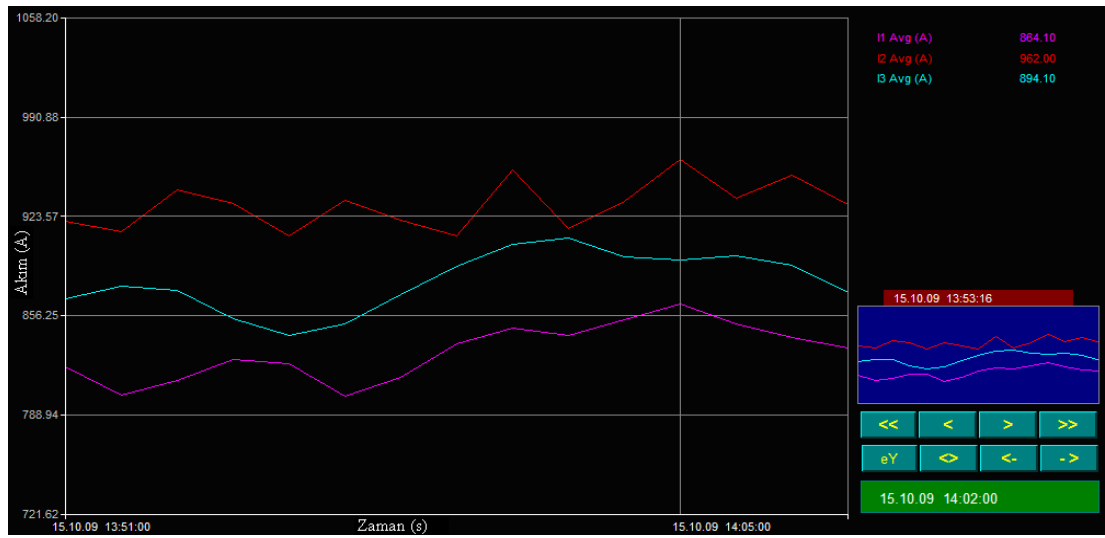
Şekil 6.23’ de tek hat şeması verilen tesiste 34,5/0,4 kV dönüştürme oranında 2000 kVA’lık transformatör tarafından beslenen ATR1 adlı birim görülmektedir.



Şekil 6.23 : B Medya tesisinin tek hat şeması

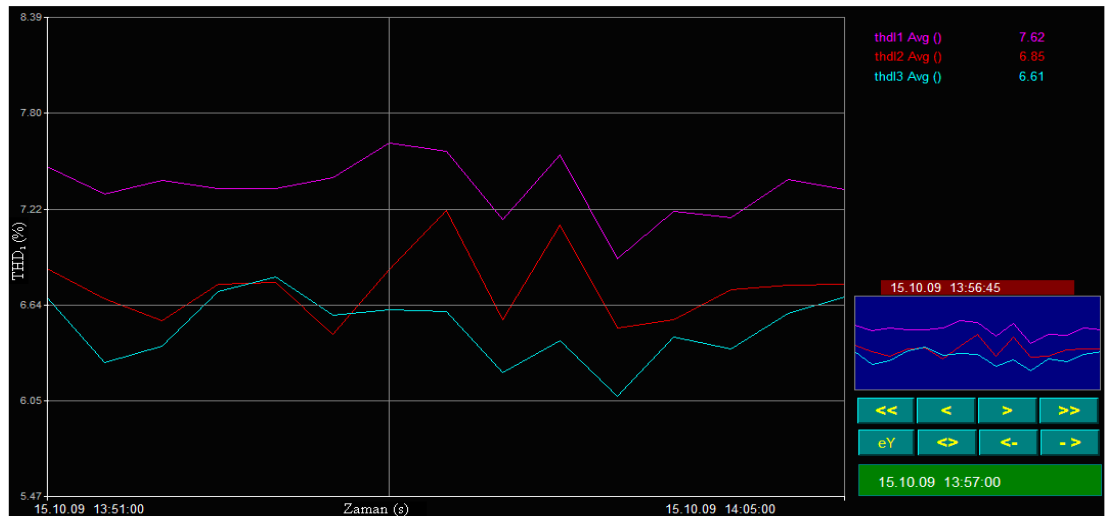
ATR1' in kurulu gücü 1570 kW, talep gücü ise 1485 kW' dır. Sistemde bulunan yükler 330 kW gücünde 12 pulse iki adet UPS, 200 kW ve 40 kW' lık 6 pulse iki adet UPS, 200 kW' lık iki adet ısıtma grubu, 400 kW ve 300 kW' lık chiller grubu, 10 kW' lık aydınlatma gücü, 160 kW' lık bilgisayar, bilgi-işlem yükleridir. Bu yükleri kompanze etmesi için 1200 kVAr' lık reaktif güç kompanzasyonu tesis edilmiştir. Sistemde ölçüm noktası olarak transformatörün AG barası seçilmiştir.

