

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARMONİKLERİ FİLTRELEME YÖNTEMLERİ VE
KOMPANZE EDİLMİŞ BİR SİSTEMİN YÜK AKIŞ ANALİZİ**

KADRİ EFE

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ERDİN GÖKALP**

İSTANBUL, 2011

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARMONİKLERİ FİLTRELEME YÖNTEMLERİ VE
KOMPANZE EDİLMİŞ BİR SİSTEMİN YÜK AKIŞ ANALİZİ**

KADRİ EFE

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ERDİN GÖKALP**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARMONİKLERİ FİLTRELEME YÖNTEMLERİ VE
KOMPANZE EDİLMİŞ BİR SİSTEMİN YÜK AKIŞ ANALİZİ

Kadri Efe tarafından hazırlanan tez çalışması 01.08.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Erdin Gökalp
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Erdin Gökalp
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin Çakır
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hakan Ündil
İstanbul Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması ile bana çok şey kazandıran yüksek lisans eğitimimin sonuna gelmiş bulunuyorum. Tez çalışmasında beni yönlendiren ve bu çalışmayı bana sağlayan, çalışmamın not için değil, öğrenmek ve geliştirmek amaçlı olduğunu idrak ettiren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Erdin Gökalp'e, desteklerini esirgemeyen TÜBİTAK, her türlü teknik desteği veren başta Ediz Yanıkoğlu ve Osman Aydemir olmak üzere Optimus Doruk A.Ş. ve Anelsis Mühendislik firması çalışanlarına teşekkür ederim.

Beni yüksek lisans eğitimi almaya yönlendiren ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, beni bugünlere gelmemde büyük katkıları bulunan başta babam olmak üzere tüm aileme en kalbi duygularımla teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2011

Kadri EFE

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.2.1 Enerji Kalitesi	2
1.2.2 Enerji Sisteminde Kalite Problemleri	3
1.2.3 Elektrik Enerji Kalitesindeki Problemlerin Nedenleri	4
1.3 Enerji Kalitesinin Gerekliliği.....	4
BÖLÜM 2	
HARMONİKLER	6
2.1 Giriş.....	6
2.2 Harmonik Kaynakları	9
2.3 Harmonikler Nasıl Oluşur	11
2.4 Harmoniklerin Akım Yönü	12
2.5 Harmoniklerin Zararları	15
2.6 Harmonikler ile İlgili Kısa Formüller ve Standartlar	17
BÖLÜM 3	
REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU	18
3.1 Giriş.....	18

3.2	Harmonik Kaynaklı Reaktif Güç Bedeli	19
3.3	Rezonans Gücü Hesabı	20
3.4	Reaktif Güç Çekilmesine Neden Olan Kaynaklar	21
3.5	Reaktif Güç Tarifesi	22
3.6	Düşük Güç Katsayısının Sakıncaları	23
3.7	Reaktif Güç Kompanzasyonunun Amacı	25
3.7.1	Trifaze Dengeli Yüklenmiş İşletmeler	27
3.7.2	Trifaze ve Monofaze Dengeli Yüklenmiş İşletmeler	27
3.7.3	Monofaze Dengesiz Yüklenmiş İşletmeler.....	27
3.8	Reaktif Güç Kompanzasyonunun Faydaları.....	28
3.8.1	Tüketici Açısından Kompanzasyonun Faydaları	28
3.8.2	Üretici Açısından Kompanzasyonun Faydaları	29
3.8.2.1	Sistem Kapasitesinin Artması	29
3.8.2.2	Isı Kayıplarının Azalması.....	30
3.8.2.3	Gerilim Düşümünün Azalması	30
3.9	Reaktif Güç Kompanzasyonunda Kullanılan Elemanlar.....	31
3.9.1	Giriş.....	31
3.9.2	Güç Kondansatörleri.....	32
3.9.3	Deşarj Bobinleri ve Dirençleri.....	36
3.9.3.1	Deşarj Direnci.....	37
3.9.3.2	Deşarj Bobinleri	37
3.9.4	Kondansatör Kontaktörleri	37
3.9.5	NH Bıçaklı Sigortalar	38
3.9.6	Akım Transformatörleri	40
3.9.7	Pako Şalterler ve Butonlar	41
3.9.8	Sinyal Lambaları.....	42
3.9.9	Harmonik Filtre Reaktörleri.....	44
3.9.10	Otomatik Sigortalar	45
3.9.11	Parafudr	47
3.9.12	Reaktif Güç Kontrol Rölesi.....	48
3.9.13	Termik Manyetik Şalter	49
3.10	Reaktif Güç Kompanzasyonu Çeşitleri.....	50
3.10.1	Harmonik Reaktörlü Kompanzasyon Sistemleri	50
3.10.1.1	Harmonik Reaktörlü Kompanzasyon Sistemi Örnek Uygulama .	51
3.10.2	Aktif Filtreli Kompanzasyon Sistemleri.....	61
3.10.2.1	Aktif Filtreli Kompanzasyon Sistemi Örnek Uygulama	62

BÖLÜM 4

KOMPANZE EDİLMİŞ BİR SİSTEMDE YÜK AKIŞI

4.1	Giriş.....	75
4.2	Yük Akışı Yapılacak Tek Hat Şeması.....	75
4.2.1	Yük Akış Analizi	78
4.2.1.1	Kompanzasyon Sistemi Bulunmayan Şebekenin Yük Akış Analizi .	78
4.2.1.2	Kompanzasyon Sistemi Bulunan Şebekenin Yük Akış Analizi	78
4.2.2	Maliyet Analizi	79
4.2.2.1	Kompanzasyon Sistemi Bulunmayan Şebekenin Maliyet Analizi ..	79

4.2.2.2 Kompanzasyon Sistemi Bulunan Şebekenin Maliyet Analizi	81
4.3 Kompanzasyonun Maliyet Analizi	83

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	84
KAYNAKLAR	86
EK-A	88
KOMPAZASYON SİSTEMİ BULUNMAYAN SİSTEMİN YÜK AKIŞI	88
EK-B	95
KOMPAZASYON SİSTEMİ BULUNAN SİSTEMİN YÜK AKIŞI	95
EK-C	102
KOMPAZASYON SİSTEMİ İLE İLGİLİ YÖNETMELİK	102
ÖZGEÇMİŞ	106

SİMGE LİSTESİ

f	Frekans
f_{pr}	Paralel rezonans frekansı
f_{sr}	Seri rezonans frekansı
f_{kaynak}	Kaynak frekansı
X_c	Kondansatör reaktansı
X_{LT}	Transformatör reaktansı
S_{sc}	Transformatör kısa devre gücü
V_{rms}	Efektif gerilim
I_{rms}	Efektif akım
THD_v	Gerilim için toplam harmonik distorsiyonu
THD_i	Akım için toplam harmonik distorsiyonu
S	Görünür güç
P	Aktif güç
Q	Reaktif güç
Q_c	Kondansatör gücü
U	Fazlararası gerilim
V	Faz-Nötr gerilimi
R	Direnç
I	Toplam (görünür) akım
I_p	Aktif akım
I_q	Reaktif akım
I_{SC-max}	Bara simetrik kısa devre akımı
φ	Güç açısı
$\cos\varphi$	Güç faktörü
μ	Harmonikli sistem güç faktörü çarpımı
PF	Harmonikli sistem güç faktörü
Q_{res}	Paralel rezonans gücü
n	Harmonik mertebesi
$u_k\%$	Transformatör kısa devre gerilimi
$\sin\varphi_k$	Transformatör bağlı kısa devre güç açısı sinüsü
C_y	Yıldız bağlı kondansatör kapasitesi
C_{Δ}	Üçgen bağlı kondansatör kapasitesi

KISALTMA LİSTESİ

PLC	Programlanabilir Lojik Kontrolör
DC	Doğru Akım
AC	Alternatif Akım
UPS	Kesintisiz Güç Kaynağı
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEC	International Electrotechnical Commission
THD	Toplam Harmonik Distorsiyonu
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
LCD	Likit Kristal Ekran

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Temel bileşen ve harmonikler 7
Şekil 2. 2	Temel bileşen 7
Şekil 2. 3	Üçüncü harmonik 8
Şekil 2. 4	Beşinci harmonik 8
Şekil 2. 5	Toplam harmonikli eğri 8
Şekil 2. 6	PC güç kaynağı harmonik spekturumu 10
Şekil 2. 7	Kompakt florasan harmonik spekturumu 10
Şekil 2. 8	Lineer eleman akım ve gerilim dalga şekli 11
Şekil 2. 9	Non-Lineer eleman akım ve gerilim dalga şekli 12
Şekil 2. 10	Harmoniklerin akım yönleri 13
Şekil 2. 11	Paralel rezonans frekansı 14
Şekil 2. 12	Kompanze edilen sistemin frekans aralığı 15
Şekil 2. 13	Üçüncü harmoniğin nötr akımına etkisi 16
Şekil 3. 1	Aktif, reaktif ve görünür güç fazör diyagramları 18
Şekil 3. 2	Trifaze endüktif yük 25
Şekil 3. 3	Şebeke gerilimi ve endüktif yük akımı 26
Şekil 3. 4	Kompanze edilmiş trifaze endüktif yük 26
Şekil 3. 5	Kompanzasyon sonrası şebeke gerilimi ve yük akımı 26
Şekil 3. 6	Güç fazörleri 28
Şekil 3. 7	Dağıtım hattından beslenen tüketici 29
Şekil 3. 8	Güç katsayısının gerilim düşümü üzerine etkisi 31
Şekil 3. 9	Kondansatörün içyapısı ve dıştan görünümü 34
Şekil 3. 10	Kondansatörün dıştan görünümü 35
Şekil 3. 11	Kondansatörlerin pano içinde yerleşimi 36
Şekil 3. 12	Deşarj bobini 37
Şekil 3. 13	Kondansatör kontaktörü 38
Şekil 3. 14	NH sigorta ve kaidesi 39
Şekil 3. 15	Akım transformatörü yerleşimi 40
Şekil 3. 16	Pako şalterler ve buton 41
Şekil 3. 17	Pako şalterli kompanzasyon panosu 43
Şekil 3. 18	Butonlu kompanzasyon panosu 44
Şekil 3. 19	Harmonik reaktörü 44
Şekil 3. 20	Harmonik reaktörü etiket değerleri 45

Şekil 3. 21	Otomatik sigorta ve kartuş sigorta	47
Şekil 3. 22	Parafudr	48
Şekil 3. 23	Reaktif güç kontrol rölesi	49
Şekil 3. 24	Termik manyetik şalter	50
Şekil 3. 25	Akım, gerilim ve frekans ölçümü (Kompanzasyon devre dışı)	51
Şekil 3. 26	Aktif, reaktif ve görünür güç ve güç faktörü (Kompanzasyon devre dışı)..	52
Şekil 3. 27	Kompanzasyon devre dışı iken akım ve gerilim grafikleri.....	52
Şekil 3. 28	Akım, gerilim ve frekans ölçümü (Kompanzasyon devrede)	53
Şekil 3. 29	Aktif, reaktif ve görünür güç ve güç faktörü (Kompanzasyon devrede)....	53
Şekil 3. 30	Kompanzasyon devrede iken akım ve gerilim grafikleri	54
Şekil 3. 31	Kompanzasyon devre dışı iken spektrum	54
Şekil 3. 32	Kompanzasyon devrede iken spektrum.....	55
Şekil 3. 33	Kompanzasyon devre dışı iken THD _i spektrum.....	55
Şekil 3. 34	Kompanzasyon devrede iken THD _i spektrum	56
Şekil 3. 35	Kompanzasyon devre dışı iken spektrum	56
Şekil 3. 36	Kompanzasyon devrede iken spektrum.....	57
Şekil 3. 37	Kompanzasyon devre dışı iken THD _v spektrum	57
Şekil 3. 38	Kompanzasyon devrede iken THD _v spektrum	58
Şekil 3. 39	Harmonik reaktörlü kompanzasyon panosu iç görünüş -1.....	59
Şekil 3. 40	Harmonik reaktörlü kompanzasyon panosu iç görünüş -2.....	60
Şekil 3. 41	Harmonik reaktörlü kompanzasyon panosu iç görünüş -3.....	61
Şekil 3. 42	Aktif filtre devrede değil iken akım ve gerilim değerleri	63
Şekil 3. 43	Aktif filtre devrede değil iken aktif, reaktif ve görünür güç.....	63
Şekil 3. 44	Akım ve gerilim dalga şekilleri (Aktif filtre devrede değil)	64
Şekil 3. 45	360kW değerinde THD _v spektrumu (Aktif filtre devrede değil)	64
Şekil 3. 46	360kW değerinde THD _i spektrumu (Aktif filtre devrede değil)	65
Şekil 3. 47	640A değerinde elektriksel büyüklükler (Aktif filtre devrede değil).....	65
Şekil 3. 48	640A değerinde aktif, reaktif, görünür güç ve güç faktörü (Aktif filtre devrede değil)	66
Şekil 3. 49	640A değerinde ölçülen THD _i (Aktif filtre devrede değil).....	66
Şekil 3. 50	640A değerinde ölçülen THD _v (Aktif filtre devrede değil)	66
Şekil 3. 51	640A değerinde ölçülen elektriksel büyüklükler (Aktif filtre devrede değil)	67
Şekil 3. 52	640A değerinde ölçülen THD _v (Aktif filtre devrede değil)	67
Şekil 3. 53	640A değerinde ölçülen THD _i (Aktif filtre devrede değil).....	68
Şekil 3. 54	Yük akımı, aktif filtre akımı ve toplam akım (Aktif filtre devrede).....	69
Şekil 3. 55	Yük akımı, aktif filtre akımı ve toplam akım (28% artmış durumda iken) (Aktif filtre devrede)	71
Şekil 3. 56	Aktif filtre ön görünüş	73
Şekil 3. 57	Aktif filtre iç görünüş.....	74
Şekil 4. 1	Tek hat şeması.....	77

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Temel bileşen ve harmoniklerin genlik ve frekansları.....	7
Çizelge 3. 1 Reaktif güç ihtiyaç duyan cihaz örnekleri.....	21
Çizelge 3. 2 Reaktif güç ihtiyaç duyan cihaz güç faktörü değerleri.....	22
Çizelge 3. 3 Reaktif güç sınır değerleri.....	22
Çizelge 3. 4 Kondansatörün farklı gerilim ve frekansta davranışı.....	35
Çizelge 3. 5 Nominal güç değerleri.....	68
Çizelge 3. 6 Nominal gücün 28% artması durumunda değerleri.....	70
Çizelge 4. 1 Yükler.....	76
Çizelge 4. 2 Kompanze edilmemiş sistemin yük akış analiz sonuçları.....	78
Çizelge 4. 3 Kompanze edilmiş sistemin yük akış analiz sonuçları.....	78
Çizelge 4. 4 Kompanze edilmemiş sistemin AG pano malzeme dökümü ve maliyeti..	79
Çizelge 4. 5 Kompanze edilmiş sistemin AG pano malzeme dökümü ve maliyeti.....	81
Çizelge 4. 6 Kompanzasyon panosu malzeme dökümü ve maliyeti.....	83
Çizelge 5. 1 Maliyet analiz tablosu.....	84

HARMONİKLERİ FİLTRELEME YÖNTEMLERİ VE KOMPANZE EDİLMİŞ BİR SİSTEMİN YÜK AKIŞ ANALİZİ

Kadri EFE

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Erdin GÖKALP

Kalite, hayatın her alanında karşımıza çıkan ve hayat standartlarını belirleyen en önemli faktördür. Günümüzde enerji kaynaklarının sınırlı oluşu, mevcut sistemleri yürütmede karşılaşılan yüksek maliyetler, yenilenebilir enerji türlerinden yeterli seviyede yararlanılamaması, enerji sektöründe kaliteyi popüler hale getirmiştir. Her ne kadar enerji üretimindeki bazı problemlerin önüne geçilse de enerji, özellikle tüketici tarafına verimsiz ulaştığında sistemde birçok problemler meydana gelecektir.

Harmonik problemleri ve tüketicilerin reaktif güç ihtiyacı, kaliteli bir enerjiyi engelleyen en büyük faktörlerdir. Özellikle ciddi harmonik mertebelerinin olduğu sistemlerde yapılan yanlış kompanzasyon sistemleri, daha ciddi tehlikelere yol açmaktadır.

Bu çalışmada, enerji kalitesinin önemi ve gerekliliği tartışılmış, enerji kalitesi problemlerinden harmonikler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Daha sonraki bölümde, reaktif güç ihtiyacını karşılamak için yapılabilecek uygulama çeşitleri anlatılmış, ve bu uygulama çeşitleri örnekler ve detaylı analizlerle karşılaştırılmıştır. Bu uygulamalarda sıkça yapılan hatalara dikkat çekilmiştir.

Son olarak, kompanzasyon sistemi bulunmayan ve yeterli miktarda kompanzasyonu bulunan bir tek hat şeması üzerinde yük akış analizi yapılmış, analiz sonuçları elektriksel büyüklükler ve maliyet olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji kalitesi, harmonikler, reaktif güç, yük akışı, reaktörler, kompanzasyon sistemleri

**METHODS OF HARMONIC FILTERING
AND LOAD FLOW ANALYSIS OF A COMPANSATED SYSTEM**

Kadri EFE

Department of Electrical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assistant Prof. Dr. Erdin GÖKALP

Quality is the most important parameter in human life that clarifies the standards of living. Because of limited energy sources, high costs of processing of existing energy sources and insufficient using of renewable energy sources, the energy quality has been the most popular sector. Whereas some problems in production of energy solved, there will be lots of serious problems if the energy reaches consumers ineffectively.

Harmonic problems and necessity of reactive power are the toughest factors which do not allow using qualified energy. Especially, in the power systems which have the highest harmonic levels, incorrect compensation systems cause more serious problems than non-compensated systems.

In the first section of this study, types of applications for responding to reactive power are detailed. Furthermore, these applications are analyzed and compared according to results of analysis. Moreover, there is also drawn attention to incorrect applications of compensated systems.

At the end, load flow analysis is made for non-compensated and compensated system, respectively. Then, analysis' results are examined and compared as financial and electrical datas.

Key words: Energy quality, harmonics, reactive power, load flow, harmonic reactors, compensation systems

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde elektrik enerjisi hayatın vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelmiştir. Özellikle sanayileşme sürecini tamamlayan ve sanayileşme süreci devam eden ülkelerde elektrik enerjisinin yetersizliği ve kalitesi hususundaki problemler gün geçtikçe artmakta ve bu konuda çalışmalar da geliştirilmektedir.

En çok kullanılan enerji kaynaklarından biri olan elektrik enerjisi, üretilirken tüketilmesi gereken tek üründür. Bu sebeple elektrik enerjisi talep edildiği anda üretilmesi ve tüketim noktasına ulaştırılması gerekmektedir. Elektrik enerji maliyeti ise, ekonomi sektöründe doğrudan rol oynamaktadır. Bu gerçekten hareketle elektrik enerjisinin akılcı bir şekilde kullanımına yönelik atılımlar ekonominin tümü üzerinde de olumlu sonuçlar doğuracaktır[1].

Dünya genelinde nüfus artışı ve sanayileşmeye bağlı olarak elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Günümüzde, ülkelerde kişi başına tüketilen elektrik enerjisi miktarı, gelişmişlik düzeyinin en büyük ölçütlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu ölçütü destekleyen en önemli faktörlerden biri de elektrik enerjisinin kullanıldığı yerde bir atık madde bırakmamasıdır.

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde elektrik enerjisine büyük bir hızla artan talep yeni elektrik üretim merkezlerine ihtiyacın da artmasına neden olmaktadır. Fakat elektrik enerjisinin üretiminde kullanılacak kaynakların sınırlı oluşu ve yatırım maliyetlerinin yüksek

olması, elektrik enerjisini verimli kullanmak, üretim maliyetlerini düşürmek ve enerji tüketimini azaltarak çevreyi korumak açısından enerji kalitesi büyük önem kazanmıştır.

1.2.1 Enerji Kalitesi

Elektrik enerji sistemlerinde güç kalitesi, yüklerin bağlı bulunduğu akım ve gerilim parametrelerine ait frekans ve genlik değerlerinin şebeke limitleri içerisinde olması koşulu ile gerilim dalga şeklinin saf sinüs eğrisi şeklinde olmasıdır.

Enerji kalitesi üzerine yapılan çalışmalar, genellikle gerilimdeki dalgalanmalar, çökmeler, kesintiler gibi geçici durumları kapsayan olaylarla birlikte reaktif güç kompanzasyonu ve harmonik konularında yoğunlaşmaktadır.

Enerji sistemlerinde, verimi artırmanın, enerji iletiminde işletmenin kolaylaştırılması ve enerji tasarrufu sağlamanın en kolay ve etkin yollarından birisi reaktif güç kompanzasyonudur. Elektrik güç sisteminde reaktif güç kompanzasyonu vasıtası ile enerji verimliliği üzerine analizler yapmadan önce ideal şebekeyi tanımlamak daha doğru olacaktır.

İdeal bir trifaze şebeke, iç empedansı olmayan, birbirlerine 120^0 faz farkı ile genlikleri eşit 3 adet tam sinüzoidal alternatif gerilim şeklinde tanımlanabilir.

Şebekeye bağlanan cihazların büyük bir kısmı endüksiyon prensibine göre çalışmaktadır. Bu cihazlarda magnetik alanın meydana getirilmesi için bir mıknatıslanma akımı gereklidir. Bu mıknatıslanma akımı, şebekeden çekilen reaktif akım olarak tanımlanır. Başka bir deyişle aktif gücün yanında, reaktif güce de ihtiyaç vardır.

Şebekeden çekilen ve şebekeye tekrar aktarılan reaktif güç, şebekeyi gereksiz yere yükleyerek şebekenin güç faktörünün düşük değerde olmasına neden olacaktır. Reaktif güç kompanzasyonu yapıldığında, cihazlar için gerekli olan reaktif akım, kondansatörler tarafından karşılanacağı için şebekeden daha düşük bir reaktif akım çekilecektir. Böylece sistemde kullanılacak transformatör, besleme kabloları gibi elektrik malzeme ve cihazları hem daha az maliyetli hem de küçük boyutlu olacak, aynı zamanda enerji verimli bir şekilde kullanılmış olacaktır.

Elektrik Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından hazırlanan ve 01.01.2008 yılında y r rl ge giren yönetmelikle reaktif g  le ilgili sınırlandırılmalar getirilmiş, enerji kalitesini artıracak en kolay yöntemlerden biri olan reaktif güç kompanzasyonu gerekli şartları sağlayan işletmelerin kompanzasyon panoları yapmaları ve işletmeleri zorunlu hale getirilmiştir.

Elektrik enerjisinin kesintisiz olmasının yanında, harmonik içermeyen saf sinüs eğrisine sahip bir gerilim değeri güç kalitesini etkileyen en önemli faktördür.

1.2.2 Enerji Sisteminde Kalite Problemleri

Elektrik tesislerinin işletme araçları olan transformatörler, motorlar, kaynak makineleri, endüksiyon ve ark fırınları, flüoresan lambalar, deşarj lambaları, cıva ve sodyum buharlı lambalar çektikleri aktif güç yanında önemli miktarda reaktif güç çekerler. Çekilen reaktif güç kontrolsüz ve ba ıbo  bırakıldığında, güç katsayısı o kadar d  er ki bu da dağıtım tesislerimizi, aktif güç bakımından normal kapasitenin altında çalışmak zorunda bırakabilir. Bu suretle ekonomik olmayan bir işletme meydana geldiği gibi, enerji sıkıntısı da kendini gösterir[14].

Elektrik enerjisi ihtiyacının tüm dünyada giderek arttığı ve mevcut kaynakların ihtiyaçları gerektiği gibi karşılayamadığı günümüzde reaktif güç kompanzasyonu, teknik ve ekonomik bir zorunluluk haline gelmiştir. İdeal bir alternatif akım şebekesinde frekans sabit ve harmoniksiz, güç katsayısı bir veya bire yakın olmalıdır. Bu kaliteyi sağlamak için reaktif güç kompanzasyonu mutlaka yapılmalıdır.

Dağıtım sistemlerinde, yapılan kompanzasyonla g   faktörü düzeltilerek, aynı zamanda aktif güç üretim, iletim ve dağıtım kapasitelerinde bir artış, sistemdeki g   kayıplarında bir azalma, sistemdeki kararlılık sağlanmış olacaktır.

Enterkonnekte güç sistemlerinde en çok yaşanan problemler  u şekilde sıralanabilir:

- Elektrik enerjisi kesintileri
- Gerilim değerlerinin şebeke sınırlarının dışına çıkması
- Geçici rejim olaylarının sıklığı
- Fazlar arası gerilim dengesizlik problemleri

- Reaktif güç problemleri
- Kısa devre durumlarında koordinasyon problemleri
- Harmonikler

Bu çalışmada reaktif güç kompanzasyonu gerekliliği, kompanzasyon çeşitleri, karşılaştırmalı uygulama analizleri incelenecektir. Ayrıca, kompanzasyon uygulanmamış ve uygulanmış bir sistemde yük akış analizi yapılacaktır. Böylece elektriksel veriler kullanılarak kompanzasyonun yük akışına etkisi incelenecektir. Aynı zamanda sistemin maliyet analizi de çıkarılacaktır.