15.10.2009 tarihinde 13:51 ile 14:05 arasında 5 saniye örnekleme zamanlamalarıyla alınan ölçümde 760 A ile 950 A arasında elektrik şebekesinden akım çektiği Şekil 6.24'de görülmektedir.



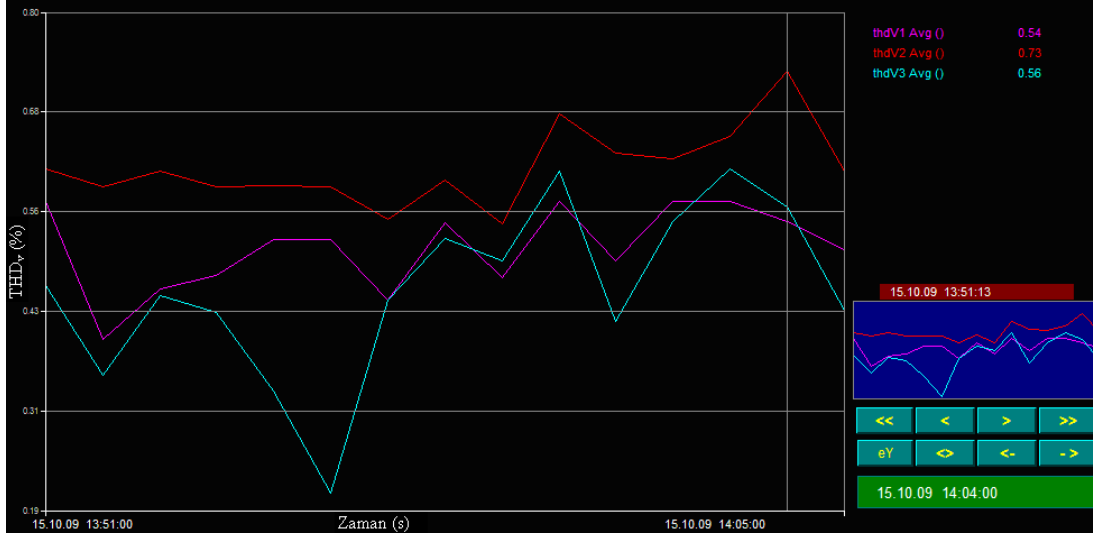
Şekil 6.24 : B Medya tesisinde akım grafiği

15.10.2009 tarihinde 13:51 ile 14:05 arasında 5 saniye örnekleme zamanlamalarıyla alınan ölçümde THD₁ %7,5 seviyelerinde olduğu Şekil 6.25'de görülmektedir.



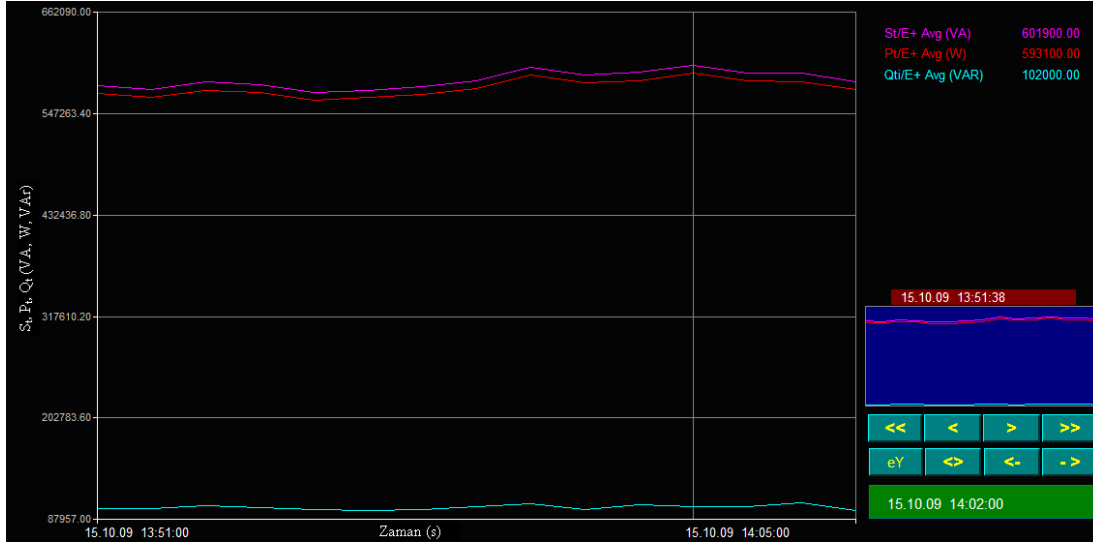
Şekil 6.25 : B Medya tesisinde THD₁ grafiği

15.10.2009 tarihinde 13:51 ile 14:05 arasında 5 saniye örnekleme zamanlamalarıyla alınan ölçümde THD_v %1 değerinin altında olduğu Şekil 6.26'da görülmektedir.



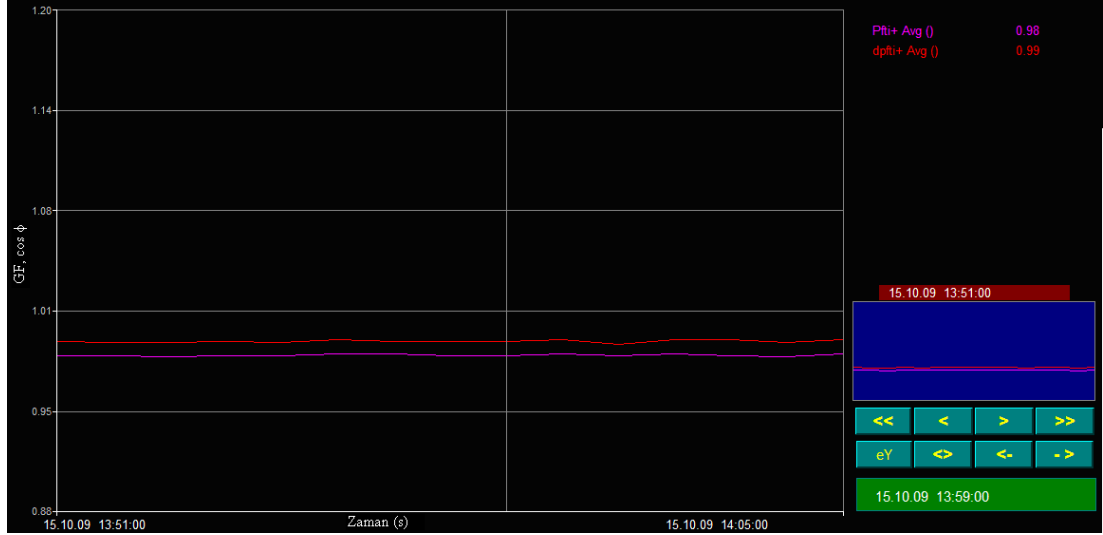
Şekil 6.26 : B Medya tesisinde THD_v grafiği

Bu tesiste güç grafiklerine baktığımızda ölçümde $S_t=600$ kVA, $P_t=590$ kW, $Q_t=102$ kVar gibi değerler Şekil 6.27'de görülmektedir.



Şekil 6.27 : B Medya tesisinde S_t , P_t , Q_t güç değerleri

Yan sayfadaki grafikte yani Şekil 6.28'de $GF=0,98$, $\cos \phi=0,99$ değerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 6.28 : B Medya tesisinde GF ve $\cos \phi$ değişim grafikleri

Bütün verilerin sonucu Çizelge 6.9’ da görülmektedir. Buradaki ölçüm değerleri IEEE 519 ve IEC-1000-2-2 standartlarına göre harmonik limit değerlerin altındadır.