1.2.3 Elektrik Enerji Kalitesindeki Problemlerin Nedenleri

Güç sistemlerinde, kullanıcıya sağlanan gerilim ile frekans değerleri genellikle belirtilen sınırlar içerisinde olmaktadır. Fakat kullanıcının yüküne bağlı olarak genellikle şebekeden doğrusal bir yük çekilmemektedir. Bu yükler genellikle frekans konvertörlü motor sürücüleri, UPS grupları (özellikle trifaze giriş monofaze çıkışlı), doğrultucular, ark fırınları olmaktadır. Özellikle sanayileşmiş ülkelerde bu tarz yüklerin fazlalığından dolayı ciddi harmonik problemleri olmaktadır.

1.3 Enerji Kalitesinin Gerekliliği

Hayatın her alanında kalite, bir yaşam tarzı haline gelmiştir. Fakat, elektrik güç sistemlerinde enerji kalitesi, hem kullanıcıya hem de enerji sağlayıcısına farklı konularda ciddi kolaylıklar ve faydalar sağlamaktadır.

Enerjinin kaliteli olması enerji sağlayıcısına, üretilen enerjinin kesintisiz olarak sağlanması, oluşabilecek hataların kısa sürede saptanabilmesi ve giderilmesi, kurulum maliyetinin ve hat kayıplarının en aza indirilme seçeneklerini sunmaktadır. Böylelikle, üretimden tüketim noktasına kadar kullanılacak tüm malzemelerin arıza durumları da en aza indirilmiş olacak ve işletme giderleri de önemli bir ölçüde azaltılacaktır. Öte yandan hat yüklenmeleri de azalacağı için oluşabilecek yeni yüklere yer açılmış olacaktır. Böylelikle tesislerin daha küçük güçlere göre kurulması veya mevcut sistemlerde çok daha yüksek güçler almak mümkün olacaktır.

Kullanıcıya hem kurulum maliyeti, hem işletme maliyeti, hem güvenilirlik, hem de kullandığı cihazların verimi konusunda ciddi faydalar sağlamaktadır. Kalitesiz enerji nedeni ile makine ve fırınlarda oluşacak arızalar çok ciddi üretim kayıplarına ve maliyetlere yol açabilir.

Son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan elektronik devreler tarafından kontrol edilen cihazlar enerji kalitesine karşı son derece duyarlıdır. Bu kontrol devrelerinden bazıları, alternatif akım ve doğru akım motor sürücüleri ve anahtarlama modda çalışan güç kaynakları gibi enerji dönüştürmede kullanılan devreler ile yardımcı kontrol devreleri olarak kullanılan bilgisayarlar ile programlanabilir lojik kontrolörlerdir (PLC). Böyle karmaşık devreler şebekedeki bozucu etkilerden önemli ölçüde etkilenmektedirler. Bu etkilenme sonucu elektronik devreler ile kontrol edilen cihazlar veya endüstriyel tesisler hatalı çalışabilir ve hatta devre dışı kalabilir. Bu nedenle hızlı bir şekilde gelişen sanayi tesisleri ile elektrikli cihazların düzenli olarak çalışabilmesi için gerek tüketiciler gerekse şebeke açısından enerji kalitesi konusunda bazı sınırlandırmaların yapılması gerekmektedir [3].

Örneğin cam işleme fabrikasındaki bir güç elektroniği cihazları ile kontrol edilen fırının harmonik nedeni ile arızalanması durumunda fırın anlık olarak çalışamaz hale gelecektir. Fakat bu özel tip makineler için kısa süreli arızalar makineyi tamamen arızaya sürükleyecektir. Cam işleme fırınlarında madenin fırın içinde bir anlık donması fırının tamamen bozulmasına neden olur. Kurulum maliyetli çok yüksek olan bu fırınların tamamen hurdaya çıkması bir işletme için en kötü sonuçlardan birisidir. Çünkü eski fırının demontajının yapılması ile yeni bir fırının kurulum süresinin de yaklaşık 10-12 ay olduğu düşünülürse bu işletme neredeyse 1,5-2 yıl süre ile çalışamaz duruma gelecektir.

BÖLÜM 2

HARMONİKLER

2.1 Giriş

Elektrik santrallerinde alternatörler tarafından üretilen gerilim tam sinüs eğrisine yakın olmasına karşılık, doğrusal olmayan karakteristik gösteren yüklerin artması ile birlikte, şebekeden çekilen akım dalga şekillerinde bozulmalar meydana gelmektedir. Şebekeden çekilen düzensiz akım şebeke empedansından dolayı şebeke üzerinde gerilim düşümüne, dolayısıyla akım ve gerilim dalga şekillerinde de bozulmalara neden olmaktadır. Akım ve gerilim dalga şekillerini bozan bu etkenlere harmonik denir [4].

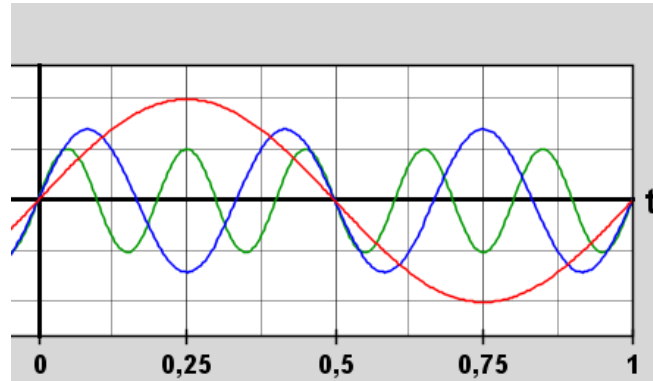
Güç sistemlerindeki harmoniklerin büyüklüğü 1920'li yılların başlarında yalnızca transformatörler, motorlar ve doğrultucular ile sınırlı olmasına karşın, gelişen teknolojiye paralel olarak, endüstride kullanılan güç elektroniği elemanlarının artmasıyla harmoniklerin büyüklüğünde de bir artış gözlemlenmiştir. Modern ve hassas yüklerin üretim süreçlerinde kullanılmasıyla, harmonikler daha ciddi bir problem ve bu alanda çalışmaların yoğunlaştığı önemli bir konu başlığı haline gelmiştir [4].

Harmonik kavramının temelinde Fourier Teoremi yatar. Fourier Teoremi yardımı ile herhangi bir periyodik dalga şeklini temel bileşen frekansındaki bileşen ve temel bileşenin katlarındaki frekanslardaki bileşenlerin toplamı olarak göstermek olasıdır.

Dağıtım şebekesindeki gerilimin frekansı 50 Hz'dir. Bu durumda elektrik şebekesinde karşılaşılabileceğimiz herhangi bir dalga şeklini 50 Hz frekansındaki bir temel bileşen ve 50 Hz'in katları frekanslardaki çeşitli bileşenlerin toplamıdır. Burada dikkat edilecek

husus, şebekedeki çift simetri özelliğinden dolayı çift sayılı harmonik bileşenler (2, 4, 6 gibi) sistemde bulunmaz.

Harmonikler yük karakteristiklerinin yanında, tam sinüzoidal olmayan kaynaktan beslenen durumlarda da ortaya çıkabilir. Özellikle senkronizasyon problemleri yaşanan generatör gruplarında bu hata durumu gözlenebilir.

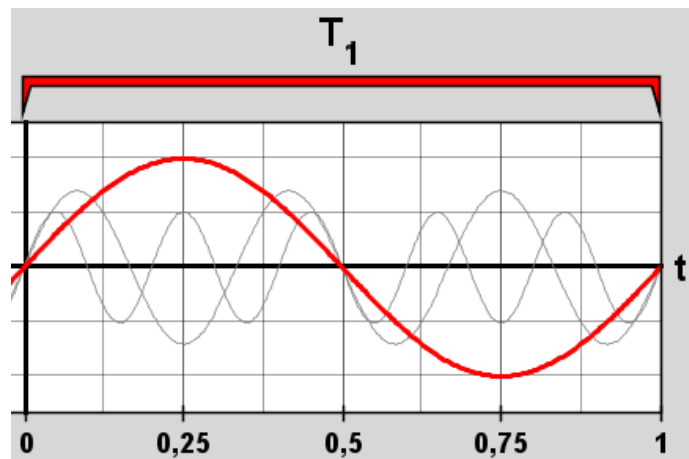


Şekil 2. 1 Temel bileşen ve harmonikler

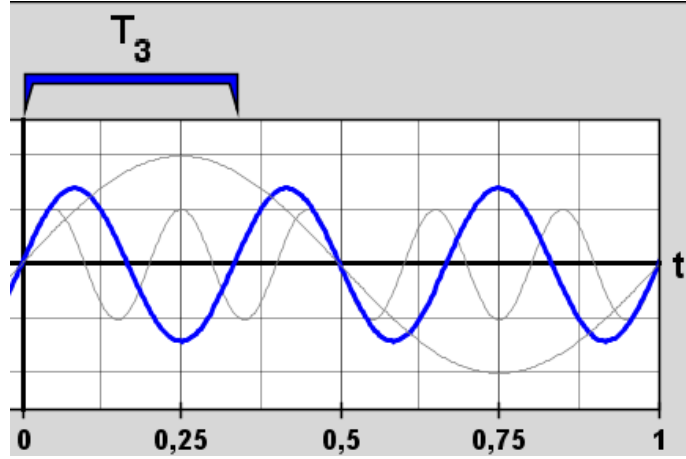
Şekil 2.1 temel bileşen sinüs eğrisi ile temel bileşene göre üçüncü ve beşinci harmonik eğrilerini göstermektedir.

Çizelge 2. 1 Temel bileşen ve harmoniklerin genlik ve frekansları

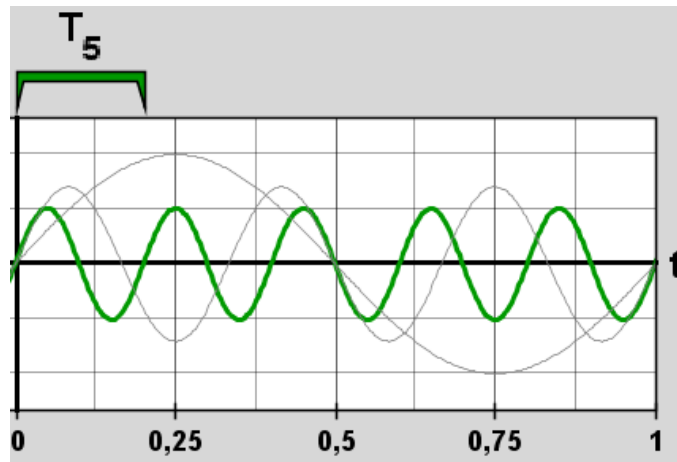
Bileşen	Genlik	Frekans
Temel bileşen	1	50 Hz
3	0,7	150 Hz
5	0,5	250 Hz



Şekil 2. 2 Temel bileşen

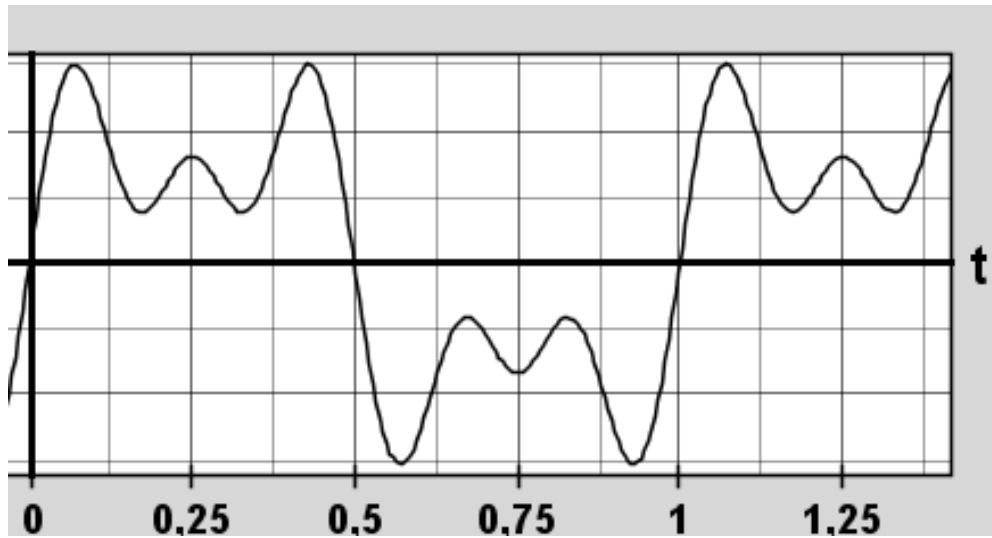


Şekil 2. 3 Üçüncü harmonik



Şekil 2. 4 Beşinci harmonik

Temel bileşene ilave olarak belirtilen genliklerde üçüncü ve beşinci harmoniklerin olması durumunda toplam sinyal Şekil 2.5 'teki gibi olmaktadır.



Şekil 2. 5 Toplam harmonikli eğri

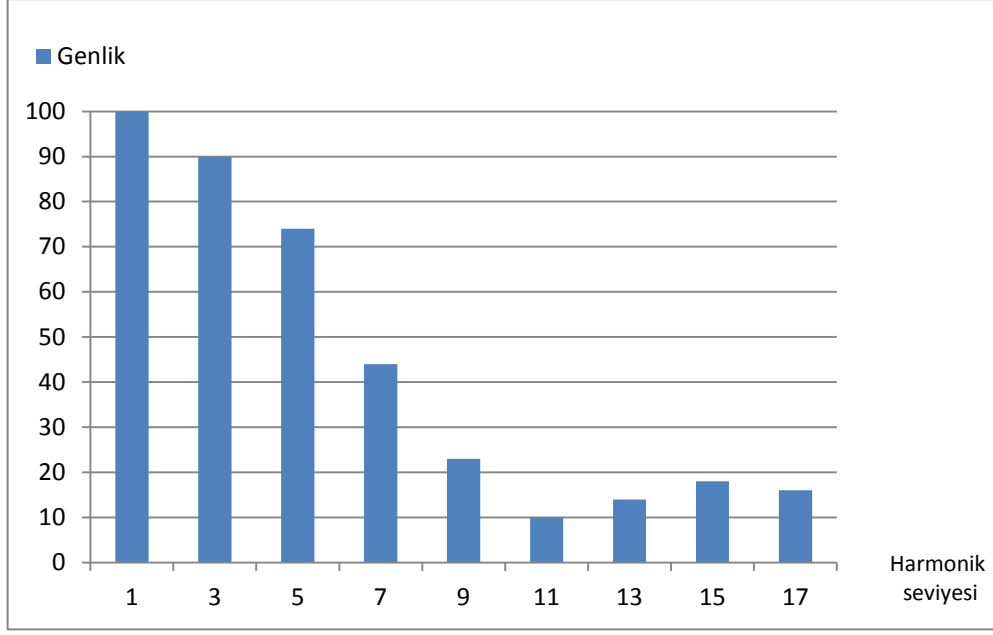
2.2 Harmonik Kaynakları

Gelişen teknoloji ile birlikte, işletmelerdeki IGBT ve tristör gibi elemanlar sahip oldukları yüksek frekansta yüksek akımları tetikleyebilme karakteristiklerinden dolayı şebeke frekansının katları olacak şekilde harmonikler oluşturur. Şebekeden DC yükleri beslemek için kullanılan cihazlarda harmoniklere sebep olmaktadır. Harmonik üreten kaynaklar şu şekilde sıralanabilir:

- Statik AC/DC dönüştürücüler
- Doğrultucular
- Çeviriciler
- Ark ocakları
- Elektroliz üniteleri
- DC motorlar
- Frekans konvertörleri
- Soft starterlar
- Kesintisiz güç kaynakları

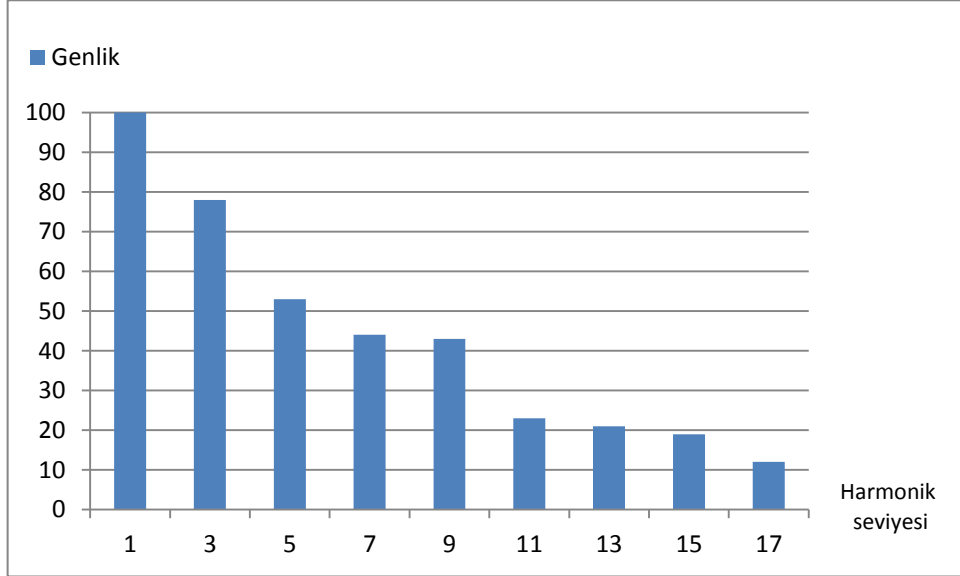
Çalışma karakteristiğinden dolayı harmonik üreten bu cihazların yanında, kondansatörler kendisi bir harmonik kaynağı olmamasına rağmen harmonikli bir sisteme bağlandığında harmonikleri destekleyen özellik göstermektedir.

Tek fazlı güç kaynakları, günümüzde en çok kullanılan harmonik kaynağıdır. Yeni tip güç kaynakları doğrudan şebeke gerilimi üzerinden doğrultma işlemini gerçekleştirmektedirler. Eski tip kaynaklarda önce transformatör ile indirilen gerilim sonra diyot köprüsü ile doğrultulurdu. Yeni tip güç kaynakları tasarımı özellikle üreticiye maliyet ve cihaz büyüklüğü ile ağırlığı konusunda önemli avantajlar sağlamaktadır. Fakat özellikle 3. harmonik ve daha yüksek harmonik akımlarına neden olmaktadır. Bu durum tek faz UPS lerde, özellikle de trifaze giriş monofaze çıkış UPS lerde ciddi harmonik kirliliğine yol açmaktadır. Şekil 2.6'da bir bilgisayar güç kaynağının harmonik spektrumu verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere 3. ve 5. harmonikler temel bileşenin %50 sinden fazladır.



Şekil 2. 6 PC güç kaynağı harmonik spekturumu

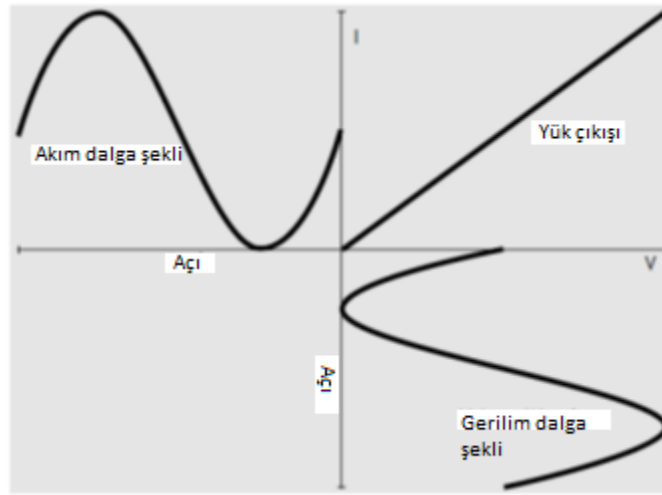
Benzer şekilde kompakt florasen lambaların da kullanıcıya ve üreticiye olan avantajları olmasına rağmen harmonik kirliliğine yol açtıkları bir gerçektir (Şekil 2.7).



Şekil 2. 7 Kompakt florasen harmonik spekturumu

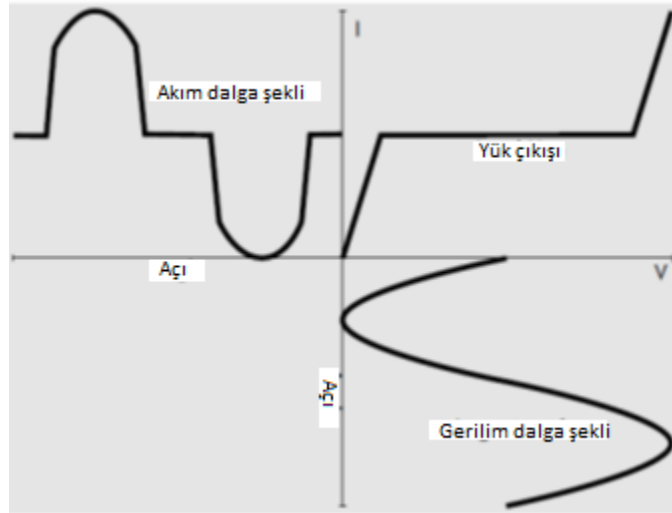
2.3 Harmonikler Nasıl Oluşur

Enerji kalitesi üst düzeyde olan bir elektrik şebekesinde, akım ve gerilim sinyalleri saf sinüs eğrisidir. Devrede lineer elemanlar olması durumunda (direnç, endüktans, kapasite) gerilimle beraber akım değerinin de artması beklenir (Şekil 2.8). Burada dikkat edilmesi gereken endüktans ve kapasite olmasına rağmen devre lineer bir devredir ve harmonik bulunmamaktadır. Fakat güç faktörü, endüktans ve kondansatör değerlerine bağlı olarak 1 değerinden farklı olabilir.



Şekil 2. 8 Lineer eleman akım ve gerilim dalga şekli

Fakat hat üzerinde non lineer elemanların olması halinde akım ve gerilim değişimleri şekil 2.9 daki gibi olmaktadır. Bu eğri kondansatör regüleli bir tam dalga doğrultucuya aittir.

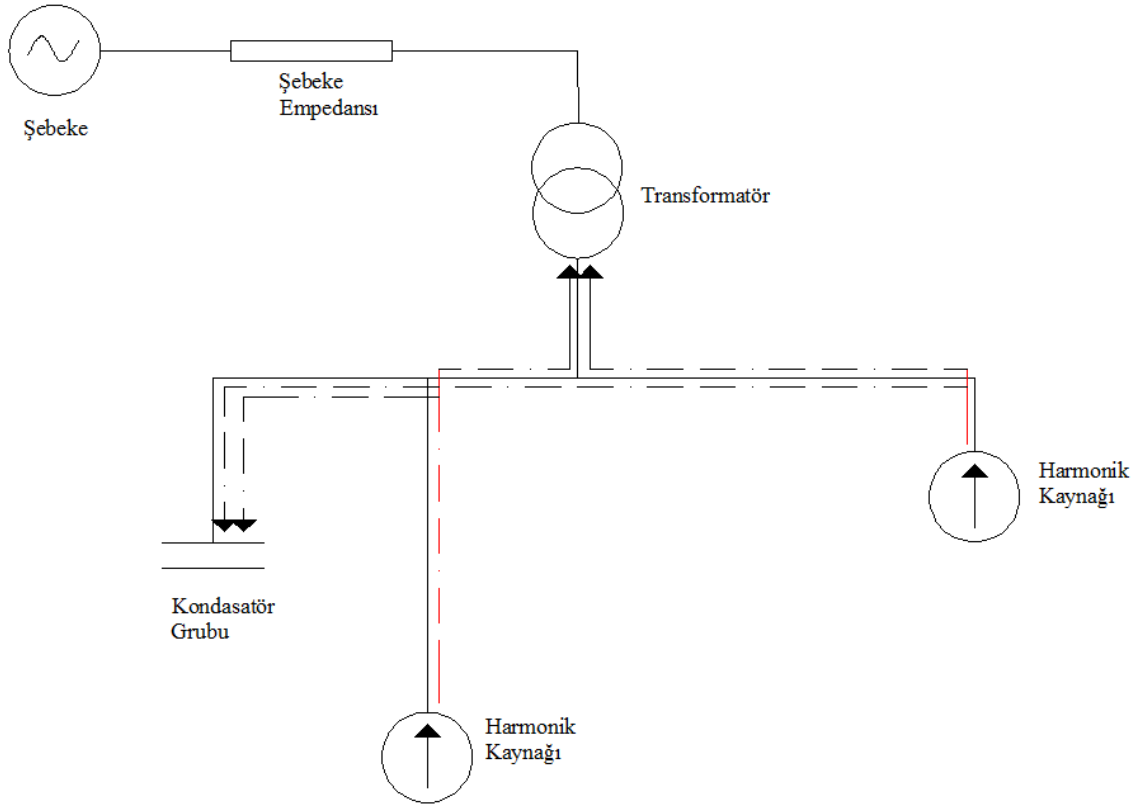


Şekil 2. 9 Non-Lineer eleman akım ve gerilim dalga şekli

Şekilden de anlaşılacağı üzere akım sadece şebeke geriliminin kondansatör geriliminden yüksek olduğu zamanlarda çekilmektedir. Akımın bu eğrisi için farklı genlik ve frekanslarda sinüzoidal akımlar gereklidir. Bu akımlar harmonik akımlardır.

2.4 Harmoniklerin Akım Yönü

Şebeke üretece bağlı bir endüktans olarak düşünülürse, kondansatör bir paralel rezonans devresi oluşturacaktır. Kondansatörlerin devreye alınması ile beraber bir sirkülasyon akımı ve rezonans frekansı meydana gelir. Harmonik akımlarının bir kısmı şebekeye doğru, diğer büyük kısmı ise empedanslarının küçük olmasından dolayı kondansatörlere doğru yönelirler (Şekil 2.10).



Şekil 2. 10 Harmoniklerin akım yönleri

Frekansın yükselmesine bağlı olarak kondansatör empedansının (X_c) düşmesi beklenir.

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \quad (2.1)$$

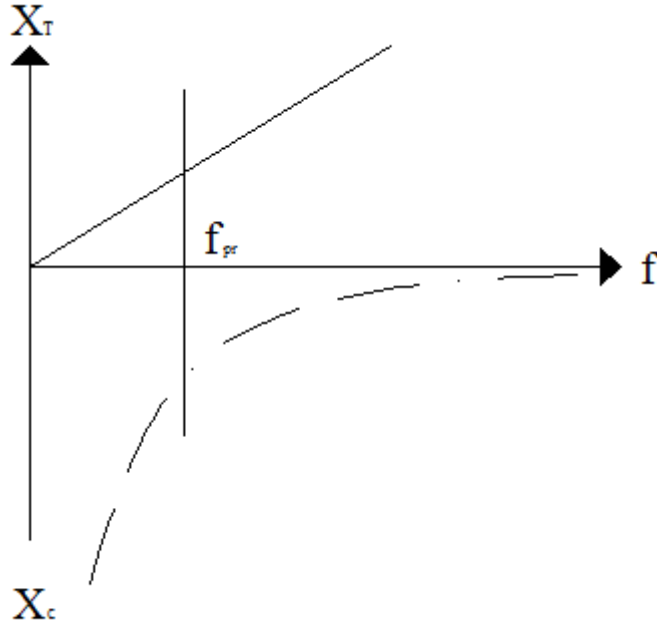
Bu durum, yüksek frekansta olan harmonik akımları, kendilerine göre empedansı çok düşük olan kondansatörler üzerine akar.

Transformatör empedansı (X_{LT}) ise frekansın artması ile artacaktır.

$$X_{LT} = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (2.2)$$

Herhangi bir f_{pr} frekansında kondansatör reaktansı ile transformatör reaktansı birbirine eşit olabilmekte ve bu frekansta kondansatör grupları ile transformatör arasında paralel rezonans oluşmaktadır. Paralel rezonans sebebi ile harmonik akımları salınım yaparak artacaktır.

Burada önemli olan transformatör kısa devre gücü S_{sc} nin ne kadar büyük olduğudur. Bu değer ne kadar büyükse, rezonans frekansı tehlikeli sonuçlara neden olacak frekans değerinden uzaklaşır.



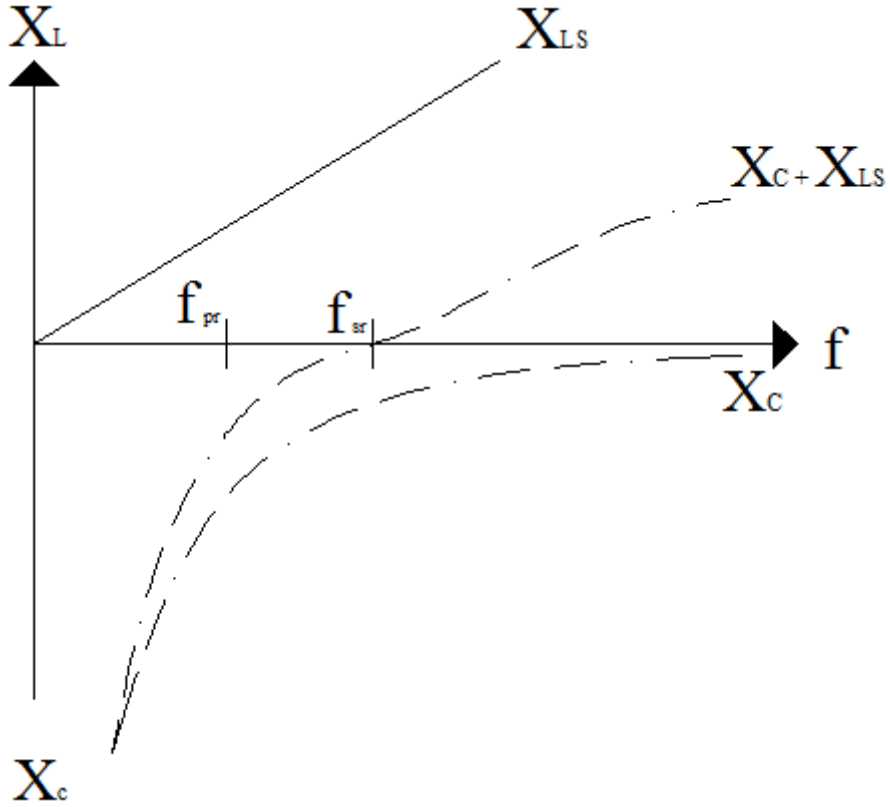
Şekil 2. 11 Paralel rezonans frekansı

$$f_{pr} = f_{kaynak} \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q_c}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C \cdot (L_{trf} + L)}} \quad (2.3)$$

$$f_{sr} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C \cdot L}} \quad (2.4)$$

Yüksek seviyede harmonik etkileşim oluşan sistemlerde yapılacak kompanzasyon uygulamalarında kondansatörlere seri olarak harmonik filtre reaktörlerinin kullanılması etkin bir çözümdür. Bu şekilde yapılan uygulamalarda şu özellikler gerçekçi bir şekilde sağlanmaktadır.

- Harmonik akımlarına karşı kondansatörlerin empedansını artırmak
- Kondansatör ile şebeke empedansından kaynaklanan rezonans frekansını kaydırarak, rezonans frekansını ana harmonik akımların oluşturduğu frekansların altında tutmak.



Şekil 2. 12 Kompanze edilen sistemin frekans aralığı

Seri rezonans frekansının altındaki frekans noktalarında reaktör ve kondansatör devresi kapasite etkisi göstererek gerekli olacak kompanzasyonu sağlar. Seri rezonans frekansının üstündeki frekans noktalarında reaktör ve kondansatör seri devresi endüktans etkisi gösterecektir, bu durumda da yine paralel rezonans riski ortadan kaldırılacaktır.

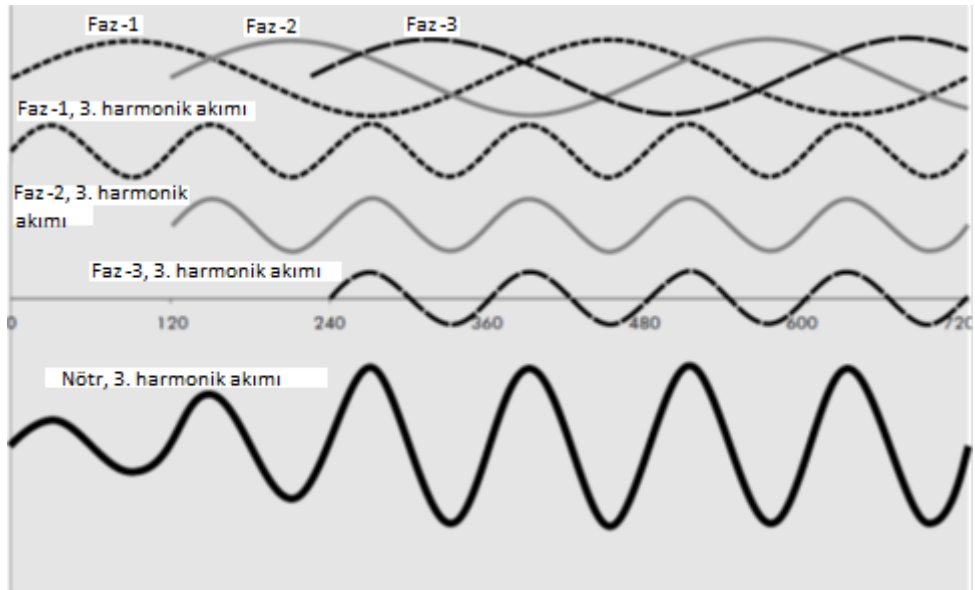
2.5 Harmoniklerin Zararları

Harmonikler yukarıda açıklandığı üzere oluştuğu durumlarda yine yukarıda açıklanan prensiple şebekeye dağılırlar. Şebeke ve şebeke üzerindeki yüklerde oluşabilecek zararları şu şekilde sıralanabilir:

- Makinelerde ve şalterlerde titreşimler ve titreşimler bağlı olarak sesli çalışma
- Titreşimler sonucu cihazlarda mekanik dayanımın azalması

- Transformatörlerde, kablolarda ısınma ve ısınma dolayısı ile izolasyonlarında bozulmalar
- Kablolarda skin effect problemleri
- Elektronik kart arızaları
- Ek enerji kayıpları
- Kesicilerde yanlış açmalar
- Ölçüm cihazlarında yanlış ölçümler
- Bilgi işlem merkezlerinde hafıza silinmeleri
- Güç kondansatörleri üzerinde delinmeler ve ek kayıplar
- Röle sinyalizasyonunda hatalar
- Nötr iletkeni üzerinde ek yüklenmeler

Günümüzde özellikle nötr iletkeni üzerinde ciddi akım geçişleri olmaktadır. Bilindiği üzere dengeli yıldız bağlı sistemde nötr hattından akım akmaz. Dengesiz yük durumunda ise fazlar arasındaki vektörel fark olan nötr akımı mevcuttur. Sistem de genelde dengeli yüklemeye çalışıldığından dolayı nötr iletken kesiti faz iletkeninin yarısı olarak seçilirdi. Fakat günümüzde harmonik akım geçişlerinden dolayı faz iletkenine eşit seçilmelidir (Şekil 2.13)



Şekil 2. 13 Üçüncü harmoniğin nötr akımına etkisi

2.6 Harmonikler ile İlgili Kısa Formüller ve Standartlar

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2} \quad (2.5)$$

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} \quad (2.6)$$

$$\text{THD}_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \quad (2.7)$$

$$\text{THD}_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \quad (2.8)$$

Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD), sinüzoidal formdan uzaklaşmayı ifade eder.

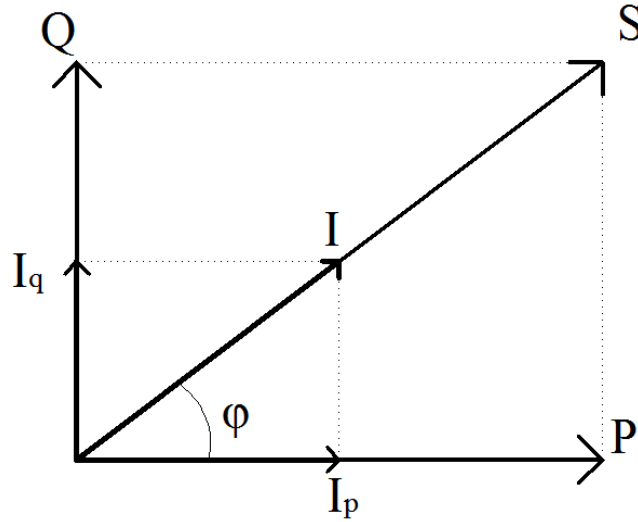
Avrupa ülkelerinde geçerli olan IEC 61000-2 ve IEC 61000-3 standartları harmonik içeren şebekelerde üretici ve tüketicileri kısıtlar. Bu kısıtlama periyodik olarak daha da sınırlandırılmaktadır. Yine elektromanyetik uyumluluk çerçevesinde IEC 1000 başlığı altında harmoniklere değinilmiştir.

IEEE, 519-1992 standardı, harmonikler konusunda en belirleyici kaynak olarak karşımıza çıkmakta ve endüstriyel uygulamalarda kabul görmektedir. Bu standart THD değerinin maksimum 5% olması gerektiğini ve en büyük harmonik bileşenin ana bileşen değerinin 3% ünden daha düşük olacağını ifade etmektedir [19].

REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

3.1 Giriş

Elektrik şebekesine bağlanan neredeyse tüm cihazlar, şebekeden aktif akımın yanında reaktif akımda çekerler. Aktif güç, tüketicinin faydalı işe dönüştürebildiği güçtür. Reaktif güç ise faydalı işe dönüştürülemez. Manyetik alan prensibi ile çalışan cihazlar, manyetik alan oluşturabilmeleri için reaktif güce ihtiyaç duyarlar. Yani manyetik alanın oluşturulabilmesi için gerekli mıknatıslanma akımı, reaktif akımdır.



Şekil 3. 1 Aktif, reaktif ve görünür güç fazör diyagramları

Şebekeden çekilen görünür güç

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (3.1)$$

olarak ifade edilir. Fazör diyagramında olduğu gibi endüktif bir yükün şebekeden çektiği akım 2 bileşenden oluşur. Reaktif akım ile aktif akım birbirine dik, aktif akım ise hat akımından “ φ ” açısı kadar geridedir.

Aktif akım ve aktif güç formülleri:

$$I_p = I \cdot \cos\varphi \quad (3.2)$$

$$P = S \cdot \cos\varphi \quad (3.3)$$

Reaktif akım ve reaktif güç formülleri:

$$I_q = I \cdot \sin\varphi \quad (3.4)$$

$$Q = I \cdot \cos\varphi \quad (3.5)$$

Hat akımı ve görünür güç:

$$I = \sqrt{I_p^2 + I_q^2} \quad (3.6)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.7)$$

Kompanzasyon yapılarak çekilen reaktif gücün kurulan kompanzasyon sisteminden sağlanması ile şebekeden çekilen “S” görünür gücü ile “P” aktif gücü arasındaki φ açısı farkı azalmaktadır. Böylece güç katsayısı $\cos\varphi$ değeri 1’e yaklaşmaktadır.

3.2 Harmonik Kaynaklı Reaktif Güç Bedeli

Enerji dağıtım sistemlerinde temel şebeke frekansındaki akım ile gerilim arasındaki faz farkını işaret eden büyüklüğü “ $\cos \varphi$ ” denir ve bu değer bir endüstriyel hattın enerji aldığı üreticiye ödeyeceği reaktif güç bedelini belirler.

Döner telli konvansiyonel elektrik sayaçları ile faturalandırma yapan sistemlerde durum yukarıda bahsedildiği gibidir. Ancak son yıllarda kanunla da zorunlu olan dijital sayaçlara geçilmesi ile bu durum farklılık göstermiştir. Zira dijital sayaçlarda güç faktörü ile bilinen yukarıdaki değer hesaplanması için sadece temel şebeke frekansındaki

akım ve gerilim arasındaki açıya bakılmaz, harmonik denilen diğer frekanslardaki akım ve gerilimin etkisi de göz önüne alınır.

Kısaca güç faktörü, $\cos \varphi$ değerinden farklı olarak, harmonikler dâhil olan akım ile harmonikler dâhil olan gerilim arasındaki faz farkıdır. Bu iki değer arasında harmonikli ortamlarda gerçek güç faktörü şu şekilde hesaplanır.

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_2^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (3.8)$$

$$\mu = \frac{1}{1+[THD_I]^2} \quad (3.9)$$

$$PF = \mu \cdot \cos \varphi \quad (3.10)$$

3.3 Rezonans Gücü Hesabı

Kompanzasyon tesis edilirken pek dikkate alınmayan konulardan biri olan rezonans gücü, en çok arıza sebeplerini oluşturan konulardan birisidir.

Yeni bir tesis projelendirilirken, sistemdeki harmonik akımları mutlaka incelenmeli, buna ilişkin rezonans gücü her bir yüksek harmonik için ayrıca hesaplanmalıdır. Burada önemli olan, planlanan kompanzasyon gücünün, sistemin paralel rezonans gücünden düşük olmasıdır. Q_{res} , sistemin rezonans gücünü göstermek üzere; S , sistemin görünür gücü; n , harmonik mertebesi; $u_k\%$, transformatör kısa devre empedansı; $\sin \varphi_k$, transformatörün bağıl kısa devre güç açısının sinüsü olarak rezonans gücü 3.11’de ifade edilmiştir.

$$Q_{res} = \frac{S}{n^2 \cdot u_k\% \cdot \sin \varphi_k} \quad (3.11)$$

Rezonans tehlikesi, kompanzasyon gücünün rezonans gücünün üzerinde olması durumunda söz konusudur. Bir işletme için hesap yapılırken, işletmede yükler sebebi ile oluşabilecek her bir harmonik mertebesi için ayrı hesaplar yapılması gereklidir.

Herhangi bir harmonik mertebesinde oluşabilecek rezonans tehlikesinin önlenmesi için kompanzasyon gücünün mutlaka hesaplanan rezonans gücünden küçük olması gerekmektedir.

3.4 Reaktif Güç Çekilmesine Neden Olan Kaynaklar

Elektrik tesislerinde kullanılan ve magnetik veya statik alan ile çalışan bütün elektrikli araçlar şebekeden aktif akım çekerken, reaktif güce neden oldukları için reaktif güç akımı da çekerler ve bu reaktif gücü $1/4$ periyotta magnetik alanında depo edip $1/4$ periyot sonunda tekrar şebekeye iade ederler[6,15].

Çizelge 3. 1 Reaktif güç ihtiyaç duyan cihaz örnekleri

Cihaz	Reaktif Güç	
	Endüktif	Kapazitif
Düşük uyarmalı senkron makineler		✓
Aşırı uyarmalı senkron makineler	✓	
Transformatörler	✓	
Bobinler	✓	
Endüksiyon fırınları	✓	
Kaynak makineleri	✓	
Fluoresan lambalar	✓	
Kondansatörler		✓
Reaktörler	✓	
Sodyum ve cıva buharlı lamba balastları	✓	
Boşta çalışan havai hatlar		✓

Çizelge 3. 2 Reaktif güç ihtiyaç duyan cihaz güç faktörü değerleri

Cihaz			Cos φ
Asenkron Motorlar	Yüklenme Oranı	%0	0,17
		%25	0,55
		%50	0,73
		%100	0,85
Akkor Telli Lambalar			1,0
Deşarj Lambaları			0,4 – 0,6
Rezistanslı Fırınlar			1,0
Endüksiyonla Isıtmalı Fırınlar			0,85
Mikrodalga Fırınlar			0,85
Tek Fazlı Ark Kaynağı			0,5

3.5 Reaktif Güç Tarifesi

EPDK yönetmeliğine göre, reaktif enerji miktarını ölçmek üzere gerekli ölçme düzeneği, ilgili mevzuata göre reaktif enerji tarifi uygulanmayacak aboneler dışında kalan (9 kW üzeri) müşteriler tarafından tesis edilir. Bu müşterilerden, kurulu gücü 50 kVA'nın altında kalanlar, çektikleri aktif enerji miktarının %33'ünü aşan şekilde endüktif reaktif enerji tüketmeleri veya aktif enerji miktarının %20'sini aşan şekilde kapasitif reaktif enerji tüketmeleri halinde; kurulu gücü 50 kVA ve üstünde olanlar ise, çektikleri aktif enerji miktarının %20'sini aşan şekilde endüktif reaktif enerji tüketmeleri veya aktif enerji miktarının %15'ini aşan şekilde sisteme kapasitif reaktif enerji vermeleri halinde, reaktif enerji tüketim bedeli ödemekle yükümlüdür[7].

Çizelge 3. 3 Reaktif güç sınır değerleri

BAĞLANTI GÜCÜ		50 kVA Altında Olanlar	50 kVA Üstünde Olanlar
Endüktif Reaktif	%	33	20
Kapasitif Reaktif	%	20	15

3.6 Düşük Güç Katsayısının Sakıncaları

Düşük güç katsayılı olarak çalışan alternatör ve transformatörlerin, güçleri ve verimleri düşer. 22kVA'lık ve 220V'luk bir fazlı alternatörü ele alalım. Alternatörün nominal akımı;

$$I = \frac{22\,000}{220} = 100A$$

Değişik güç katsayılı yükler bağlayarak alternatörden çekilen aktif güçleri hesaplayalım. Güç katsayısı 1 olan omik bir yük bağlandığında alternatör en büyük aktif gücünü verecektir[6].

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 220 \cdot 100 \cdot 1 = 22\text{ kW}$$

Güç katsayısı 0,80 olan bir motor bağlandığında alternatörden çekilen aktif güç şu değeri alacaktır.

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 220 \cdot 100 \cdot 0,8 = 17,6\text{ kW}$$

Görüldüğü üzere, düşük güç katsayılı bir yük bağlandığı zaman, alternatör normal akımını (100 A) verdiği halde, normal gücünü verememektedir. Dolayısıyla, düşük güçte çalıştığı için verimi de düşecektir[6].

Güç katsayısının düşmesi oranında, şebekeyi besleyen alternatör ve transformatörlerin görünür güçlerinin büyümesi gerekir. Örneğin, bir fabrikadaki motorların toplam gücü 160 kW ve güç katsayısı 0,8 olsun. Bu motorları besleyecek olan transformatörün görünür gücü,

$$S_1 = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{160}{0,8} = 200\text{ kVA}$$

olacaktır.

Güç katsayısı 0,6'ya düşerse, aynı 160 kW'ı besleyecek olan transformatörün görünür gücü,

$$S_2 = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{160}{0,6} = 266,6 \text{ kVA}$$

olacaktır.

Yani, güç katsayısı düştükçe, aynı aktif gücü sağlamak için, görünür gücü daha büyük olan bir transformatör ile beslemek gerekecektir.

Düşük güç katsayısında, besleme hatlarındaki güç kayıpları ve gerilim düşümleri de artacaktır.

Örneğin, gücü 10 kW ve gerilimi 220 V olan bir fazlı alternatöre güç katsayısı 0,90 olan bir yük bağlanırsa çekilen akım,

$$I_1 = \frac{P}{V \cdot \cos\varphi} = \frac{10\,000}{220 \cdot 0,9} = 50,5 \text{ A}$$

olur.

Aynı alternatöre güç katsayısı 0,6 olan 10 kW'lık yük bağlandığında çekilen akım,

$$I_2 = \frac{P}{V \cdot \cos\varphi} = \frac{10\,000}{220 \cdot 0,6} = 75,75 \text{ A}$$

olacaktır.

Verdiğimiz örnekte, değişen güç katsayısı için aynı kesitli kabloda meydana gelecek kaybın artış oranı

$$\%Artış = \frac{RI_2^2}{RI_1^2} \times 100 = \frac{5738,1}{2550,25} = 225\%$$

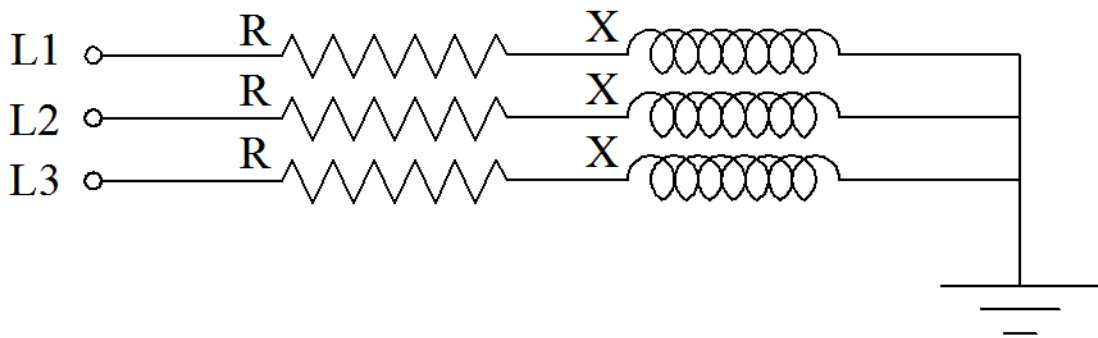
olur.

Görülüyor ki, her iki durumda da gerilim ve harcanan güç (çekilen güç) aynı olduğu halde, güç katsayısının küçülmesi nedeniyle çekilen akım artmaktadır. Dolayısıyla, yükü besleyen hattaki $R \cdot I^2$ ısı kaybı daha büyük olacak ve hattaki gerilim düşümü de artacaktır. Besleme hatlarında düşen gerilimi ve güç kaybını azaltmak için daha büyük kesitli iletken kullanmak gerekecektir. Bu durum maliyeti kademeli olarak artıracaktır[6].