Çizelge 6.9 : B Medya tesisinde elde edilen veriler

B Medya Tesisinde Elde Edilen Ölçüm Değerleri								
Durum / Parametre	I_{RMS} (A)	V_{RMS} (V)	THD_1 (%)	THD_v (%)	$\cos \phi$	GF	P_t (kW)	Q_t (kVAr)
Kompanzasyon devre dışı	950	221	7,22	0,73	0,99	0,98	583	103
Kompanzasyon devrede	760	221	7,5	0,53	0,99	0,98	590	106

Ayrıca Çizelge 6.10’da ölçümlerde elde edilen tekil harmoniklerin yine aynı standartlara göre sınır değerlerin altında olduğu söylenebilir.

Çizelge 6.10 : B Medya tesisindeki akım ve gerilim tekil harmonik değerleri

B Medya Tesisindeki Akım ve Gerilim Tekil Harmonik Değerleri														
Durum / Parametre	I_{h3}	I_{h5}	I_{h7}	I_{h9}	I_{h11}	I_{h13}	I_{h15}	V_{h3}	V_{h5}	V_{h7}	V_{h9}	V_{h11}	V_{h13}	V_{h15}
	A							V						
Kompanzasyon devre dışı	14	32	31	1	4	3	0,6	0	0	0,2	0	0,1	0	0
Kompanzasyon devrede	18	33	31	1	7	4	0,8	0	0	0,2	0	0,1	0	0

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması sonucunda medya sektörü özelinde yapılan elektrik enerji kalitesi ölçümlerinden yola çıkarak baktığımızda şu tespitleri yapabiliriz:

Elektrik güç sistemlerinde, 2008 yılında yapılan son düzenleme ile EPDK'nın 'Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği' gereğince son kullanıcının reaktif güç tüketiminin oranı açıkça belirtilmiştir. Bu sınır değerleri aşmak cezai durumu ortaya çıkarmaktadır. Medya sektöründe alınan ölçümlerde sınır değerleri B Matbaa tesisi dışında aşan tesis bulunmamaktadır.

Harmoniksel yönden incelediğimizde ise medya sektörünü, matbaa ve medya kısmı olarak ayrı ele almak gerekmektedir. Çünkü hem yük karakteristikleri hem de çalışma süreleri farklılık göstermektedir. Bu durum da ölçüm verilerine bakıldığında görülmektedir.

Matbaa tesislerinde yük karakteristiklerinden önce çalışma sürelerini incelemek gerekir. 1 hafta kesintisiz alınan ölçümlerin ortalaması ile günün belli saatlerinde üretimin olduğu zamanlarda ciddi farklar vardır. Özellikle takip edilen baskı makinalarının olduğu transformatörlerde üretim kapasitesine veya miktarına göre harmoniksel anlamda yükselmeler gözlenmektedir. Bu nedenle, hangi yüklenme durumu olursa olsun, harmoniksel değerler en yüksek mertebelerdeki durumlarına ve etki sürelerine göre analiz edilmelidir.

Elde edilen veriler iyi analiz edildiğinde matbaa kısmında harmonik değerlerin sınır değerlerin üzerinde veya bunlara yakın değerler olduğu görülmektedir. Bu tesislerdeki baskı makinalarının tek fazlı ve üç fazlı donanımlar içermesi, bunlara ek olarak sürücülerin yapısı, aydınlatma donanımlarından kaynaklanan nedenler harmonik bozulma sonuçlarını ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca ölçümlerde gözlemlenmesek de OG kısmından kaynaklı harmoniksel etkiler de sistemde harmonik oluşumuna neden olmaktadır. Bu durum elektrik dağıtım şebekesinden ve/veya bu şebekeye bağlı diğer tüketicilerden kaynaklanabilmektedir.