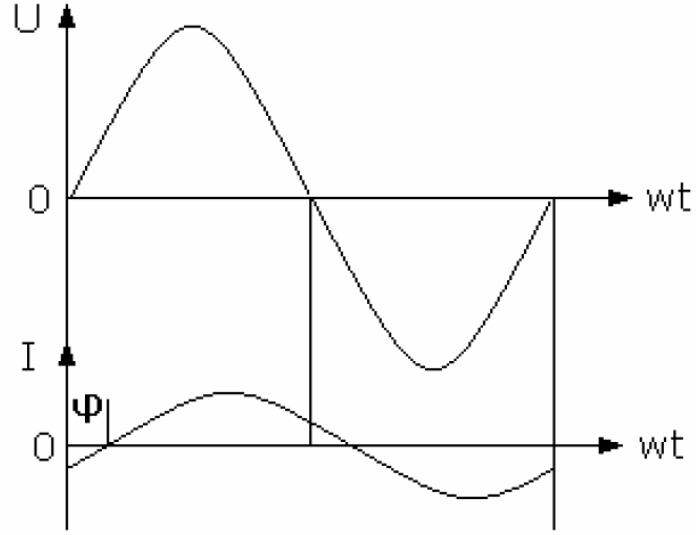
3.7 Reaktif Güç Kompanzasyonunun Amacı

Elektrik santrallerinde, aktif gücün üretilmesi zorunluluğu var iken, reaktif güç için böyle bir zorunluluk yoktur. Yükün yanında kurulacak yardımcı sistemler ile reaktif gücün üretimi tüketici tarafından yapılabilir. Bu reaktif gücün üretiminin tüketici tarafından ihtiyaç duyulan noktaya en yakın noktadan yapılması elektrik güç sisteminin kararlı ve en iyi koşullarda çalışmasına olumlu etki yapacaktır. Tüketicinin şebekeden çektiği ve şebekeye tekrar aktardığı endüktif reaktif gücü şebeke yerine, kapasitif reaktif güç almak koşulu ile özel bir reaktif güç üretim panosundan sağlanmasına Reaktif Güç Kompanzasyonu denir. Böylece sistemin belirli noktalarındaki $\cos\phi$ değeri 1'e yaklaştırılacaktır. Aynı zamanda reaktif güç için ceza ödenmesi de engellenmiş olacaktır.

Örneğin, aşağıda çizimi verilen devrenin kompanzasyon öncesi gerilim ve akım grafiklerini inceleyelim.

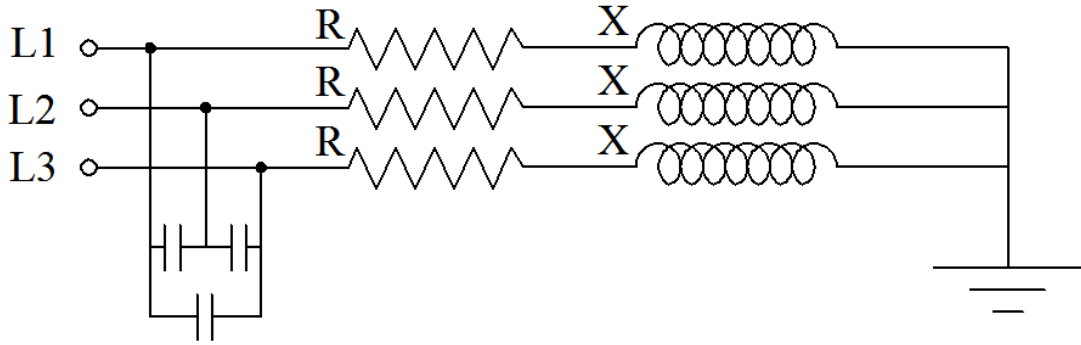


Şekil 3. 2 Trifaze endüktif yük

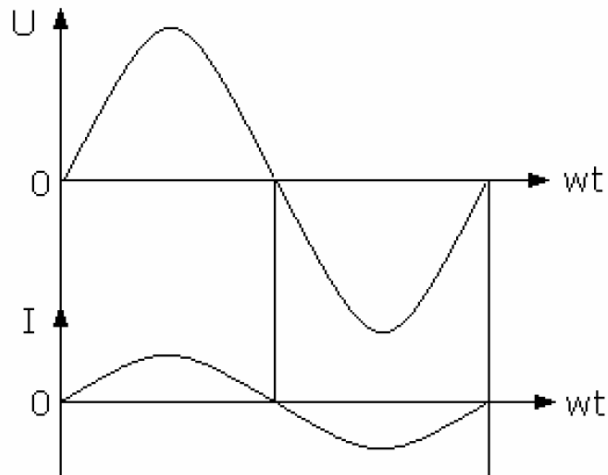


Şekil 3. 3 Şebeke gerilimi ve endüktif yük akımı

Devreye, reaktif güç kompanzasyonu amacıyla kondansatör grupları bağlayıp yeni bir devre oluşturarak akım ve gerilim grafiklerini incelersek



Şekil 3. 4 Kompanze edilmiş trifaze endüktif yük



Şekil 3. 5 Kompanzasyon sonrası şebeke gerilimi ve yük akımı

Dağıtım şebekesine bağlı kompanze edilmemiş bir yükte meydana gelen ani reaktif güç değişimleri şebekedeki gerilimin değişmesine yol açar. Gerilimdeki bu dalgalanma, aynı noktaya bağlı olan diğer tüketiciler kadar arızaya sebep olan asıl tüketiciyi de olumsuz etkiler. Kompanzasyonun bir amacı da bu gerilim değişimlerini en aza indirmektir.

3.7.1 Trifaze Dengeli Yüklenmiş İşletmeler

Bu işletmelerde yükler genel olarak trifaze yüklerden oluşmaktadır. Monofaze yükler varsa da sistemin bütününde çok fazla dengesizlik yaratmaz. Bu türdeki işletmelerde tek faz gerilim ve akım kontrollü reaktif güç rölesi kullanılması yeterli olacaktır. Burada en önemli husus, cihazın ihtiyaç duyulan reaktif gücü tespit edip uygun kondansatörü bulup direkt olarak devreye almasıdır. Yani devreye alma mantığı sıralı çalışma mantığı olmamalıdır. Aksi takdirde kompanzasyon gecikebilir[8].

3.7.2 Trifaze ve Monofaze Dengeli Yüklenmiş İşletmeler

Bu tür işletmelerde sistem genel olarak dengededir. Fakat bazı zamanlar monofaze yüklenmelerden dolayı dengesizlikler meydana gelir. Burada dengesiz durum olarak bahsedilen, tesisattaki değişiklikler ile giderilebilecek dengesizlikler değildir. Konu edilen ne zaman çalışacağı belli olmayan yüklerdir. Bu tür işletmelerde üç faz ve üç akım kontrollü reaktif güç kontrol rölesi kullanılması yeterli olacaktır. Burada en önemli husus, cihazın ihtiyaç duyulan reaktif gücü tespit edip uygun kondansatörü bulup direkt olarak devreye almasıdır. Yani devreye alma mantığı sıralı çalışma mantığı olmamalıdır. Aksi takdirde kompanzasyon gecikebilir[8].

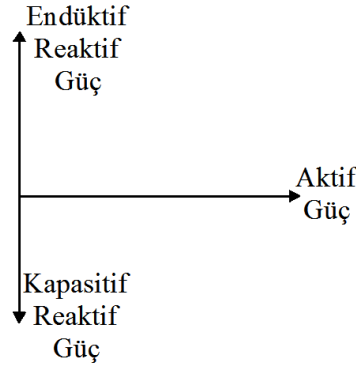
3.7.3 Monofaze Dengesiz Yüklenmiş İşletmeler

Kompanzasyonu en zor işletme türüdür. Bu tür işletmelerde çok sayıda ve düzensiz olarak çalışan monofaze ve trifaze yükler vardır. Tesisatta düzenleme yapılması mümkün değildir. Yapılsa da hiçbir anlamı yoktur. Bu işletmelere en iyi örnekler; benzinlikler, bankalar, marketler, otel veya pansiyonlar, okullar, şov salonları, atölyeler, dikimhaneler vs. dir. Bu tür işletmelerde üç faz ve üç akım kontrollü reaktif güç kontrol rölesi kullanılması yeterli olmayabilir. Bu sebeple elektronik sayaçlar gibi her fazı ayrı değerlendiren bir reaktif güç kontrol rölesi kullanılması uygun olacaktır. Bu tür

işletmelerde az sayıda olsa da trifaze yükler mevcuttur. Bu yükleri monofaze kondansatörler ile kompanze etmek nötr hattına aşırı yüklenilmesine ve bunun sonucu olarak harmonik kirlenmelere yol açabilecektir. Dolayısıyla seçilen rölenin ihtiyaca göre hem monofaze kondansatörler hem de trifaze kondansatörler ile çalışabilme özelliğı olmalıdır[8].

3.8 Reaktif Güç Kompanzasyonunun Faydaları

Kapasitif reaktif güç, endüktif reaktif güce göre 180^0 öndedir. Yani vektörel olarak her iki reaktif güç aynı doğrultuda fakat ters yöndedir. Böylece bir arada kullanıldığında kapasitif güç, endüktif gücü azaltarak kompanzasyon etkisi yapar.



Şekil 3. 6 Güç fazörleri

Kompanzasyonun faydalarını tüketici açısından ve üretici açısından olmak üzere iki kısımda incelenebilir.

3.8.1 Tüketici Açısından Kompanzasyonun Faydaları

Bir tesiste reaktif güç kompanzasyonu yapılmamışsa, tüketilen reaktif enerji için elektrik dağıtım şirketine bir bedel ödenir. Tüketici açısından kompanzasyonun en önemli faydası, faydalı işe dönüşmeyen bu reaktif enerjinin faturasından tüketiciyi kurtarmasıdır. Ayrıca kompanzasyon ile sistem elemanları fazla yüklenmekten kurtulacağı için sistemin boyutları küçültülebilir ya da kapasitesi arttırılabilir. Böylece tüketici gereksiz yatırım yapmaktan kurtulur.

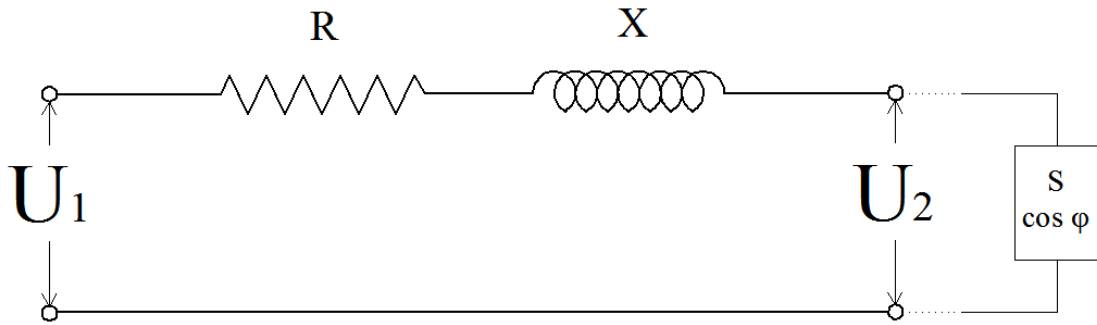
3.8.2 Üretici Açısından Kompanzasyonun Faydaları

Üretici açısından kompanzasyonun faydaları genel olarak üç ana başlık altında toplayacak olur isek, bunlar; sistemin kapasitesinin artması ve ısı kayıpları ile gerilim düşümünün azalmasıdır.

3.8.2.1 Sistem Kapasitesinin Artması

Reaktif gücün kompanze edilmesi ile dağıtım hatlarından akan reaktif akım kondansatör tarafından karşılanacağından görünür akım (I) azalır. Böylece sistemdeki aşırı yüklenmelerin önüne geçilebileceği gibi istek halinde ek kapasite de sağlanmış olur[7].

Bu durumu matematiksel olarak ifade etmek için Şekil 3.7'deki sembolik bir dağıtım hattı ile bu hattan beslenen bir tüketiciyi ele alalım.



Şekil 3. 7 Dağıtım hattından beslenen tüketici

Bu şekilde U_1 ve U_2 sırasıyla hattın başındaki ve sonundaki faz-nötr gerilimleri; R ve X , hattın aktif ve reaktif dirençleri; S , tüketicinin çektiği görünür güç ve $\cos \varphi$ ise tüketicinin güç faktörüdür. Burada ilk koşul olarak P aktif gücünün sabit kalması istensin. Bu durumda kompanzasyondan önce çekilen görünür güç:

$$S_1 = \frac{P}{\cos \varphi_1} \quad (3.12)$$

Kompanzasyondan sonra çekilen görünür güç:

$$S_2 = \frac{P}{\cos \varphi_2} \quad (3.13)$$

Buna göre, kompanzasyondan önceki ve sonraki güç arasındaki fark 3.13 formülü ile ifade edilebilir:

$$\Delta S = S_1 - S_2 \quad (3.13)$$

Bu değeri kompanzasyon öncesi değere oranlarsak:

$$\% \Delta S = \frac{\Delta S}{S_1} \times 100 = \left(1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right) \quad (3.14)$$

elde edilir. 3.14 formülü, kompanzasyon sayesinde tesisin yükü %ΔS oranında azalır veya gerektiği takdirde tesis aşırı yüklenmeden, %ΔS oranında kapasite arttırılabilir olduğunu ifade etmektedir.

Benzer hesaplar S görünür gücünün sabit olma kabulü ile yapılırsa:

$$\Delta P = P_2 - P_1 \quad (3.15)$$

$$\% \Delta P = \frac{\Delta P}{P_1} \times 100 = \left(\frac{\cos \varphi_2}{\cos \varphi_1} - 1 \right) \quad (3.16)$$

elde edilir. Dolayısı ile kompanzasyon yapılması ile görünür güç sabit iken sistemin aktif gücü %ΔP kadar artırılır.

3.8.2.2 Isı Kayıplarının Azalması

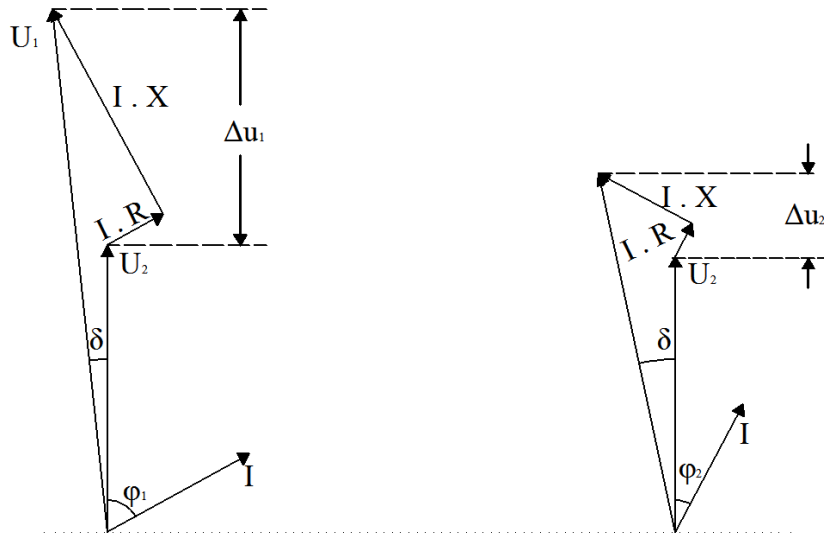
Elektrik tesislerinde I^2R enerji kayıpları; puant ve minimum yük saatlerine, iletken kesitlerine ve uzunluklarına bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle toplam enerjinin %5'i kadar bir değer tutmaktadır. Kayıp ifadesinden de görüldüğü gibi kayıplar akımın karesiyle orantılıdır. Akım da güç faktörü ile değiştiğinden ötürü ısı kayıpları güç faktörünün karesinin tersi ile orantılıdır[14].

3.8.2.3 Gerilim Düşümünün Azalması

Enerji dağıtım sistemlerinde gerilim kontrolü öncelikle generatörleri ve transformatörlerin kademelerini ayarlayarak yapılmalıdır. Bu ayarlar yetersiz kalırsa

güç faktörünün iyileştirilmesi yoluna gidilmelidir. Bu amaçla, kompanzasyonda kullanılan kondansatörlerin gerilimi yükseltici etkisinden faydalanılabilir[7].

Bilindiği gibi endüktif bir direnç üzerinden kapasitif bir akım geçerse çıkış gerilimi, giriş geriliminden daha yüksek olur. Güç katsayısının gerilim düşümü üzerindeki etkisinin fazör diyagramları ile gösterilmesi istenirse, Şekil 3.8'deki diyagramlar kullanılabilir[14]. Burada kondansatör kullanımının gerilimi yükselttiği açıkça görülmektedir.



Şekil 3. 8 Güç katsayısının gerilim düşümü üzerine etkisi

Bu şekilde ilk grafik, kompanzasyon öncesi durum; ikinci grafik, kompanzasyon sonrası duruma ait fazörleri ifade etmektedir. R ve X, hattın aktif ve reaktif dirençleri; U_1 , hattın basındaki gerilim; U_2 , hattın sonundaki gerilim; Δu , boyuna gerilim düşümü ve ϕ faz açısıdır.

3.9 Reaktif Güç Kompanzasyonunda Kullanılan Elemanlar

3.9.1 Giriş

Tesis edilecek reaktif güç kompanzasyonu sisteminin gerekliliği ve tesis edilirken dikkat edilmesi gereken önemli noktalar daha önceki bölümde belirtilmiştir. Bu bölümde bir kompanzasyon sistemi panosunda olması gereken kompanzasyon elemanları ve bu elemanları koruyacak elektrik koruma cihazlarının çalışma prensipleri anlatılacaktır.

3.9.2 Güç Kondansatörleri

Alternatif akım devrelerinde, elektrik yükünü biriktirmek, kapasitif reaktans sağlamak amacıyla kullanılan gereçlerdir. İnce bir yalıtkan ile birbirinden ayrılmış iki iletken levhadan oluşur. Bir kondansatörün elektrik yükü taşıyabilme yeteneği yani kapasitesi C ile gösterilir ve levhalarda birikmiş elektrik yükünün ($Q = \text{Coulomb}$), levhalar arasındaki potansiyel farkına ($V=\text{Volt}$) oranına eşittir.

$$C = \frac{Q}{V} \text{ Farad} \quad (3.15)$$

Tüketicilerin güç katsayısını düzeltmek için kullanılan güç kondansatörlerinin imalatında, saf polipropilenden yapılmış, iki çinko metalize polipropilen film üst üste sarılır. Filmlerden biri sağ film, diğeri sol filmdir. Bunun anlamı, metalizasyonsuz bölgenin sağda veya solda olmasıdır. Kondansatörün kapasite değerini, filmlerin genişliği, filmlerin kalınlığı, sarım sayısı, aktif genişlik ve kaydırma aralığı belirler. Bunların kapasiteleri,

$$C = \frac{\epsilon .A}{d} \text{ Farad} \quad (3.16)$$

Formüldeki ϵ ; yalıtkan ortamın dielektrik sabiti olup polipropilen malzeme için değeri 2,2 F/m dir. A ; iletken levhanın alanı (m^2), d ; iletkenler arası uzaklığın metre cinsinden değeridir.

Çinko metalize film, polipropilen filmin vakumda çinko buharına tutularak kaplanması ile elde edilir. Sonuçta bir yüzü iletken, ikinci yüzü yalıtkan bir film elde edilmiş olur. Çinko metalize polipropilen film, vakum teknolojisi ile üretilmektedir. Silindir şeklindeki elemanların taban alanları çinko ile kaplanır. İki çinko teli bir tabanca yardımı ile doğru gerilimde kısa devre edilir ve bu malzeme çinko basınçlı hava ile taban alanlarına püskürtülür. İki film arasındaki kaydırmadan dolayı oluşan boşluğa bu çinko zerrecikleri saplanır. Taban alanlarının çinko ile kaplanmasının sebebi, kondansatör elemanın tabanına kolay lehim yapılabilmesi ve polipropilen filmin çinko kaplı olması; yani çinko-çinko kontak temasının iyi olmasıdır.

Daha sonra talebe göre, alüminyum veya plastik tüplere konularak dolgu malzemesiyle doldurulurlar. Bu yapıdaki kondansatörlerin özelliği, öz onarımlı olması yani kalıcı kısa

devreye girmeden kendi kendini yenilemesidir. Kullanım amacına göre; plastik tüp kondansatörler TTR kablolu, NYAF kablolu, tek ve çift termalli alüminyum tüp kondansatörler ise tek veya çift terminalli yapılabilirler.

Alçak gerilimde istenilen güçte kapasitif ünite elde etmek için kondansatör elemanları üçgen olarak bağlanırlar. Deneyimler sonucunda görülmüştür ki silindir şeklinde imal edilen kondansatör elemanlarının çapları, yaklaşık boylarına eşit olacak şekilde seçilir. Bu uygulama, kondansatör ömrünü en az iki katına çıkarmakta, ısınmada akımın karesiyle orantılı olduğu için, $1/4'$ üne düşürmekte, sonuç olarak daha sıcak ortamlarda çalışabilen kondansatör imal edilmektedir. Üç fazlı alternatif akım tesislerinde kondansatörler şebekeye veya tüketici uçlarına üçgen veya yıldız olarak bağlanabilirler. Üçgen bağlamada her iki hat arasındaki kondansatörün kapasitesi C_{Δ} ile ve yıldız bağlamada her faza bağlanan kondansatörün kapasitesi C_y ile gösterilirse, her iki sistemde de Q_c kondansatör gücünün eşit olduğu kabul olunursa;

$$C_y = 3.C_{\Delta} \quad (3.17)$$

olacaktır.

Yıldız bağlamada her bir faza bağlanan kondansatörün kapasitesi, üçgen bağlamadaki kondansatör kapasitesinin üç katına eşittir. Bu yüzden faz ve hat gerilimleri arasında farkın izolasyon bakımından çok önemli olmadığı alçak gerilim tesislerinde üçgen bağlama, yıldız bağlamaya göre $1/3$ oranında daha ucuza mal olur. Ekonomik sebeplerden dolayı kondansatörlerin üçgen bağlanmaları tercih olunur. Şekil 3.9'de kondansatörün içyapısı gösterilmiştir.



Şekil 3. 10 Kondansatörün dıştan görünümü

Çizelge 3. 4 Kondansatörün farklı gerilim ve frekansta davranışı

Fazlar arası UN Gerilimi	50 Hz Frekansında Gücü (kVAr)	60 Hz Frekansında Gücü (kVAr)
525 V	10	12
480 V	8,3	10
415 V	6,2	7,5

Kondansatörler, genellikle kompanzasyon panolarında panonun arka kısmına yerleştirilir. Bu şekilde kondansatörler dış hava sıcaklığından çok fazla etkilenmez. Şekil 3.11'da bir kompanzasyon panosunun arka kısmına yerleştirilmiş kondansatörler gösterilmiştir.



Şekil 3. 11 Kondansatörlerin pano içinde yerleşimi

Günümüzde güç kondansatörleri tek fazlı olarak 230V, trifaze olarak 400V, 415V, 440V, 480V, 525V ve 690V değerlerinde farklı güçlerde üretilirler.

3.9.3 Deşarj Bobinleri ve Dirençleri

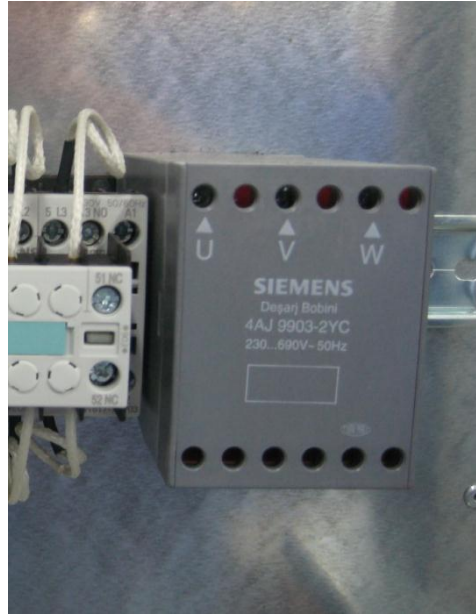
Kondansatörler, devre dışı kaldığında içlerinde hala gerilim bulundurdıklarından, potansiyel bir tehlike oluştururlar. Bu durumun ortadan kaldırılması için kondansatörleri deşarj etmek gereklidir. Deşarj elemanı olarak deşarj bobini ve deşarj direnci kullanılır. Uygulamalarda uygun olan elemanın kullanılması gereklidir.

3.9.3.1 Deşarj Direnci

Kondansatörlerin üzerinde bulunan deşarj dirençleri kondansatör devre dışı bırakıldığında üzerindeki kalan gerilimi düşürerek tekrar devreye alındığında şebeke gerilimi ile çakışmasını önlemek ve temas halinde canlıyı korumak için emniyet oluşturur. Ayrıca sistemin ömrünü de uzatacaktır. Deşarj dirençleri, kondansatör gerilimini 75V ve aşağısına yaklaşık 1 dakika sürede çekmektedir. Günümüzde üretilen güç kondansatörlerinde standart olarak dahili halde bulunmaktadır.

3.9.3.2 Deşarj Bobinleri

Deşarj bobinleri ise kondansatör deşarjının 1 dakikadan daha kısa olmasının istendiği yerlerde kullanılır. Kondansatörü yaklaşık 30 saniye içinde 50V ve altı gerilime düşürür. Kondansatörle kullanılan deşarj bobini, aynı zamanda kondansatörün devreye girdiği andaki yüksek akımı sınırlama görevi de yapar.



Şekil 3. 12 Deşarj bobini

3.9.4 Kondansatör Kontaktörleri

Kompanzasyon sistemlerinde kondansatörleri devreye almak için, normal kontaktör kullanmak ekonomik ve teknik açıdan uzun vadede tamamen yanlıştır. Kondansatör grupları, devreye girip çıkarken yüksek akımlara sebebiyet verirler. Seçilen normal

kontaktör bir üst amperajda seçilse bile kontaktörün kontakları ilerleyen zamanda yapışarak kompanzasyon sistemini etkisiz kılacaktır.

Bu nedenle reaktif güç kompanzasyonu sistemlerinde, ana kontaklara paralel bağlanan akım sınırlayıcı bobinlere sahip kompanzasyon kontaktörlerinin kullanılması kompanzasyon sisteminin ömrünü doğrudan etkileyecektir.



Şekil 3. 13 Kondansatör kontaktörü

3.9.5 NH Bıçaklı Sigortalar

Sigorta koruyucu bir cihaz olup, NH tipi sigorta içindeki telin erimesi suretiyle akımı keser ve devresini aşırı akım tehlikelerine karşı korur. Bıçaklı sigortalar, steatit malzemeden yapılırlar ve 120 kA kısa devre akımını kesebilecek güçtedirler. 500 Vac ve 440 Vdc gerilimi için 630 A'e kadar üretilirler. Transformatör, kablo, şalter, pano gibi cihazları aşırı yüklenme ve kısa devre durumuna karşı emniyetle korurlar.

Akım şiddeti ile ters zamanlı olarak sigorta devreyi açar. Kısa devre ve aşırı akımlara karşı oldukça başarılıdır. Buşonlarda kullanılan erime telleri akım şiddetine göre çeşitli şekillerde üretilirler.

Aşırı yük ve kısa devre halinde, tel boyunca aynı kesitli birçok noktadan erimeler ve kısmi arklar oluşur. Bu şekilde bir erimede kısa devre akımları kesilecek ve sıcaklık bütün sigorta boyunca dağılacaktır. Sigortaların dış gövdesi, kesilen akımın ortaya çıkardığı yüksek basınç ve sıcaklığa dayanıklı olarak üretilir.

Sigorta telinin akımı kesebilmesi için erimesi, yani keseceği akımın sigorta telinin direnci üzerinde bir ısı enerjisi üretmesi gerekir. Kesilecek akım tarafından erime süresi boyunca üretilen bu ısı enerjisi ile, sigorta telinin boyutlandırıldığı erime sıcaklığının geçilmesi durumunda, akım, önce sıvılaşmış metal üzerinden, sonra metal buharı üzerinden akmaya devam eder. Kesme işleminin bu son safhasında akım bir ark şeklindedir. Bu ark sönme süresi boyunca, sigorta gövdesi içindeki sıcaklıkla birlikte basıncın da artmasına neden olur. Bu arkı söndürmek için sigorta içinde kuvarz kumu bulunur.

Sigorta gövdesinin bu iki etkiye karşı da dayanması gerekmektedir. Sigorta telinin eriyip erimeyeceğinin belli olmadığı, erime yapsa dahi çok uzun süreler boyunca akabilecek bu akımların sigorta direnci üzerinde ürettiği ısı miktarlarının sigortayı harap etmesi, sigorta gövdesinin yüksek ısılara dayanıklı malzemeden yapılmasıyla önlenabilir. Bu nedenle NH buşon gövdesinin IEC 672'ye uygun şartlarda üretilmesi gerekmektedir. Bu nedenle buşonlarda kullanılan malzeme, şok ısınmalara ve dinamik kuvvetlere mukavemetli olan steatit malzeme tercih edilir.

Kompanzasyon sistemlerinde NH sigortalar, kondansatörlerin çektiği yüksek akımlara dayanabildiği ve kondansatörlere zarar verecek akımları güvenle kesebildiği için kullanımı yaygındır.

NH sigorta buşonlarının kontak bıçakları özel pirinç veya bakır malzemeden yapılmış olup, üzeri gümüş kaplanmıştır. Gümüş, hava ile temas ederek zamanla sülfürlenir ve kararır. Ancak bu önemli değildir. Çünkü devreden geçen akımın meydana getirdiği ısı ile gümüş sülfür iletken duruma geçer.

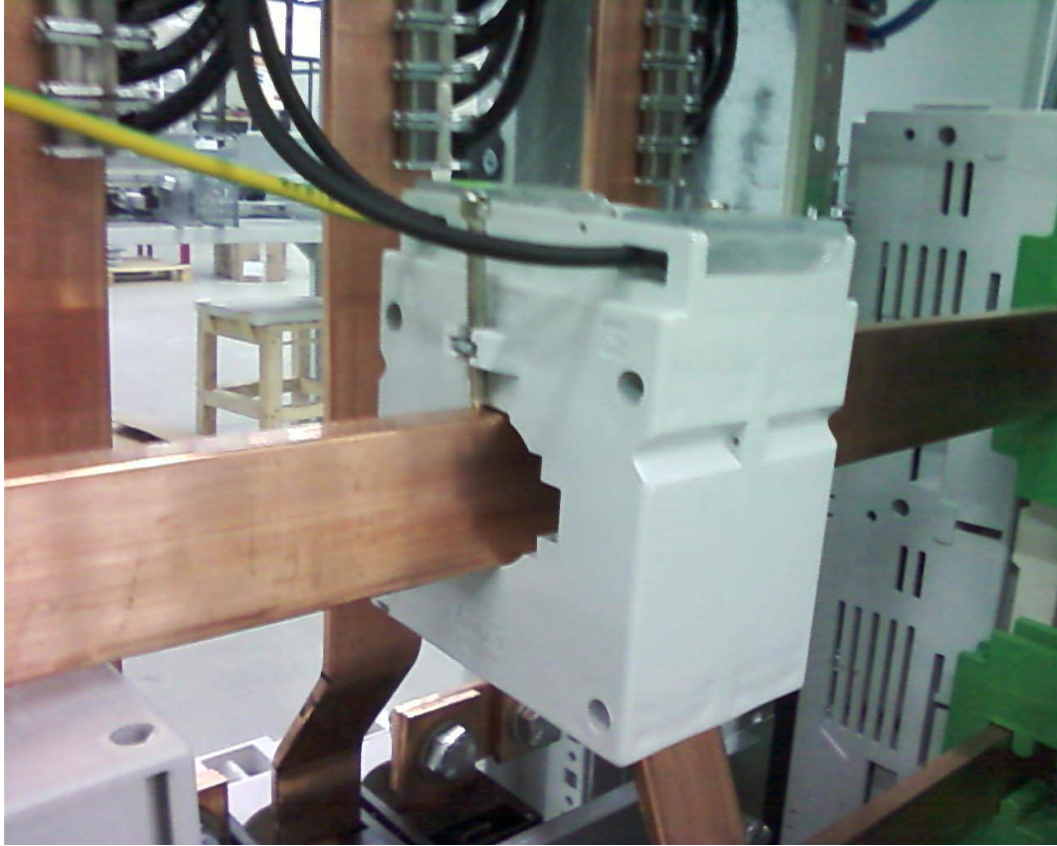


Şekil 3. 14 NH sigorta ve kaidesi

3.9.6 Akım Transformatörleri

Alçak gerilim akım transformatörleri; primer sargı, sekonder sargı ve bu sargıların üzerine sarıldığı manyetik nüve olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Primeri barasız olan akım transformatörlerde primer sargısı bulunmamaktadır. Bunun yerine transformatörün toroidal nüve içerisinde bara veya kablo geçirilerek primer sargısı oluşturulur.

Ölçü akım transformatörleri; ölçme aletleri, sayaçlar, röleler ve benzer teknikte çalışan diğer aygıtları beslemek amacıyla yapılmıştır. Bu cihazları yüksek gerilim şebekelerinden yalıtın ve ölçü aletlerinin sınırı dışında olan akımlarını ölçülebilir değerlere indirmesini sağlayan transformatörlerdir. Akım transformatörlerinin sekonder ucu mutlaka topraklanmalıdır. Aksi halde sekonder uçlar boşta bırakılır ve boşta çalıştığında yüksek akımlar oluşacağından akım transformatörü yanar ve diğer istenmeyen durumlar oluşur. Şekil 3.9'da reaktif güç kontrol rölesine akım bilgisi sağlayan akım transformatörünün yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 3. 15 Akım transformatörü yerleşimi

Akım transformatörlerinin kompanze edilecek sistemin ana barasına yerleştirileceği unutulmamalıdır. Kompanzasyonda yapılan en büyük hatalardan birisi akım transformatörlerinin kompanzasyon panosuna konulmasıdır. Böyle durumlarda kompanzasyon panosu çalışmayacaktır.

3.9.7 Pako Şalterler ve Butonlar

Birbirinin aynı olan birden fazla kontak yuvalarının bir mil üzerinde arka arkaya sıralanmasından meydana gelen ve bir eksen etrafında dönebilen; motor bağlantı işlemlerinde, ölçü aletleri komütatörlerinde, kontrol, kompanzasyon ve dağıtım panolarında kullanılan elle kumandalı şalterlere paket (pako) şalter denir.

Her diliminde iki, üç veya dört adet gümüş alaşımlı kontağı bulunan pako şalterlerin, dilim sayısı artırılarak değişik kumanda işlemlerinde kullanılırlar. Hareketli kontak bombeli, sabit kontak ise düz bir yüzeye sahiptir. Böylece tam temas ve en düşük geçiş direnci sağlanır. Kontaklar basarak açılıp kapandığından ve mil üzerinde bulunan kamlar, kontakların aynı zamanda açılıp kapanmasını gerçekleştirdiğinden bütün kumanda devrelerinin veya fazların gecikmesiz olarak aynı anda emniyetle açılıp kapanması sağlanır.

Kompanzasyon sistemlerinde, otomatik ve manuel seçimi yapmak için 1-0-2 paket şalter, manuel seçimde kondansatör gruplarını devreye almak için 0-1 paket şalter kullanılır.



Kapalı-Devrede



Otomatik-Kapalı-Manuel



Devreye Alma Butonu

Şekil 3. 16 Pako şalterler ve buton

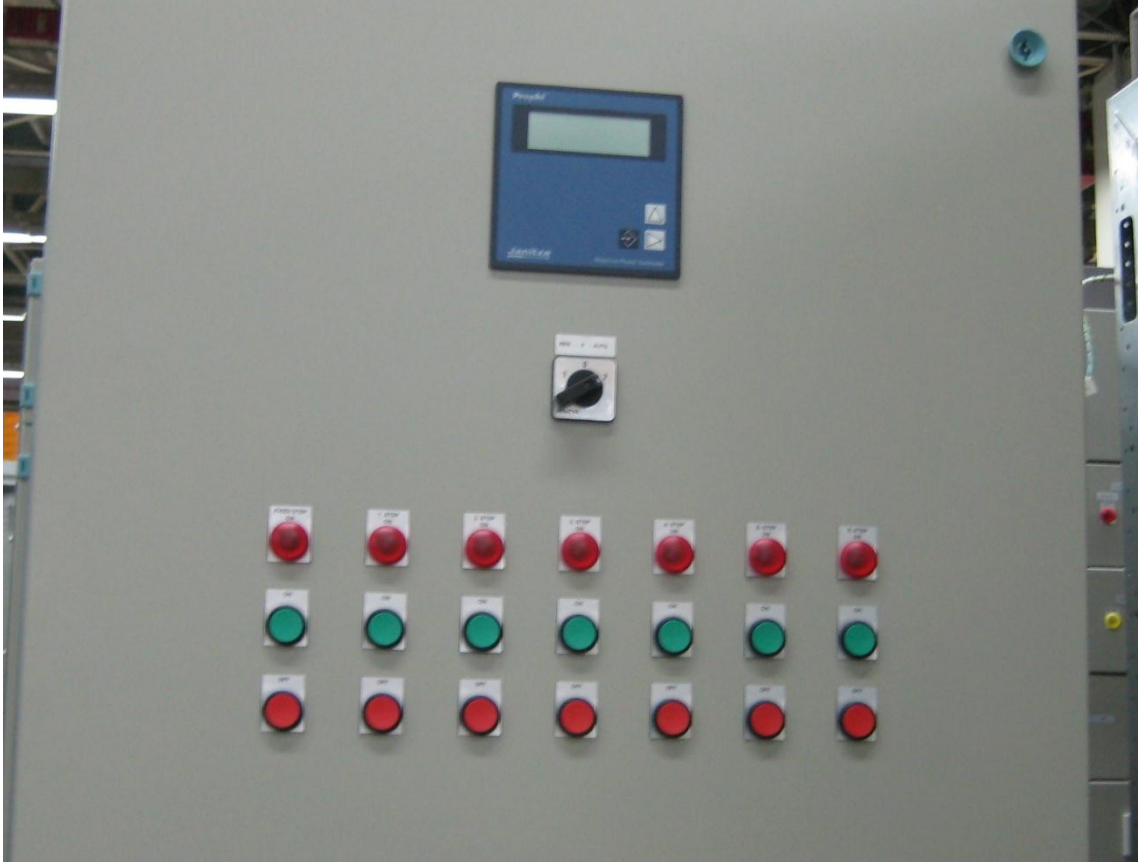
Kondansatör gruplarını devreye almak için paket şalterler yerine butonlar da tercih edilebilir. Fakat her bir kademeye devreye almak ve devreden çıkarmak için her kademeye toplamda 2 adet buton gerektiği unutulmamalıdır. Uygulamalarda sabit kademe hariç diğer kademelere start-stop butonunun kullanılması daha doğrudur. Çünkü enerji kesintisi meydana geldiğinde kompanzasyon panosunda enerjisi kesilecektir. Kademelerde pako şalter kullanıldığında, enerji geldiği zaman pako şalter “1” konumunda olacağı için kondansatör hemen reaktif güç verecektir. Fakat ihtiyaç olmayan bu kademe şebekeye kapasitif reaktif güç göndermeye neden olacaktır. Bu durumun sık yaşanması durumunda sistem kapasitif reaktif ceza durumu ile karşı karşıya kalacaktır.

3.9.8 Sinyal Lambaları

Sinyal lambaları kompanzasyon panosunda, panoda enerji olduğunu belirtmek için her faza 3 adet ve kondansatör grupları için her kademeye bir adet konulur. Manuel veya otomatik modda hangi kondansatör grupları devrede ise o kademelerin sinyal lambaları yanacaktır.



Şekil 3. 17 Pako şalterli kompanzasyon panosu



Şekil 3. 18 Butonlu kompanzasyon panosu

3.9.9 Harmonik Filtre Reaktörleri

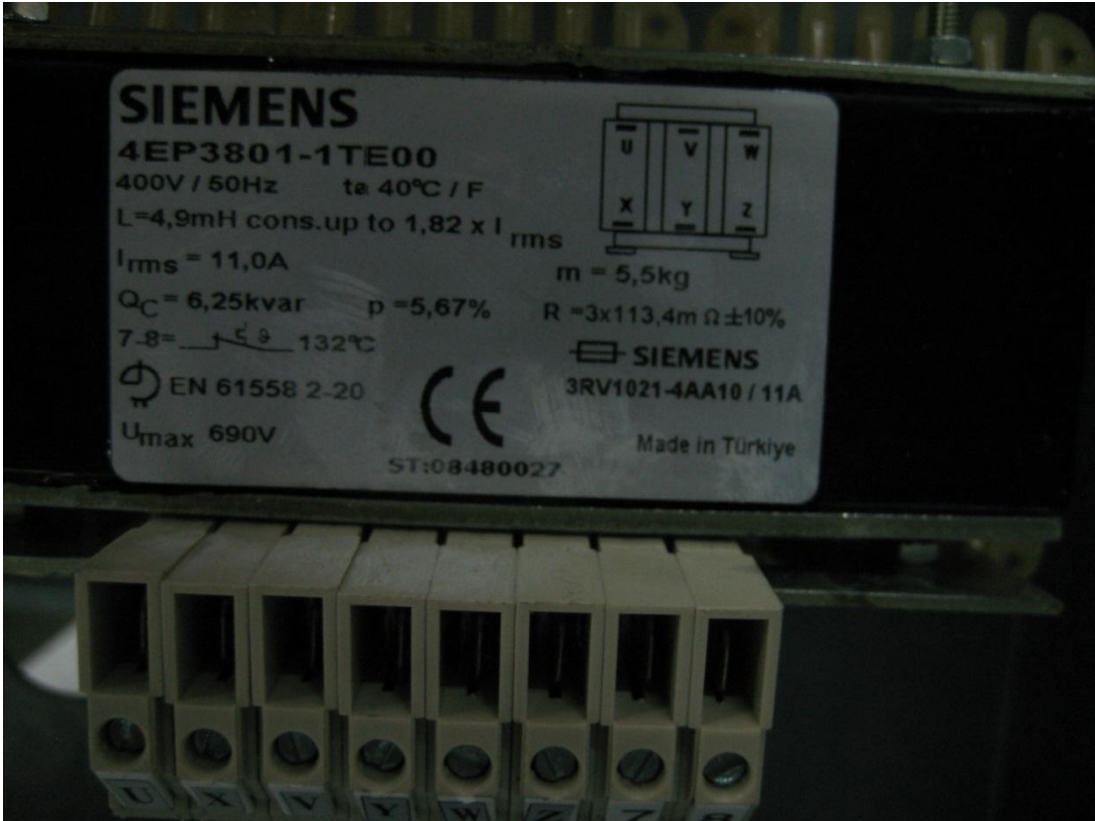
Filtreli kompanzasyon sisteminde kullanılan harmonik filtre reaktörleri, kondansatörlerin önüne eklenerek, kondansatörler harmoniklerin zararlı etkilerine karşı korunur. Böylece kompanzasyon sistemi sorunsuz çalışır, gereksiz kondansatör değişimleri için yapılan masraflar ortadan kaldırılmış olacaktır.



Şekil 3. 19 Harmonik reaktörü

Harmonik filtre reaktörleri eklenecek sisteme yapılması gereken kontroller şunlardır:

- Oluşan rezonans sistemindeki yüklenmeler, kondansatörlerin üzerindeki gerilimlerin artmasına yol açar. Bu durumda kondansatörlerin zarar görmemeleri için şebekenin nominal geriliminin üzerindeki gerilimlere dayanabilecek kapasitede olmalı gereklidir.
- Sistemin rezonans noktasının belirlenebilmesi için kondansatör güçlerinin bilmesi gereklidir.
- Eklenecek reaktör ile kondansatörlerin oluşturacağı rezonans frekansı doğru şekilde belirlenmelidir.



Şekil 3. 20 Harmonik reaktörü etiket değerleri

3.9.10 Otomatik Sigortalar

Otomatik sigortalar umumiyetle hassas yerlerde ve çok hassas devrelerde kullanılmaktadır. Evlerde, aydınlatma sistemlerinde, kumanda panolarında tercih edilmektedir. Kumanda devresini herhangi bir kısa devreye maruz bırakmamak gayesiyle kullanılır. Akım değeri düşük olan bu sigortalar attıklarında şalter iner. Şalter

kaldırılınca devreden tekrar akım geçer. Günümüzde evlerde ve iş yerlerinde pratik olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu tip sigortalarda, temel olarak iki şekilde devre kesilir.

Ani yüksek akım: Sigorta devreyi kesecek olan mekanizmayı bir elektromıknatıs vasıtası ile tetikler. Buna manyetik açma denilir.

Uzun süreli limit akım: Sigorta, devreyi kesecek olan mekanizmayı bir bimetal şerit vasıtası ile tetikler. Aşırı akım nedeni ile bimetal şerit ısınır. İki farklı metal şerit farklı uzama katsayıları vasıtası ile sigorta açılır. Termik açma olarak adlandırılır.

Evlerde kumanda ve alçak gerilim dağıtım panolarında otomatik sigortalar kullanılmaktadır. Aşırı akım çekmesi durumunda aşırı akıma göre ters zamanlı olarak atar ve gücü keser. Üzerindeki anahtarı tekrar 1 konumuna getirdiğimizde tekrar devreye enerji verir.

Standart olarak 1 ile 125 A arasında üretilirler. Kısa devre akımları 3 kA, 6 kA ve 10 kA olarak standarttır. Özel tip olarak 25kA değerlerinde de üretilirler. Otomatik sigortalar, gecikmeli C tipi, hızlı B tip olmak üzere açma süresine göre standart 2 tip olarak üretilirler. B tipi, ev aydınlatması, priz gibi devrelerde kullanılır. C tipi ise endüktif yüklerin korunmasında tercih edilir. B tipi sigortalar nominal akımlarını 3 ile 5 katında gecikmeli olarak açarlar. C tipi sigortalarda ise bu değer 5 ile 10 kat arasındadır. Özel endüstriyel uygulamalar için D ve K eğrisi de bulunmaktadır.

Kompanzasyon sistemlerinde otomatik sigortalar reaktif güç kontrol rölesinin korunması için B6, manuel çalıştırmada devrede olan kumanda devresinin korunması için B6 otomatik sigorta seçilir. Fakat kısa devre akımlarının yüksek olduğu durumlarda kartuş sigorta ve gövdesi ile kullanılması daha doğru olacaktır.



Şekil 3. 21 Otomatik sigorta ve kartuş sigorta

3.9.11 Parafudr

Yüksek gerilim cihazlarının hat arızaları, yıldırım düşmeleri ve kesici açması gibi manevralar sonucu meydana gelen aşırı ve zararlı çok yüksek gerilim şoklarının ve enerji iletim hatlarında meydana gelen yürüyen dalgaların hasar etkisini önleyen cihazlara Parafudr denir. Yani enerji nakil hatlarında meydana gelen aşırı gerilimi toprağa deşarj eden koruma elemanlarıdır. Parafudr, büyük akım darbelerini toprağa iletir ve işletmeyi kesintiye uğratmadan aşırı gerilimleri şebeke izolasyonu için zararsız bir düzeye indirir.

Kompanzasyon panosunun girişine B tipi (yıldırıma karşı) Parafudr konularak, çevreye yıldırım düşmesi halinde kompanzasyon sisteminin çalışması etkilenmez. Aksi takdirde yüksek gerilimden dolayı kompanzasyon panosu zarar görür ve işletme ceza ödemek zorunda kalabilir.



Şekil 3. 22 Parafudr

3.9.12 Reaktif Güç Kontrol Rölesi

Günümüzde, mekanik sayaçların yerini yavaş yavaş elektronik sayaçların alması ve mekanik sayaçların kullanımdan kaldırılması, son kullanıcıların kompanzasyonda zorlanmalarına neden olmaktadır. Çünkü elektronik sayaçlar enerjileri her faz için ayrı biriktirmektedir. Yani mekanik sayaçlar gibi vektörel toplama bakmaz. Sonuç olarak trifaze kondansatör grupları ve monofaze eski tip röleler sonuç vermeyebilir.

Mekanik sayaçlarda, tüm işlem fiziksel olarak gerçekleşir. Sadece güç vektörleri işleme tabi tutulur. Elektriğin vektörel toplamını almış olur. Bu bileşke doğrultusunda harcanan enerjiyi yazmış oldukları için, fazları bağımsız olarak değerlendiremezler.

Elektronik sayaçlarda, elektrik sayma işlemi, sayaç entegresi ve sayaç entegresinden ölçüm değerlerini alıp işleyen ve hafızasında tutan mikroişlemci bulunur. Elektronik sayaçtaki mikroişlemci yazılımı her fazdan ölçülmüş olan değerleri birbirinden bağımsız olarak aktif, endüktif ve kapasitif sayaçlara işler. Bu durumu başka bir deyiş ile fazın biri endüktif, diğeri de aynı anda kapasitif ise bu iki fazın reaktif gücünün farkını almaz. Bu iki faz bağımsız olarak sayaçlara işlenir. Fazları bağımsız değerlendirince, dengesiz yük sistemlerinin L1-L2-L3 fazları arasında üçlü kondansatör olarak yapılan kompanzasyonda, bileşke bakımından kompanzasyon sağlansa bile, elektronik sayaç

hem endüktif hem kapasitif taraftan yazabilir. Bu nedenle, reaktif güç kontrol rölesi seçmek çok daha önemli bir hale gelmektedir.