Matbaa tesislerinde ölçümlerde ortaya çıkan bir konu da 3. harmonik akım değerinin varlığıdır. Her fazda oluşan veya oluşabilecek 3. harmonik akımların toplamı ile üç fazlı dengesiz sistemler nedeniyle akan akımın vektörel toplamı nötr barasından geçmektedir. Bu duruma yol açacak hususların başında üç fazlı dengesiz yükler, tek fazlı yükler vb. nedenler söylenebilir.

Ele alınan matbaa tesislerinden A Matbaa tesisi aktif ve pasif filtre birlikte tesis edilmiştir. Yeni yapılan bu tesisde pasif filtrelili kompanzasyonda de-tuned filtrelili reaktörler kullanılmıştır. Buradaki amaç, belli oranda harmonik etkileri sönmölemek ve yine onun kadar önemli olan rezonans frekansını kritik (5. harmonik veya 7.harmonik) harmonik derecesinin bir geri noktasına taşıyarak (189 Hz veya 210 Hz gibi) rezonans etkisini minimize etmektir. Burada diğeri önemli bir avantaj sistemdeki kondansatörleri korumaktır. Bu doğru bir yaklaşımdır ama yeterli değildir.

Buna harmonik değerlerin limit değerlerin standartların üzerinde olduğuna bakarak söyleyebiliriz. Standartlarda dikkat edilecek ilk kriter THD_v değeri olması gerekmektedir. Bu değerin standartları aşması ilk koşul olarak incelenebilir. Fakat THD_i değeri standartlara göre yüksek olması riski de beraberinde getirmektedir. Ayrıca 3. harmonik akımı nötr barasından geçeceği için hem harmoniksel anlamda önlem alınması hem de kullanılan iletim donanımlarının kesitlerinde veya boyutlandırılmasında daha yüksek değerlere çıkarmak gerekir.

Akımdaki bozulmanın seviyesi THD değeri ile karakterize edilebilir fakat bazı durumlarda küçük bir akım büyük THD değerine sahip olabilir. Örneğin, hız kontrol sürücöleri çok küçük değerlerdeki yüklerde yüksek THD değeri gösterebilir. Çekilen harmonikli akım bileşenlerinin genlik değerleri küçük olduğundan bu akımlar sistem için zararlı seviyelerde değildir. Bu durumda özellikle IEEE-519 standardında TTD parametresi daha ön plana çıkmaktadır. THD ile arasındaki fark I_L maksimum çekilen yük akımını temel frekanstaki akım yerine kullanılmasıdır.

A Matbaa tesisinde aktif filtre sistemde tekil harmonik süzölmesinde doğru bir çözüm olmaktadır. Buradaki pasif filtre devrede olduğunda reaktif güç kompanzasyonu ihtiyacını karşılamakta ve kısmen harmonik etkileri sönmölemektedir. Aktif filtre ise oluşan harmonik etkileri kapasitesi oranında istenilen düzeyde sönmölemektedir. Ayrıca aktif filtre, reaktif güç ihtiyacını pasif

filtre kademesinde yer almayan küçük güç değerlerini kendi içindeki DC kondansatörler sayesinde gerçeklemektedir.

B Matbaa tesisinde devrede olan pasif filtreli kompanzasyon, reaktif güç ihtiyacını doğru biçimde sağlayamamaktadır. Ayrıca pasif filtreli kompanzasyonda kullanılan kondansatör gruplarının bazılarında alınan ölçümlerde yaklaşık %40 oranında güç kayıplarının olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum nedeniyle sistemde kullanılan harmonik filtre reaktörlerinin saturasyon (manyetik doyma) riski de mevcuttur. Burada pasif filtrenin belli kademelerinde güç kaybına uğrayan kondansatörler ile saturasyona giren reaktörlerin yenilenmesiyle çözüm elde edilebilir. Ayrıca aktif filtre ile tekil harmoniklerin istenilen oranda süzülmesinde fayda vardır.

A Medya ve B Medya tesislerinde ölçümlere baktığımızda harmoniksel seviyelerde belli sorunlar ile karşılaşmamıştır. Bu tesislerdeki yük karakteristikleri matbaa tesislerine göre daha çeşitlidir. Ayrıca gün içindeki yük çekme oranları daha süreklidir. Bu yüzden medya tesislerinde 1 haftalık kesintisiz ölçümlerde günlük bazda birbirine benzeyen ve sürekli bir harmoniksel gerilim ve akım verileri elde edilir.