Şekil 3. 23 Reaktif güç kontrol rölesi

3.9.13 Termik Manyetik Şalter

Termik korumayı sağlayan bimetal şerit, sıcaklık karşısında uzama kat sayıları farklı iki metalin birleşmesiyle oluşur. Bimetal ısındığında uzaması daha az olan metale doğru bükülür. Böylece kesici mekanizmasının açılmasına yardımcı olan bir tırnağı kurtararak kesiciyi devre dışı bırakır. Bimetalin bükülme hızı, kesicinin içinden geçen akımın büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Zira akımın artması sıcaklığın artması demektir. Bu şekilde anma akımının üstündeki yük akımlarında, kesicinin aşırı akım koruma işlevi bimetal sayesinde gerçekleştirilir.

Kesicinin bir başka görevi de bağlı bulunduğu devreyi kısa devrelere karşı korumasıdır. Kısa devre; fazların birbiri ile teması veya faz-toprak teması sonucunda meydana gelebilir. Kısa devre durumunda kablolardan çok yüksek bir akım geçeceğinden, sistemin enerjisinin termik korumaya göre çok daha kısa sürede kesilmesi gerekmektedir. Kesici, bağlı bulunduğu yükü korumak için anında açma yapmalıdır. Bu görevi gören kısım, kısa devre akımının meydana getirdiği manyetik alanın oluşturduğu mıknatıslanma ile çalışan mekanik bir açma düzeneğidir. Kompanzasyon panosunun girişinde aşırı ve kısa devre akımlarına karşı koruma sağlarken, bakım esnasında panonun enerjisini keserek sağlıklı çalışma koşulları yaratılır.



Şekil 3. 24 Termik manyetik şalter

3.10 Reaktif Güç Kompanzasyonu Çeşitleri

Reaktif güç kompanzasyonu yapılış yöntemlerine göre statik ve dinamik olarak 2 ye ayrılır.

Dinamik kompanzasyon aşırı uyartımlı senkron makineler ile yapılmaktadır. Fakat kullanım zorluğu ve bakım maliyetleri düşünüldüğünde çok efektif bir çözüm değildir.

Statik kompanzasyon kondansatör grupları ve aktif filtre yöntemleri ile yapılır. Kondansatörlü kompanzasyonu, aynı zamanda kendi arasında da ikiye ayırmak mümkündür. Sistemdeki harmonikleri yok etmek için kullanılan seri bağlı harmonik reaktörlü ve harmonik reaktörsüz olarak gruplandırılır.

Bu tezde harmonikleri önlemeye yönelik harmonik reaktörlü kompanzasyon ve aktif filtre ile kompanzasyon çeşitleri anlatılacaktır.

3.10.1 Harmonik Reaktörlü Kompanzasyon Sistemleri

Bu sistemler pasif filtreleme sistemleri olarak da anılmakla beraber uygun maliyet sunmalarıyla öne çıkmaktadır. Yok edeceği harmonikler sistem kurulmadan önce belirlenir ve reaktörler bu harmonikleri yok edecek şekilde seçilir. Fakat ilerleyen zamanda sistemin harmonik frekansı değişirse bu sistem yeni harmonik mertebeleri

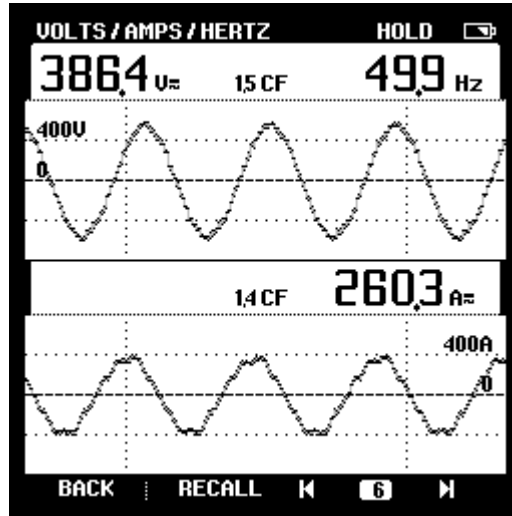
için yeterli olmayacak, aşırı bir frekans kayması olması durumunda harmonikli sistemi destekler özellik gösterecektir.

3.10.1.1 Harmonik Reaktörlü Kompanzasyon Sistemi Örnek Uygulama

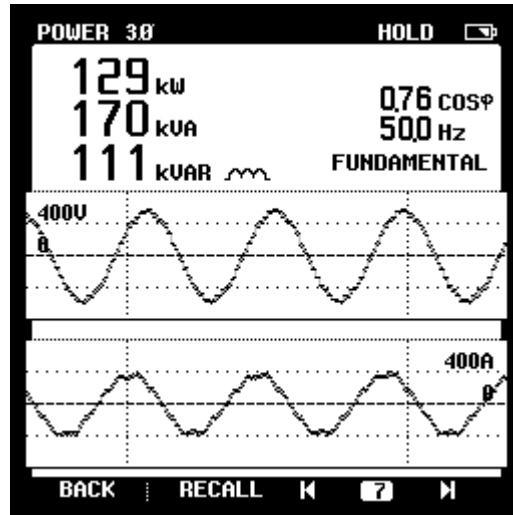
Harmonik reaktörlü kompanzasyon sistemi kurulmadan önce mevcut bir endüstriyel tesiste transformatörün sekonder tarafından harmonik analizi yapılmıştır.

Ölçüm sonucunda gerilimin gündüz saatlerinde 386 - 396 V seviyelerinde olduğu görülmüş ve yapılan ölçümler esnasında aşırı gerilimlerle karşılaşılmamıştır.

Tesis, nominal yükteyken ve kompanzasyon sistemi devre dışı iken, şebekeden ortalama 260 A mertebesinde akım çekmekte ve bu durumda şebekeden çekilen, toplam aktif güç 130 kW, toplam reaktif güç 110 kVAr olmaktadır. Bu yük durumunda iken $\cos\phi$ ortalama 0,76 mertebelerindedir (Şekil 3. 25 ve Şekil 3.26).

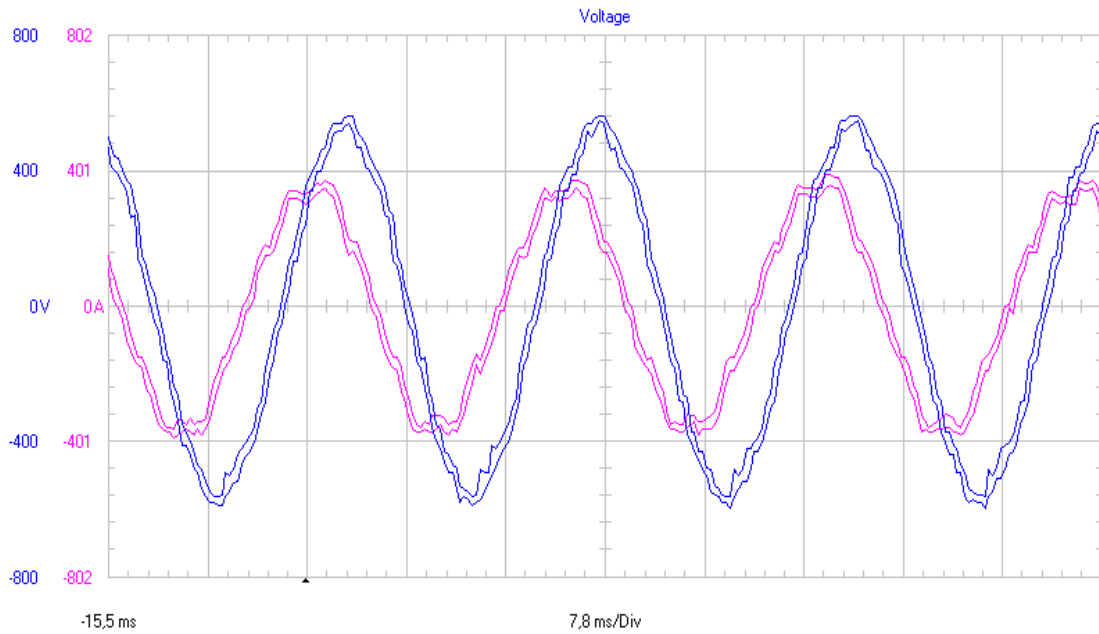


Şekil 3. 25 Akım, gerilim ve frekans ölçümü (Kompanzasyon devre dışı)



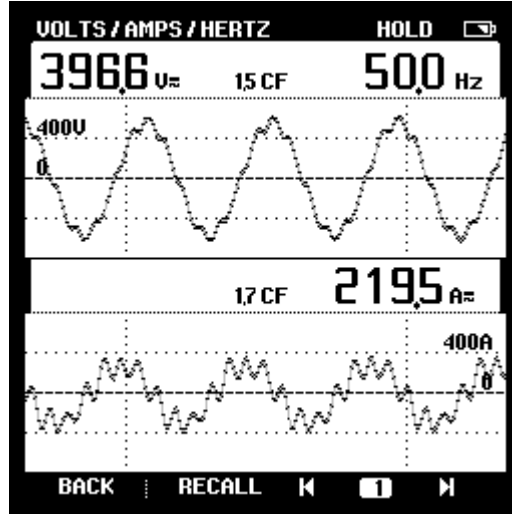
Şekil 3. 26 Aktif, reaktif ve görünür güç ve güç faktörü (Kompanzasyon devre dışı)

Kompanzasyon devre dışı iken akım ve gerilim dalga şekilleri Şekil 3.27'deki gibi olmaktadır.

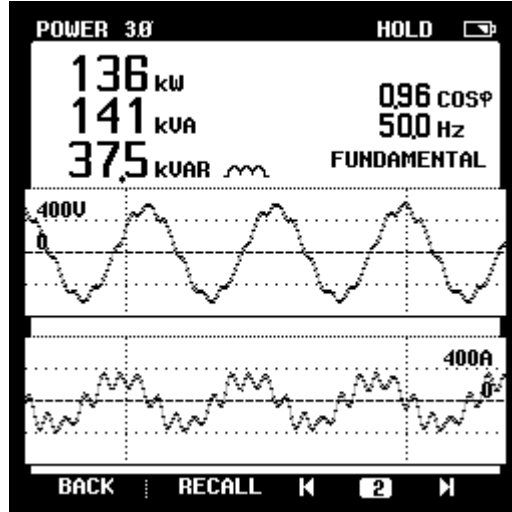


Şekil 3. 27 Kompanzasyon devre dışı iken akım ve gerilim grafikleri

Tesis, nominal yükteyken ve kompanzasyon sistemi devrede iken, şebekeden ortalama 220 A mertebesinde akım çekmekte ve bu durumda şebekeden çekilen, toplam aktif güç 136 kW, toplam reaktif güç 37 kVAr olmaktadır. Bu yük durumunda iken $\cos\phi$ ortalama 0,96 mertebelerindedir (Şekil 2. 28 ve Şekil 2. 29).

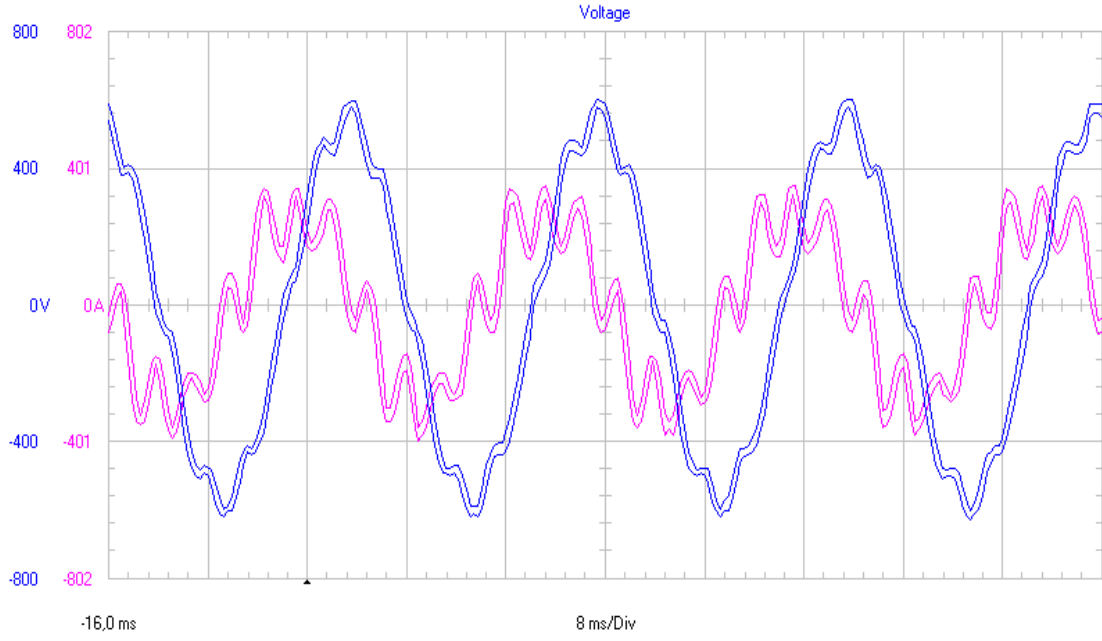


Şekil 3. 28 Akım, gerilim ve frekans ölçümü (Kompanzasyon devrede)



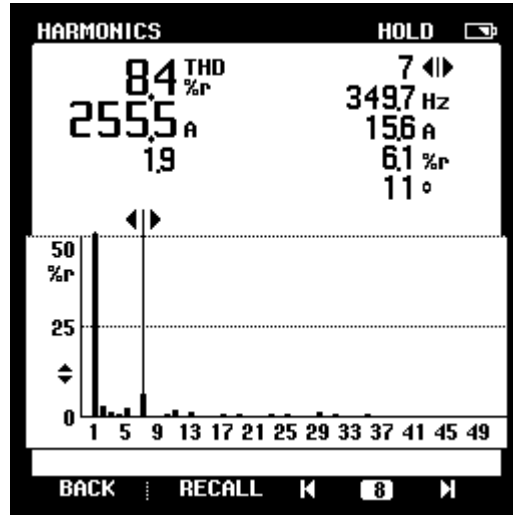
Şekil 3. 29 Aktif, reaktif ve görünür güç ve güç faktörü (Kompanzasyon devrede)

Kompanzasyon devre dışı iken akım ve gerilim dalga şekilleri Şekil 3. 30'daki gibi olmaktadır.

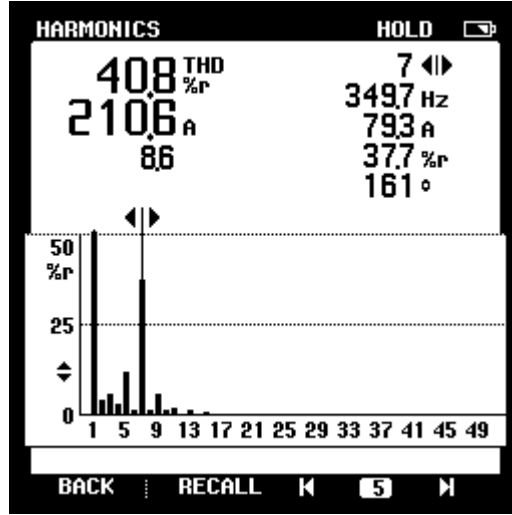


Şekil 3. 30 Kompanzasyon devrede iken akım ve gerilim grafikleri

Tesisteki Toplam Harmonik Akım Bozulması (THD_i), kompanzasyon sistemi devrede dışı iken % 8,4, kompanzasyon sistemi devrede iken % 40,8 seviyelerindedir (Şekil 3. 31 ve Şekil 3. 32).

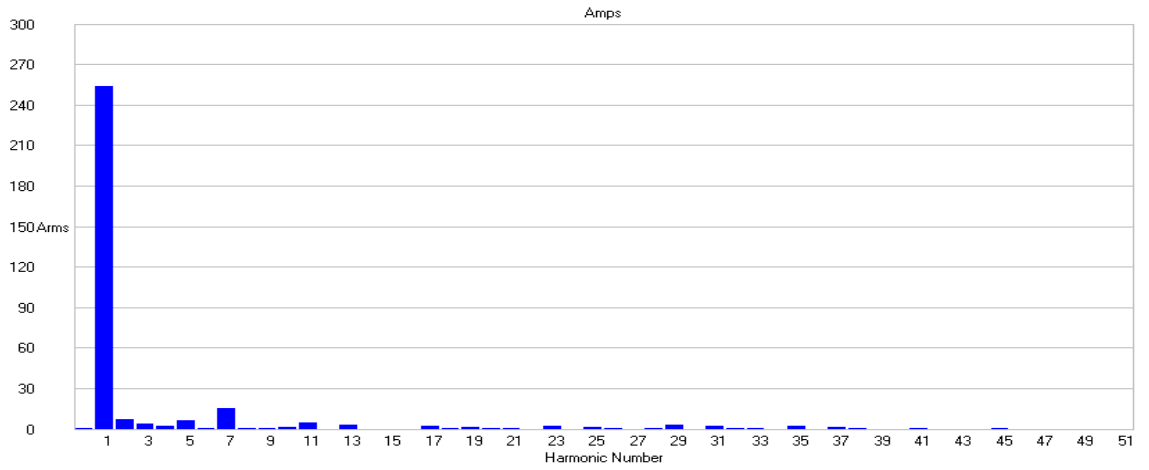


Şekil 3. 31 Kompanzasyon devre dışı iken spektrum



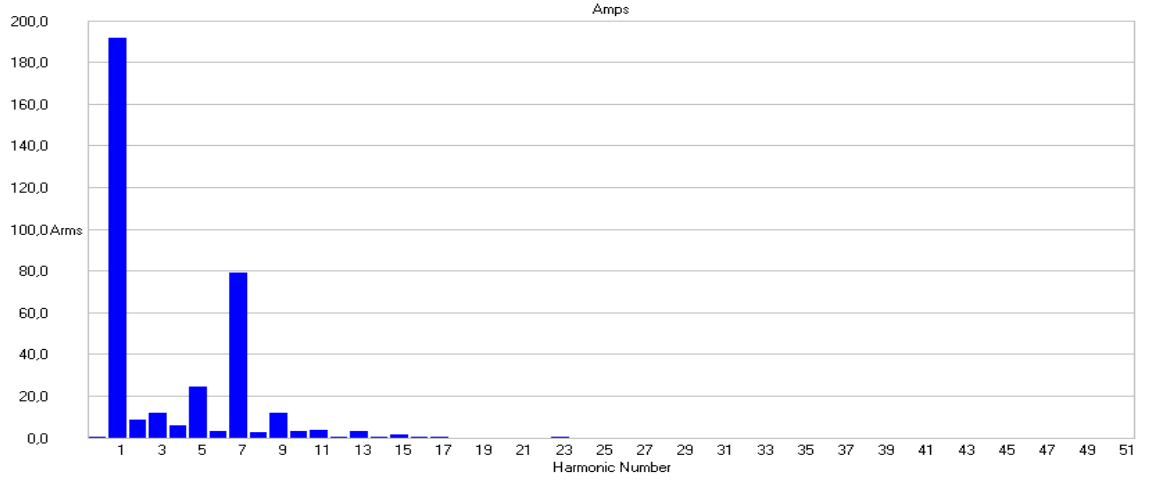
Şekil 3. 32 Kompanzasyon devrede iken spektrum

Sistemin THD_i spekturumu kompanzasyon devrede değil iken Şekil 3. 33'deki gibi olmaktadır.



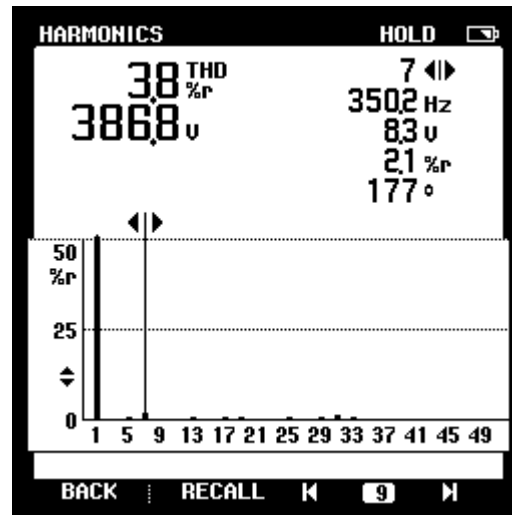
Şekil 3. 33 Kompanzasyon devre dışı iken THD_i spektrum

Sistemin THD_i spekturumu kompanzasyon devrede iken Şekil 3. 34'teki gibi olmaktadır.

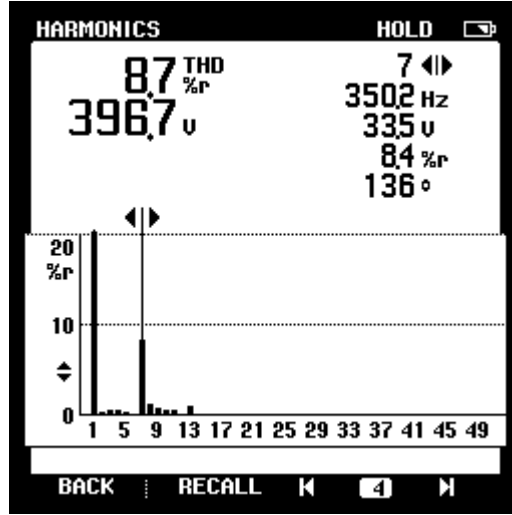


Şekil 3. 34 Kompanzasyon devrede iken THD_i spektrum

Tesisteki Toplam Harmonik Gerilim Bozulması (THD_V), kompanzasyon sistemi devrede dışı iken % 3,8, kompanzasyon sistemi devrede iken % 8,7 seviyelerindedir (Şekil 3.35 ve Şekil 3.36).

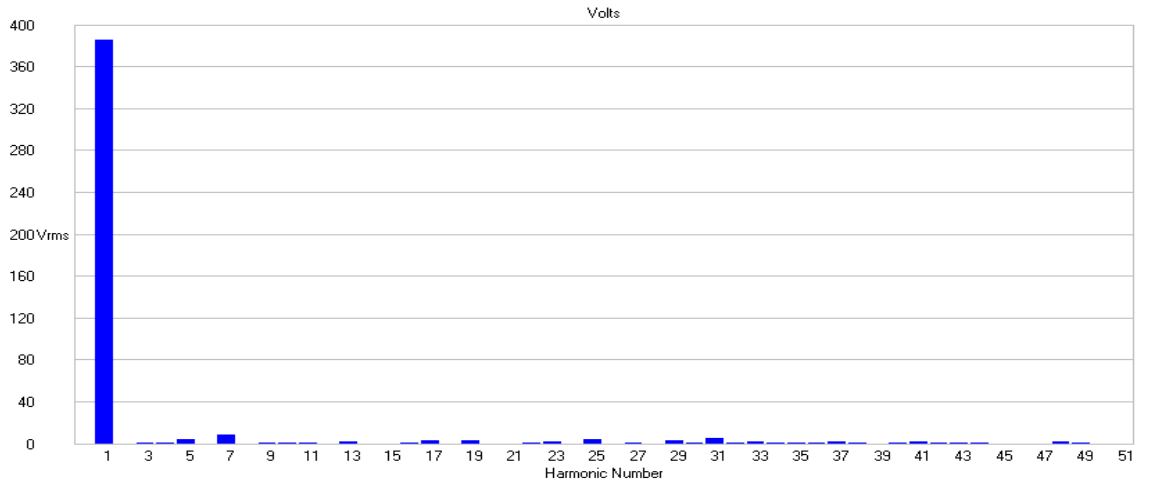


Şekil 3. 35 Kompanzasyon devre dışı iken spektrum



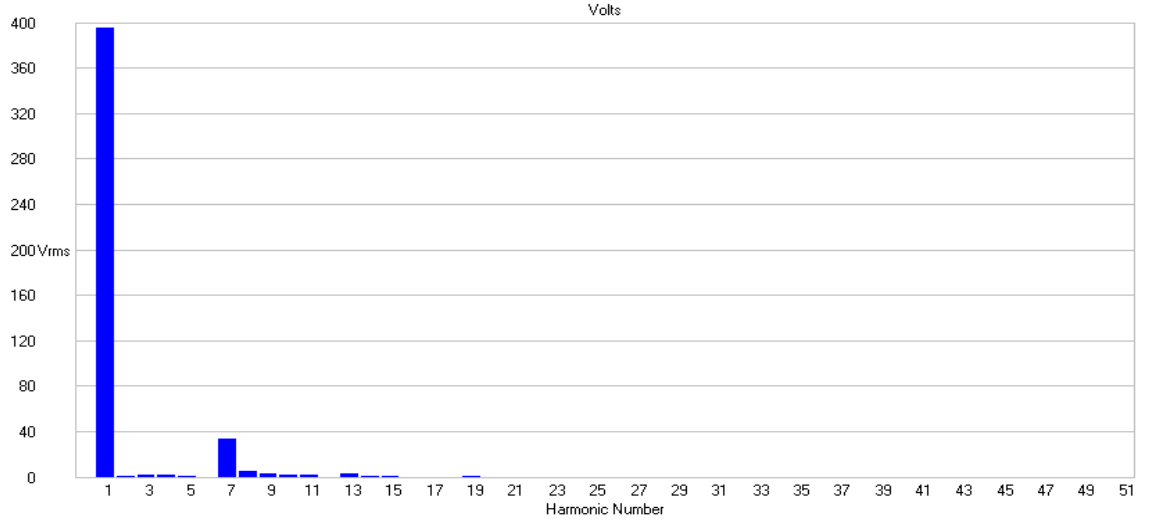
Şekil 3. 36 Kompanzasyon devrede iken spektrum

Sistemin THD_V spekturumu kompanzasyon devrede değil iken Şekil 3.37'deki gibi olmaktadır.



Şekil 3. 37 Kompanzasyon devre dışı iken THD_V spektrum

Sistemin THD_V spekturumu kompanzasyon devrede iken Şekil 3.38 deki gibi olmaktadır.



Şekil 3. 38 Kompanzasyon devrede iken THD_V spektrum

Transformatör sekonderinde yapılan ölçümler neticesinde, kompanzasyon sistemi devre dışı iken Toplam Harmonik Akım Bozulması (THD_I) % 8,4 seviyelerinden, kompanzasyon sistemi devreye girdiğinde % 40,8 seviyelerine çıkmaktadır. Aynı şekilde, kompanzasyon sistemi devre dışı iken Toplam Harmonik Gerilim Bozulması (THD_V) % 3,8 seviyelerinden, kompanzasyon sistemi devreye girdiğinde % 8,7 seviyelerine çıkmaktadır. Buradan, harmoniklerin sistemde mevcut olan kompanzasyon amacıyla kullanılan kondansatörler ile rezonansa girdiği, kondansatör grupları ile transformatör arasında yüksek frekanslarda salınım başladığı ve harmoniklerin sisteme zarar verebilecek seviyelere ulaştığı tespit edilmiştir.

Sistemde mevcut olan kompanzasyon sistemi yerine, yüksek seviyelerdeki harmoniklere dayanabilecek, harmoniklerde yaşanan rezonansı bastıracak ve uygun akort değerinde yapılacak filtreleme ile toplam harmonik bozulmalarını tehlikeli seviyelerin altına indirecek pasif harmonik filtreli kompanzasyon sistemi tesis edilmelidir.



Şekil 3. 39 Harmonik reaktörlü kompanzasyon panosu iç görünüş -1



Şekil 3. 40 Harmonik reaktörlü kompanzasyon panosu iç görünüş -2



Şekil 3. 41 Harmonik reaktörlü kompanzasyon panosu iç görünüş -3

3.10.2 Aktif Filtreli Kompanzasyon Sistemleri

Bu sistemler pasif harmonik filtreleme sistemlerine göre maliyeti daha yüksektir. Sistem şebekede var olan harmonikleri tespit eder ve bu harmoniklerin 180 derece tersini şebekeye enjekte eder. İlerleyen zamanda sistemin harmonik frekansı değişse bile sistem bu harmonikleri algıladığı sürece işlemine başarı ile gerçekleştirir. Aktif filtrenin genel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

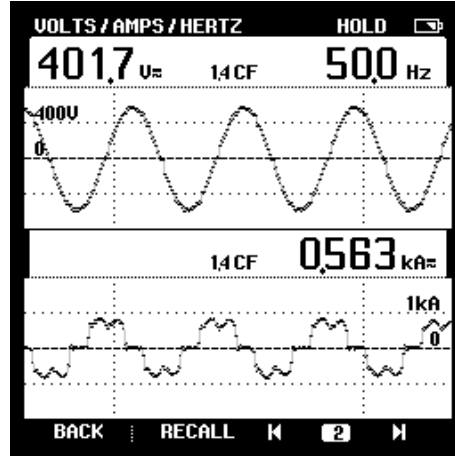
- 50. Harmoniğe kadar Otomatik Harmonik Akımlarının kompanzasyonu

- 25. Harmoniğe kadar programlanabilir Harmonik Eleminasyonu
- Temel Reaktif gücün kompanzasyonu
- Akım dalga şeklinden ve Faz açısından bağımsız çalışma
- Dengeli veya dengesiz yükten bağımsız çalışma
- Akım yönünden bağımsız çalışma
- Şebeke geriliminin kalitesinden bağımsız çalışma
- Sistem empedansından bağımsız çalışma
- Yük değişimine karşı çok dinamik cevap zamanı (<1 ms)
- Ripple kontrol sinyalinden etkilenmeme
- Dâhili akım sınırlama
- LCD Harmonik Analiz ekranı

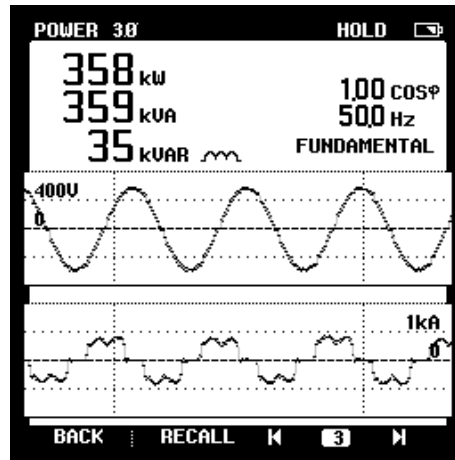
3.10.2.1 Aktif Filtreli Kompanzasyon Sistemi Örnek Uygulama

Aktif filtre özel bir makineye lokal olarak kompanze edecek ve harmonik akımlarını sınırlayacaktır. Bu nedenle makine ana şalterinden gerçekleştirilen ölçümlerle harmonik analizi yapılmıştır.

Şebekeden ortalama 540 A mertebesinde akım çekilmekte iken ve bu durumda şebekeden çekilen, toplam aktif güç 358 kW, toplam reaktif güç 35 kVAr olmaktadır. Bu yük durumunda iken $\cos\phi$ ortalama 1,00 mertebelerindedir (Şekil 3. 42 ve Şekil 3. 43).

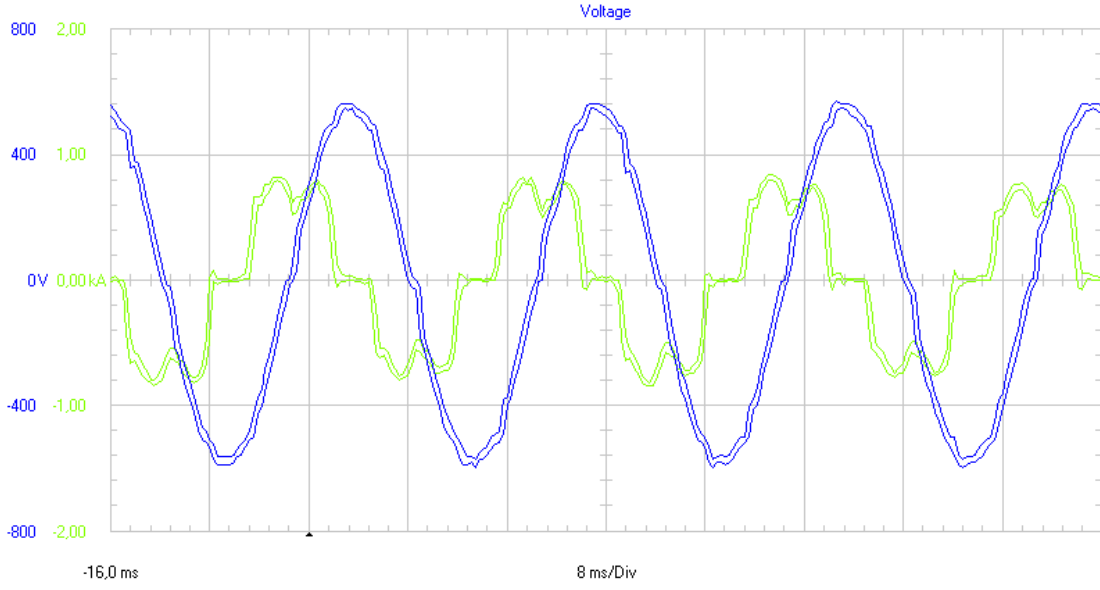


Şekil 3. 42 Aktif filtre devrede değil iken akım ve gerilim değerleri



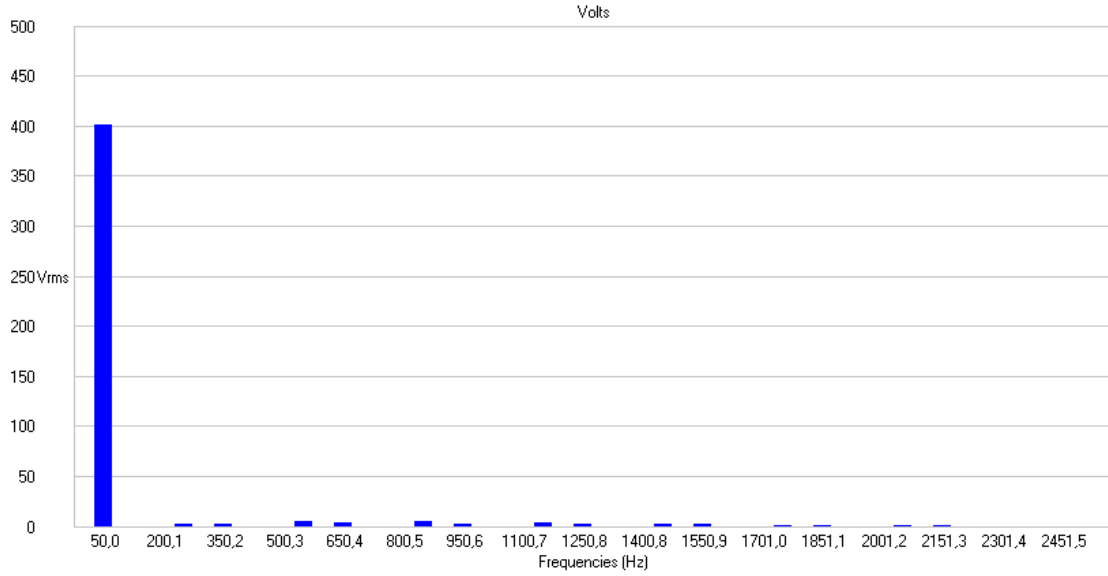
Şekil 3. 43 Aktif filtre devrede değil iken aktif, reaktif ve görünür güç

Ölçümlerde cihaz 540A mertebelerinde çalışırken alınan ölçümlerde akım ve gerilim dalga şekilleri Şekil 3.44'te gösterilmiştir.



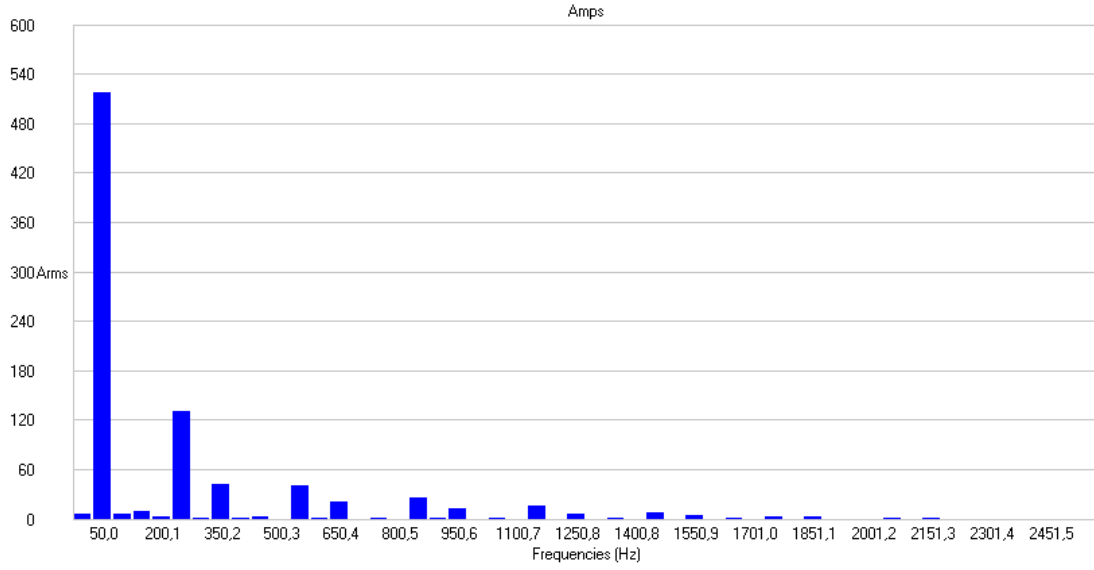
Şekil 3. 44 Akım ve gerilim dalga şekilleri (Aktif filtre devrede değil)

360kW değerinde THD_V spektrumu Şekil 3.45'teki gibidir. THD_V değeri Şekil 3.45'ten %3 olarak gözükmemektedir.



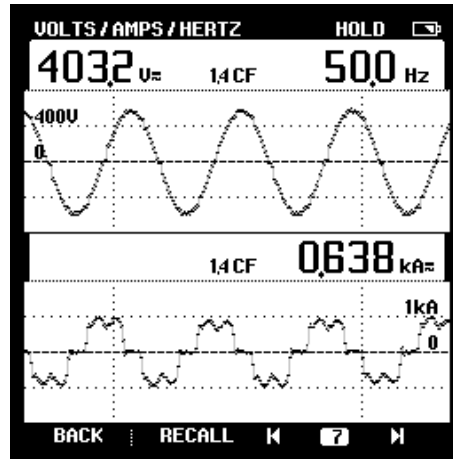
Şekil 3. 45 360kW değerinde THD_V spektrumu (Aktif filtre devrede değil)

360kW değerinde THD_I spektrumu Şekil 3.46 gibidir. THD_I değeri Şekil 3.46'ten %27,8 olarak gözükmemektedir.

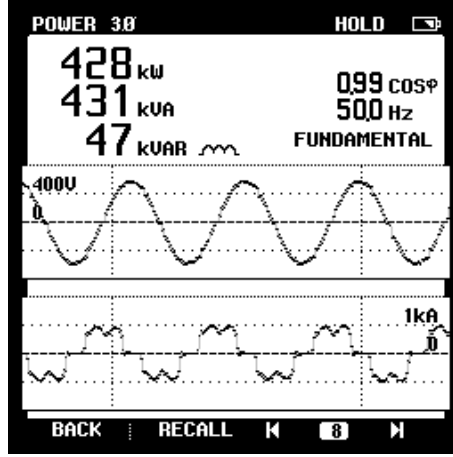


Şekil 3. 46 360kW değerinde THD_i spektrumu (Aktif filtre devrede değil)

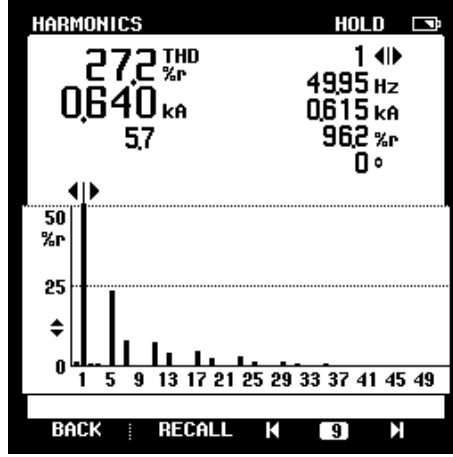
Şebekeden ortalama 640 A mertebesinde akım çekilmekte iken ve bu durumda şebekeden çekilen, toplam aktif güç 428 kW, toplam reaktif güç 47 kVar olmaktadır. Bu yük durumunda iken Cosφ ortalama 0,99 mertebelerindedir (Şekil 3.47 ve 3. 48).



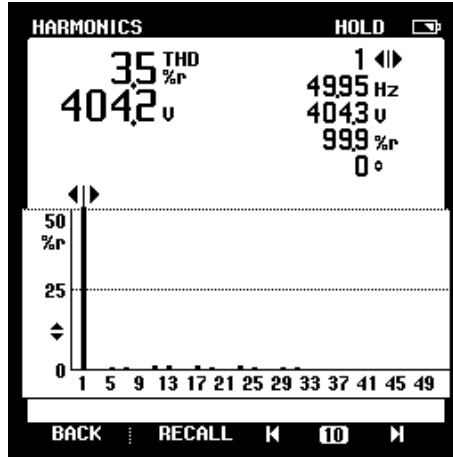
Şekil 3. 47 640A değerinde elektriksel büyüklükler (Aktif filtre devrede değil)



Şekil 3. 48 640A değerinde aktif, reaktif, görünür güç ve güç faktörü (Aktif filtre devrede değil)

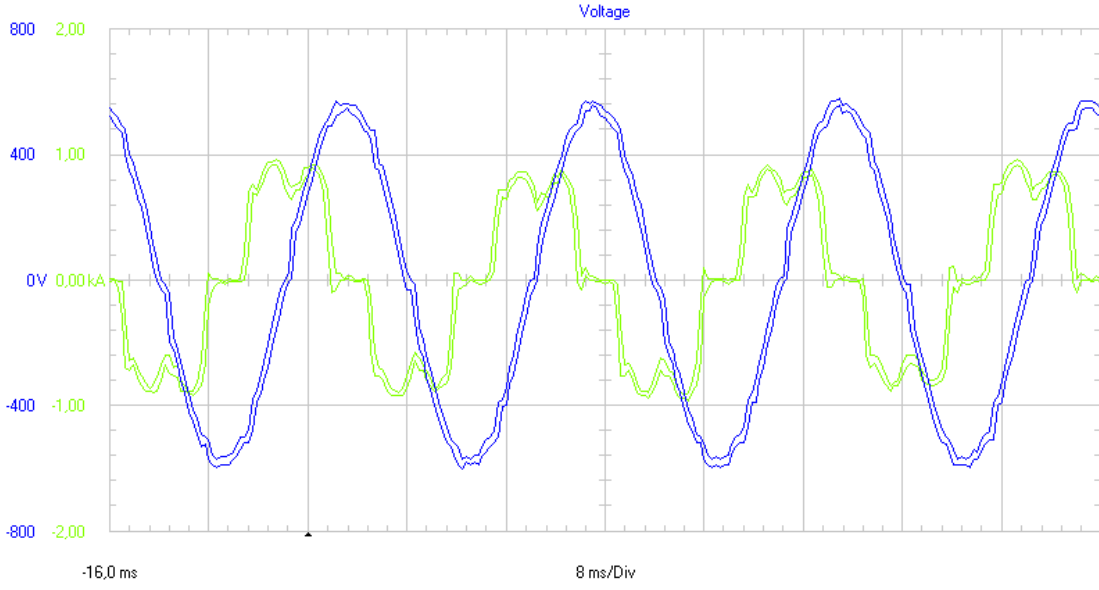


Şekil 3. 49 640A değerinde ölçülen THD_I (Aktif filtre devrede değil)



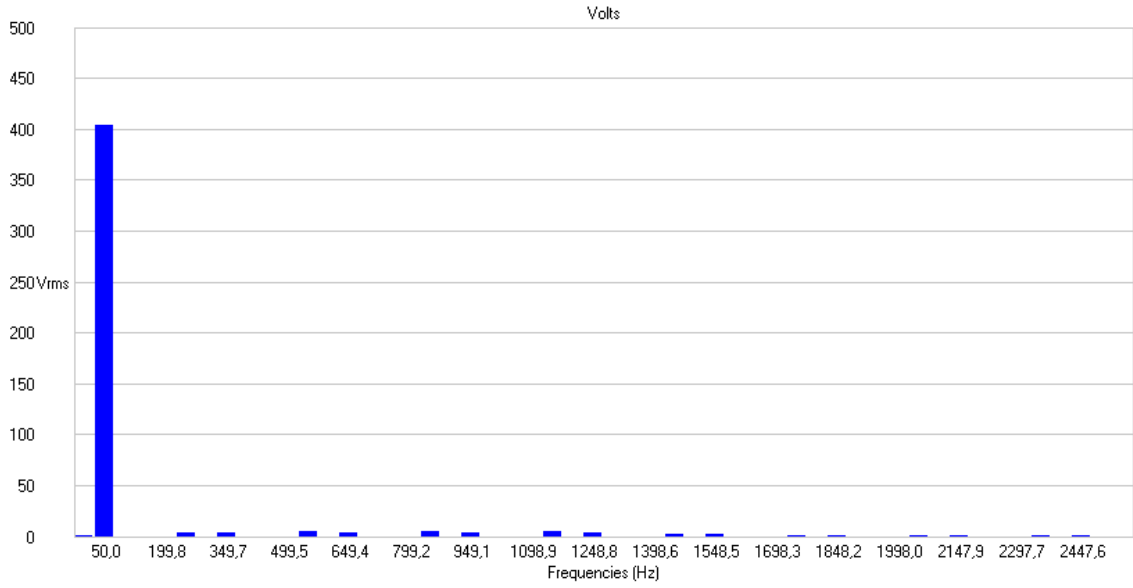
Şekil 3. 50 640A değerinde ölçülen THD_V (Aktif filtre devrede değil)

Ölçümlerde cihaz 640A mertebelerinde çalışırken alınan ölçümlerde akım ve gerilim dalga şekilleri Şekil 3. 51’da gösterilmiştir.



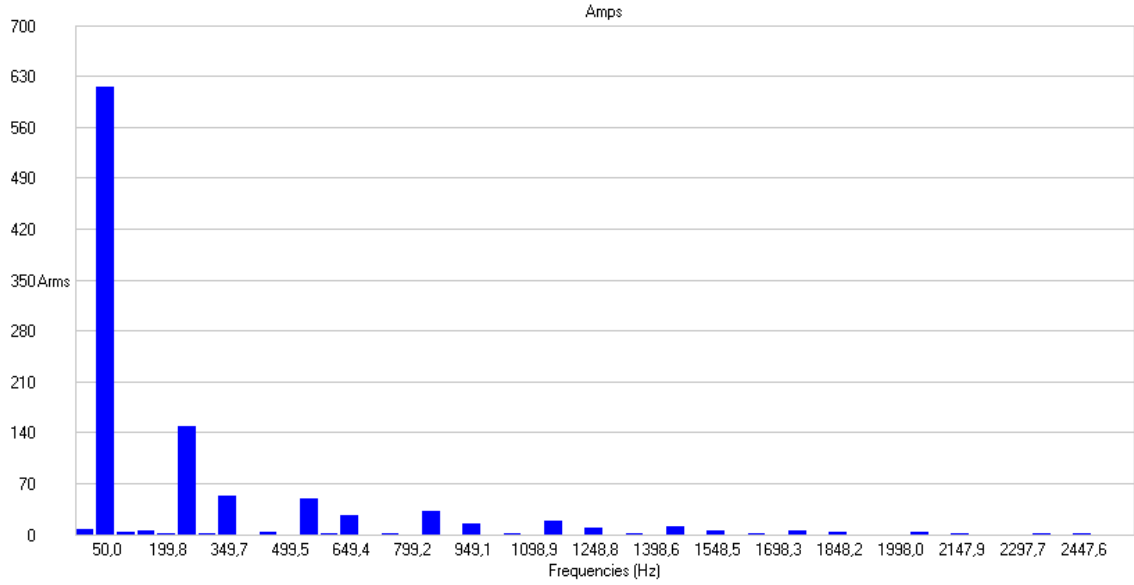
Şekil 3. 51 640A değerinde ölçülen elektriksel büyüklükler (Aktif filtre devrede değil)

430kW değerinde THD_V spektrumu Şekil 3.52'deki gibidir. THD_V değeri Şekil 3.50'den %3,5 olarak gözükmemektedir.



Şekil 3. 52 640A değerinde ölçülen THD_V (Aktif filtre devrede değil)

430kW değerinde THD_I spektrumu Şekil 3.53'teki gibidir. THD_I değeri Şekil 3.51'den %27,2 olarak gözükmemektedir.



Şekil 3. 53 640A değerinde ölçülen THD_i (Aktif filtre devrede değil)

Harmonik spektrumları incelendiğinde makinenin ciddi bir harmonik kaynağı olduğu rahatlıkla söylenebilir. Her iki yük durumunda da THD_i değeri oldukça yüksek bir değerdedir.