Bu medya tesislerinde yük karakteristiğinde harmonik kaynakları olarak ifade edilen sürücüler, UPS yükler, frekans konvertörleri, bilgisayar yükleri, flourasanlar vb. yoğunluktadır. Bu yükler lokal kısımlarda ele alındığında harmonik değerleri yüksek olabilmektedir. Harmonik kaynakları tek tek alındığında sistemde belli oranda harmonikli akım oluşmasına neden olmaktadır. Fakat lokalde yüksek etkisi olan bu yükler, lokalden besleme noktasına yaklaştıkça sistem üzerindeki etkisi düşmektedir.

Bu iki medya kuruluşunda harmoniksel anlamda öncelikle reaktif güç kompanzasyonu ön plandadır. A medya kuruluşunda pasif filtreli kompanzasyon tesis edilerek harmoniksel etkileri azaltma veya yok etme anlamında çözüm üretilmiştir. Bu iki tesisde kurulan sistemler transformatörün AG dağıtım panosuna paralel olan merkezi sistemlerdir. Doğrusal olmayan yüklerin olduğu birimlerde harmoniksel anlamda lokal çözüm üretilmemiştir. Bunun nedeni maliyet-fayda ilişkisine göre değerlendirme yapılmasıdır. Oysaki teknik anlamda lokal çözümler en iyi yaklaşımlardır. Ama burda ele alınması gereken konu optimum çözümü sunmaktır. Bu medya kuruluşlarında endüstride kullanılan kaynak makinaları, punto makinaları vb. yükler olsaydı lokalde çözüm üretmek ciddi anlamda gerekebilirdi. Burada bu tarz iki fazlı, ani yük değişimi olan yükler olmadığı için cihaz

üreticilerinden harmoniksel anlamda belli standartlar talep edilebilir. Bu şekilde ürün bazında harmoniksel bir standart getirilebilir. Zaten ölçümlerde de görüldüğü üzere sistemin AG barasında harmoniksel etkiler standartlarca sağlanmaktadır.

Harmonik etkileri yok etmek için tesis edilen harmonik filtrelerin, işletmeye olan maliyetini anlatabilmek için A Matbaa tesisinden bir örnek verilebilir. Bu tesisde ölçüm alınan kısımdaki 2 adet baskı makinasının toplam maliyeti 5 milyon Euro'dur. Sistemde mevcut sistem için pasif filtrenin kVAr başına maliyeti 20 Euro, aktif filtrenin sistemde mevcut yapısı düşünülürse amper başına 70 Euro gibi birim fiyat bulunmaktadır. Bu şartlarda aktif filtre ve pasif filtrenin toplamda işletmeye maliyeti yaklaşık olarak 80.000 ile 90.000 Euro arasında bir değer olmaktadır. Burada ifade edilen örnek, böyle bir tesisde harmoniksel anlamda çözümün işletmeye maliyetini ortaya koyabilmektir.

Sistemde ileride oluşabilecek güç arttırımı, yeni harmonik üreten cihazların ilavesi vb. nedenler mevcut durumu değiştirebilir. Bunun yanı sıra, IEC 61000-4-30 standardında belirtilen ölçüm periyodu boyunca izlenilmesinde ve sistemi sürekli kontrol altında tutulmasında yarar vardır. Bu sonuçların ışığında medya ve matbaa tesislerinde etkin bir enerji izleme sisteminin oluşturulması karar mekanizmasında kolaylık sağlar.

Matbaa ve medya tesislerinde yapılan ölçümlerde elde edilen sonuçlar ışığında diğer tesislerde buna paralel bir bakış açısı oluşturmak söz konusu olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Sankaran, C.**, 2002. *Power Quality*, CRC Press LLC, ABD.
- [2] **Url- 1** <<http://www.guckalitesi.gen.tr/apache2default/tr/news/pdf/Guc%2Kalitesi.pdf>>, alındığı tarih 15.10.2009.
- [3] **Edminster, J.A.**, 1969. *Electrical Circuits*, Mc Graw Hill, Schaum's Series, New York.
- [4] **Acha, E., and Madrigal, M.**, 1988. *Power Systems Harmonics: Computer Modelling and Analysis 3th ed.*, John Wiley&Sons Inc., New York.
- [5] **Arıkan, O., Karakaş, A., Kocatepe, C., Uzunoglu, M., ve Yumurtacı, R.**, 2003. *Elektrik Tesislerinde Harmonikler*, Birsen Yayınları, İstanbul.
- [6] **Bayram, M.**, 1991. *Güç Katsayısının Düzeltilmesi ve Güç Kondansatörleri*, İstanbul.
- [7] **Elektrik Müh. Odası**, 1993. *İstanbul Şubesi, Reaktif Güç Kompanzasyonu Seminer Notları*, İstanbul.
- [8] **EPDK**, 2008. *Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenirliği ve Kalitesi Yönetmeliği*, Ankara.
- [9] **Beaty, H.W., Dugan, R.C., and Mcgranaghan, M.F.**, 1996. *Electrical Power Systems Quality 2nd ed.*, McGraw-Hill Comp., New York.
- [10] **IEEE 1159.3-2003**, 2003. Recommended Practice For The Transfer Of Power Quality Data With Permission From IEEE, *IEEE*, ABD.
- [11] **Sarma, M.S., and Vedam, R.S.**, 2009. *Power Quality*, CCR Press LLC, ABD.
- [12] **Url- 2** <http://www.etmd.org.tr/teknik_yazilar.php?pageNum_teknikyazilar=2&totalRows_teknikyazilar=88>, alındığı tarih 15.10.2009.
- [13] **Ferraci, P.**, 2001. *Power Quality*, Cahier Technique Schneider Electric no.199.
- [14] **Url- 3** <<http://www.elenke.org/files/GKUK.3.1.pdf>>, alındığı tarih 13.09.2009.
- [15] **Çorapsız, M.H.**, 2004. Pasif Harmonik Filtrelemede Pratik Yaklaşımlar, *3e Electrotech Aylık Dergisi*, 2004/1(116): 104-107.
- [16] **Url- 4** <<http://www.elenke.org/files/GKUK.3.3.1.pdf>>, alındığı tarih 13.09.2009.
- [17] **IEEE Std 519-1992**, 1992. IEEE Recommended Practices And Requirements For Harmonic Control In Electrical Power Systems, *IEEE*, ABD.
- [18] **Beaty, H.W., Dugan, R.C., McGranaghan, M.F., and Santoso, S.**, 2002. *Electrical Power Systems Quality*, McGraw-Hill Comp., New York.
- [19] **Url- 5** <http://www.sanel.com.tr/dosyalar/File/ABB_KATALOG_Enerji_Kalitesi.pdf>, alındığı tarih 12.09.2009.

- [20] **Wakileh,G.J.**, 2001. *Power System Harmonics: Fundamentals, Analysis and Filter Design*, Springer , New York.
- [21] **IEC-61000-2-4**, 2002. Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances, *IEC*, Cenevre.
- [22] **EPDK**, 2008. Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmelik, Ankara.
- [23] **TS EN 61000-3-2**, 2006. Elektromanyetik Uyumluluk (EMU)-Bölüm 3-2: Sınır Değerler-Harmonik Akım Yayınları İçin Sınır Değerleri (Donanım Giriş Akımı Faz Başına 16 A), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [24] **TS EN 61000-3-12**, 2005. Elektromanyetik Uyumluluk (EMU)-Bölüm 3-12: Sınır Değerler-Faz Başına 16 A ve 75 A Giriş Akımlı Alçak Gerilim Sistemlerine Bağlanan Cihazın Neden Olduğu Harmonik Akımlar İçin Sınır Değerler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [25] **ABB NETQ Harmonic Analysis**, 2005.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: İter CON

Doğum Yeri ve Tarihi: Şumnu - 17.02.1984

Adres: Cebeci Mah. 2556 Sok. No:47/3 Sultangazi/İSTANBUL

Lisans Üniversite: Kocaeli Üniversitesi

Ünvanı: Elektrik Mühendisi

Lise: Pertevniyal Anadolu Lisesi