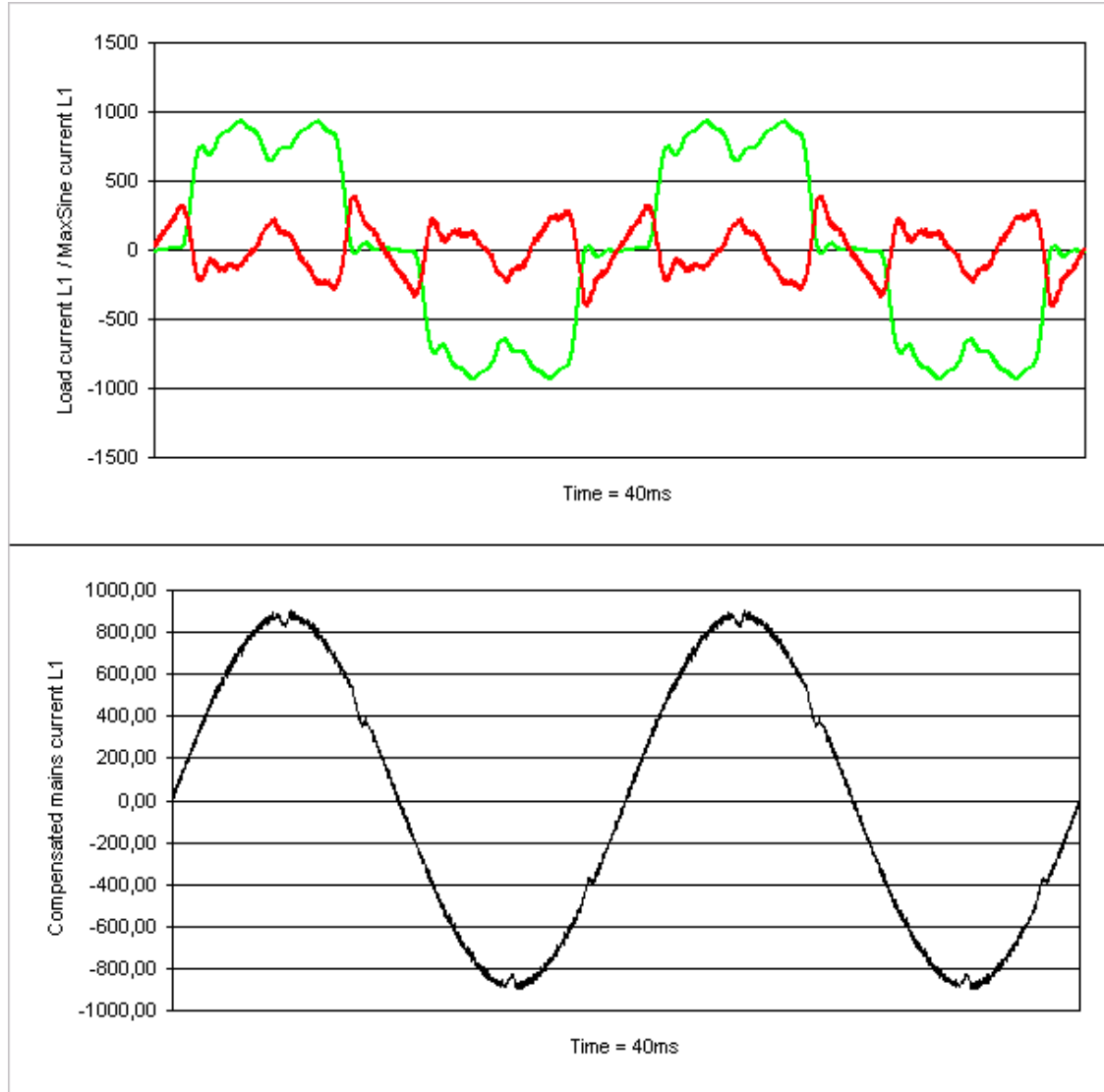
THD_i değerini %5i geçmeyecek şekilde bir tasarım yapmak gereklidir.

Nominal güçte makineye ait aktif filtre kullanılması durumunda harmonik bozulmanın ve akım seviyesinin en yüksek değerleri için aktif filtre simülasyonu yapılmalıdır.

Çizelge 3. 5 Nominal güç değerleri

Bileşen	I_{rms}	Faz Açısı
1	616	0
5	150	174
7	53	-136
11	49	17
13	28	22
17	32	-164
19	15	-159
23	19	0

Bu bileşenleri tamamen yok edecek şekilde bir harmonik eliminasyonu Şekil 3.54 deki eğrileri elde ederiz. Burada yeşil renkli akım eğrisi makinenin çektiği akım, kırmızı renkli akım eğrisi aktif filtrenin şebekeye enjekte ettiği akım, bu iki akımın toplamı ise siyah renkli olarak gösterilmiştir. Simülasyon ACT-Maxsine ile yapılmıştır.



Şekil 3. 54 Yük akımı, aktif filtre akımı ve toplam akım (Aktif filtre devrede)

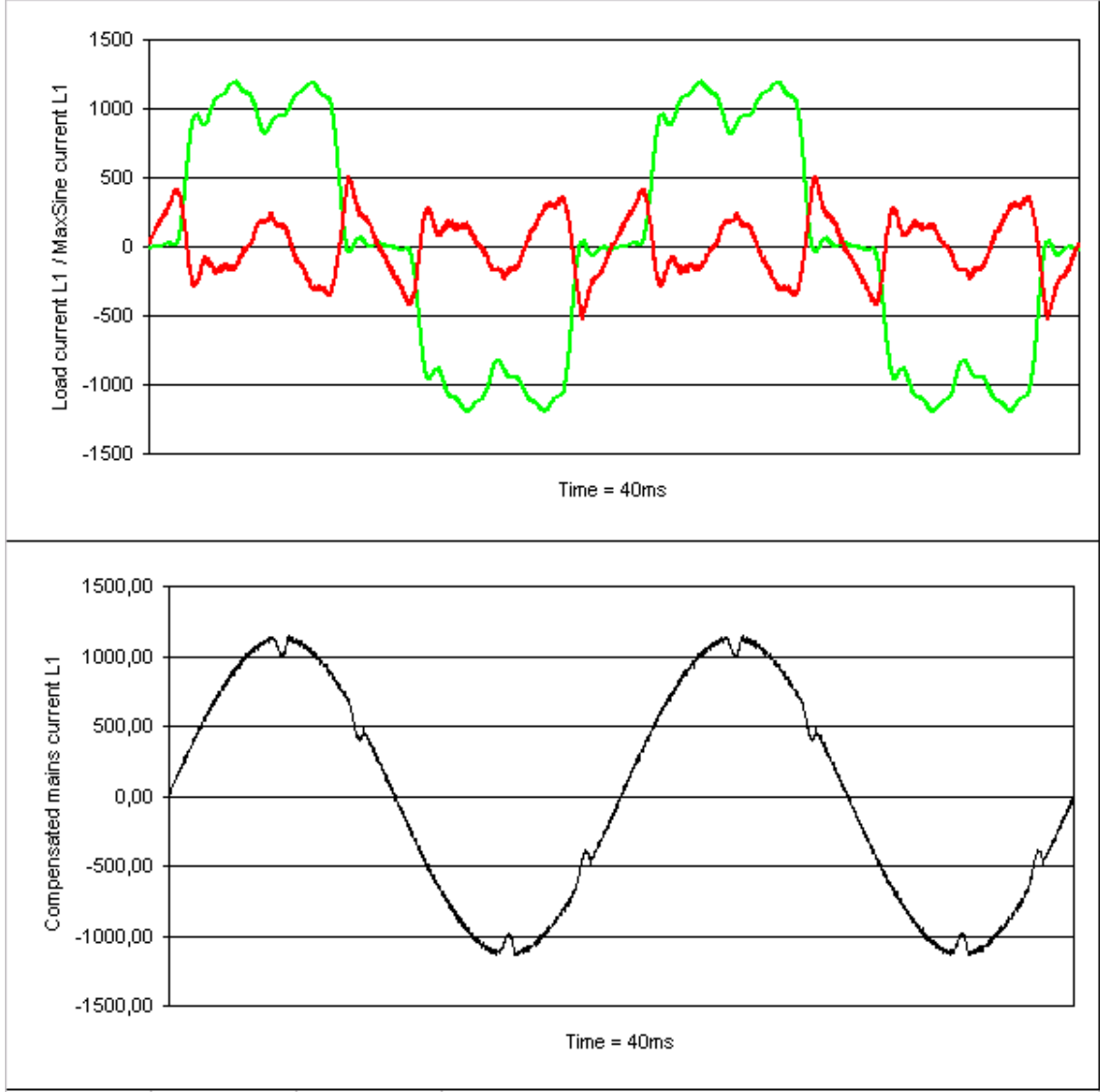
Aktif filtre devrede değil iken sistemin THD_i değeri 27,1% idi. Aktif filtre ile sistem simülasyonu sonucunda bu değer 2,9% ye indirilmiştir.

İlerleyen zamanda nominal gücün %28 arttığı kabul edilerek aktif filtre kullanılması durumunda aktif filtre simülasyonu yapılması durumunda parametreler Çizelge 3.6 da belirtilmiştir.

Çizelge 3. 6 Nominal gücün 28% artması durumunda değerleri

Bileşen	Irms	Faz Açısı
1	789	0
5	192	174
7	68	-136
11	63	17
13	36	22
17	41	-164
19	19	-159
23	25	0

Bu bileşenleri tamamen yok edecek şekilde bir kompanzasyon yapmak istediğimizde Şekil 3.55 deki eğrileri elde ederiz. Burada yeşil renkli akım eğrisi makinenin çektiği akım, kırmızı renkli akım eğrisi aktif filtrenin şebekeye enjekte ettiği akım, bu iki akımın toplamı ise siyah renkli olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. 55 Yük akımı, aktif filtre akımı ve toplam akım (28% artmış durumda iken)
(Aktif filtre devrede)

Aktif filtre devrede değil iken sistemin THD_i değeri 27,1% idi. Aktif filtre ile sistem simülasyonu sonucunda bu değer 3,6% ye indirilmiştir.

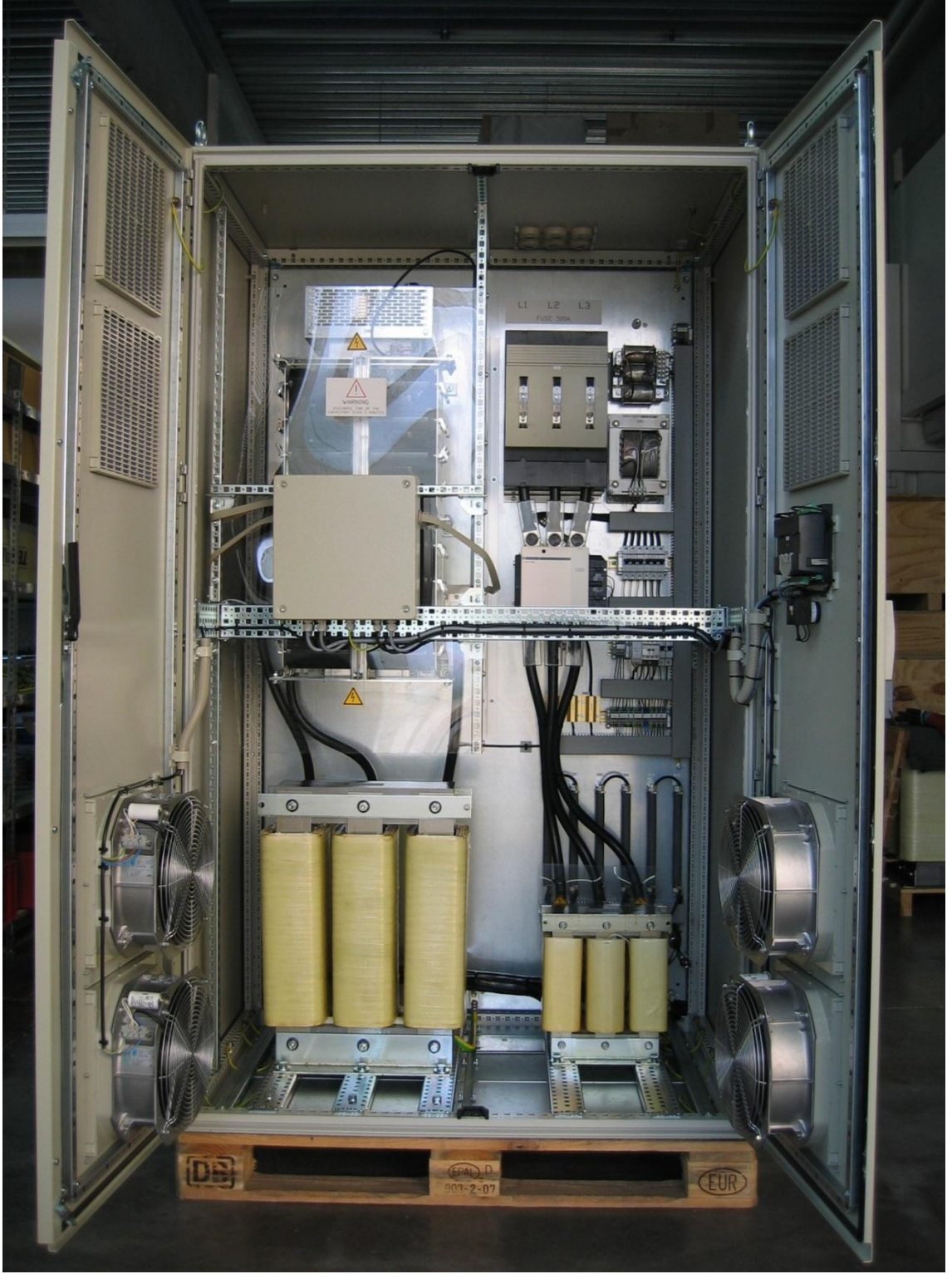
Hem ölçümler hem de simülasyon sonuçları makinenin ana şalterinde uygulanması gereken Şönt Aktif Filtrenin hedeflenen maksimum % 5 bozulma seviyesinin sağlanabilmesi açısından 400 Amper olması gerektiğini göstermektedir.

Uygulamanın güvenliği, aktif filtrenin anti harmonik akım üreterek sisteme bağlandığı noktadan geri basması esnasında basılan yüksek frekanslı harmonik akımlarının ihtiyaçtan fazla olması ve işletmede makinelerin aşırı harmonik akımları ile yüklenmesi açısından değerlendirilmeli, uygulanacak olan aktif filtre ile her bir harmonik frekansı

ayrı ayrı kontrol altında tutulabilmeli, sistem ve aktif filtre her türlü rezonansa ve aşırı yüklenmelere karşı korumalı olmalıdır. Böylece Aktif Filtreden en yüksek verim en yüksek güvenlikte alınmış olunacaktır. Bu sebeple, simülasyonu yapılan 400 A/faz (maksimum akım 600A/faz) kapasiteli aktif filtre ile sistemde harmonik kaynaklı yaşanması muhtemel arızalar ve beklenmedik duruşlar ortadan kalkacak, uzun süreli, güvenli ve kesintisiz kaliteli enerji odaklı çalışacaktır.



Şekil 3. 56 Aktif filtre ön görünüş



Şekil 3. 57 Aktif filtre iç görünüşü

KOMPANZE EDİLMİŞ BİR SİSTEMDE YÜK AKIŞI

4.1 Giriş

Elektrik güç sistemleri tasarlanırken güvenlik her zaman en ön plandadır. Aynı zamanda enerjinin kesintisiz, güvenli ve kaliteli olması da istenir. Bu nedenden ötürü enerji sistemleri tasarlanırken, kaliteli bir enerji için yük akışı mutlaka yapılmalıdır.

Bu bölümde, bir enerji sistemi için kompanzasyonun devrede olmadığı durum için yük akış analizi ve maliyet analizi yapılacaktır. Öte yandan sistemin kompanze edildiği durum için yük akış ve maliyet analizi yapılarak elde edilen bilgiler ışığında sonuçlar değerlendirilecektir.

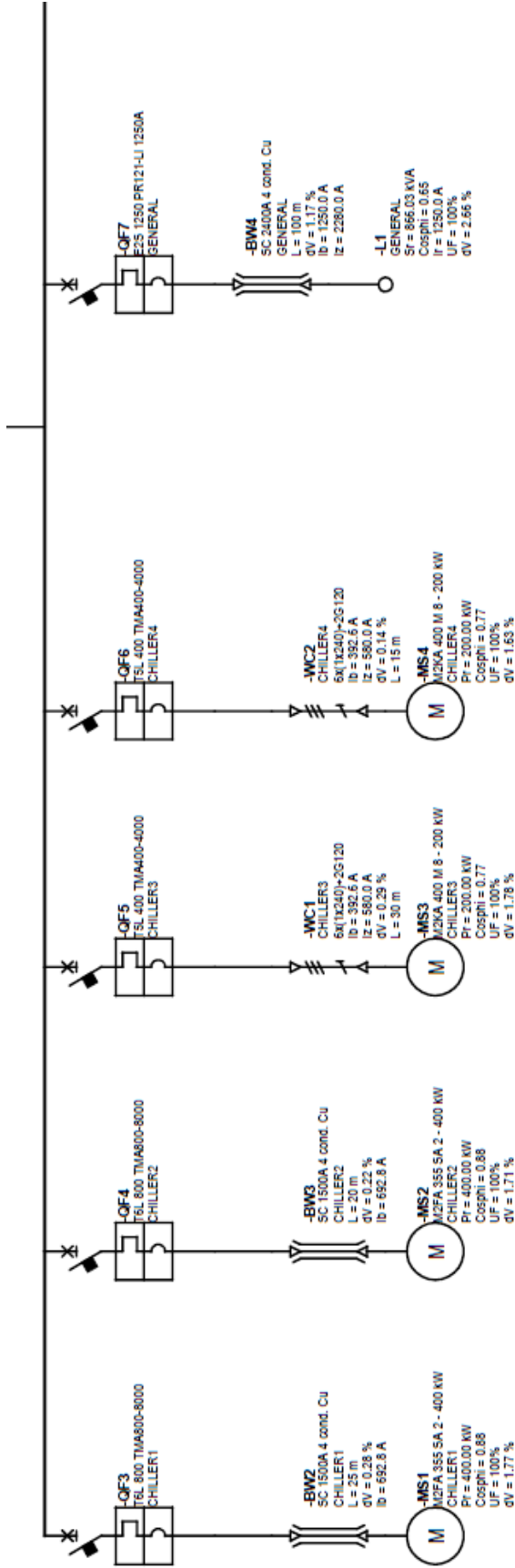
4.2 Yük Akışı Yapılacak Tek Hat Şeması

Kompanzasyon sistemleri, bilindiği üzere kullanıcıların reaktif gücünü şebekeden izole etmek için kullanılmaktadır

Şekil 4.1 de tek hat şeması verilen sistem kısaca şu şekilde özetlenebilir: 2500kVA transformatörden beslenen 2 adet 400kW, 2 adet 200kW Chiller ünitesi ile 1250A çeken genel yükü beslemektedir.

Çizelge 4. 1 Yükler

Ünite	Nominal Güç	Nominal Akım	cosφ
Chiller	400kW	693A	0,88
Chiller	400kW	693A	0,88
Chiller	200kW	393A	0,77
Chiller	200kW	393A	0,77
Genel Yükler	535kW	1250A	0,65



Şekil 4. 1 Tek hat şeması

4.2.1 Yük Akış Analizi

4.2.1.1 Kompanzasyon Sistemi Bulunmayan şebekenin Yük Akış Analizi

Ek-1 de verilen yük akış analizinde ana barada oluşan değerler şu şekildedir.

Çizelge 4. 2 Kompanze edilmemiş sistemin yük akış analiz sonuçları

Gerilim	394 V
Akım	3376 A
G Faktörü	0,79
Ana bara kısa devre gücü	81,4kA
Aktif Güç	1826,5kW
Reaktif Güç	1461,2kVar

4.2.1.2 Kompanzasyon Sistemi Bulunan şebekenin Yük Akış Analizi

1460kVar kompanzasyon eklenmiş durumu için Ek-2 de verilen yük akış analizinde ana barada oluşan değerler şu şekildedir.

Çizelge 4. 3 Kompanze edilmiş sistemin yük akış analiz sonuçları

Gerilim	398,2 V
Akım	2636 A
G Faktörü	1,00
Ana bara kısa devre gücü	81,4kA
Aktif Güç	1826,5kW
Reaktif Güç	1,2kVar

4.2.2 Maliyet Analizi

4.2.2.1 Kompanzasyon Sistemi Bulunmayan Şebekenin Maliyet Analizi

Kompanzasyon sistemi bulunmayan yukarıda yük akış analizi yapılmış olan sistemde kullanılacak panoların maliyeti ve malzeme dökümü aşağıdaki gibi olmaktadır.

Çizelge 4. 4 Kompanze edilmemiş sistemin AG pano malzeme dökümü ve maliyeti

TR-ADP				9.726 €
Saç pano dikili tip 800x2200x800mm RAL 7035	ANELSİS	1	ad.	
Montaj İşçiliği 800x2200mm boyutlarında ADP	ANELSİS	1	set	
Bakır bara (Elektrolitik)		412	kg	
TM Şalter 4000A 66kA WLII	SIEMENS	1	ad.	
Motor Tahrik Mekanizması AC208-240V/DC220-250V	SIEMENS	1	ad.	
Açtırma bobini (3WL için) AC208-240V/DC220-250V	SIEMENS	1	ad.	
Kapama bobini (3WL için) AC208-240V/DC220-250V	SIEMENS	1	ad.	
Kumanda Devresi Priz (X5,X7,X8)	SIEMENS	1	ad.	
Yardımcı Kontak 2NO+2NC	SIEMENS	1	ad.	
Kapamaya hazır kontak	SIEMENS	1	ad.	
Trip ihbar kontağı	SIEMENS	1	ad.	
Şalter kapı oyma çerçevesi, (3WL IP55 için)	SIEMENS	1	ad.	
Yay kuruldu kontağı	SIEMENS	1	ad.	
Akım transformatörü 0.72kV, 50Hz 4000/5A cl:0,5 30VA	Alce	3	ad.	
REMO-EA (Baz Model+ RS485)	KLEMSAN	1	ad.	
Komple Sinyal Lambaları 230VAC Yeşil (Ledli)	CHiNT	3	ad.	
Minized Sigorta 10x38 boy 1x32A gövde	Ferraz Shawmut	6	ad.	
Minized Sigorta buşonu 10x38 boy 6A	Ferraz Shawmut	6	ad.	

ADP				20.227 €
Saç pano dikili tip 800x2200x800mm RAL 7035	ANELSİS	2	ad.	
Saç pano dikili tip 450x2200x800mm RAL 7035	ANELSİS	3	ad.	
Montaj İşçiliği 800x2200mm boyutlarında ADP	ANELSİS	2	set	
Montaj İşçiliği 450x2200mm boyutlarında ADP	ANELSİS	3	set	
Bakır bara (Elektrolitik)		910	kg	
TM Şalter 4000A 66kA WLII	SIEMENS	1	ad.	
TM Şalter 1250A 70kA VL1250, ETU20	SIEMENS	1	ad.	
TM Şalter 800A 70kA VL800, ETU20	SIEMENS	2	ad.	
TM Şalter 400A 70kA VL400	SIEMENS	2	ad.	
Motor Tahrik Mekanizması AC208-240V/DC220-250V	SIEMENS	1	ad.	
Açtırma bobini (3WL için) AC208-240V/DC220-250V	SIEMENS	1	ad.	
Kapama bobini (3WL için) AC208-240V/DC220-250V	SIEMENS	1	ad.	
Kumanda Devresi Priz (X5,X7,X8)	SIEMENS	1	ad.	
Yardımcı Kontak 2NO+2NC	SIEMENS	1	ad.	
Kapamaya hazır kontak	SIEMENS	1	ad.	
Trip ihbar kontağı	SIEMENS	1	ad.	
Şalter kapı oyma çerçevesi, (3WL IP55 için)	SIEMENS	1	ad.	
Yay kuruldu kontağı	SIEMENS	1	ad.	
Akım transformatörü 0.72kV, 50Hz 4000/5A cl:0,5 30VA	Alce	6	ad.	
REMO-EA (Baz Model+ RS485)	KLEMSAN	1	ad.	
Komple Sinyal Lambaları 230VAC Yeşil (Ledli)	CHiNT	3	ad.	
Minized Sigorta 10x38 boy 1x32A gövde	Ferraz Shawmut	6	ad.	
Minized Sigorta buşonu 10x38 boy 6A	Ferraz Shawmut	6	ad.	

4.2.2.2 Kompanzasyon Sistemi Bulunan Şebekenin Maliyet Analizi

Kompanzasyon pano eklenerek yük akışı yapılmış olan sistemde kullanılacak panoların maliyeti ve malzeme dökümü aşağıdaki gibi olmaktadır.

Çizelge 4. 5 Kompanze edilmiş sistemin AG pano malzeme dökümü ve maliyeti

TR-ADP - 1				7.785 €
Saç pano dikili tip 800x2200x800mm RAL 7035	ANELSİS	1	ad.	
Montaj İşçiliği 800x2200mm boyutlarında ADP	ANELSİS	1	set	
Bakır bara (Elektrolitik)		330	kg	
TM Şalter 3200A 66kA WLII	SIEMENS	1	ad.	
Motor Tahrik Mekanizması AC208-240V/DC220-250V	SIEMENS	1	ad.	
Açtırma bobini (3WL için) AC208-240V/DC220-250V	SIEMENS	1	ad.	
Kapama bobini (3WL için) AC208-240V/DC220-250V	SIEMENS	1	ad.	
Kumanda Devresi Priz (X5,X7,X8)	SIEMENS	1	ad.	
Yardımcı Kontak 2NO+2NC	SIEMENS	1	ad.	
Kapamaya hazır kontak	SIEMENS	1	ad.	
Trip ihbar kontağı	SIEMENS	1	ad.	
Şalter kapı oyma çerçevesi, (3WL IP55 için)	SIEMENS	1	ad.	
Yay kuruldu kontağı	SIEMENS	1	ad.	
REMO-EA (Baz Model+ RS485)	KLEMSAN	1	ad.	
Akım transformatörü 0.72kV, 50Hz 3000/5A cl:0,5 30VA	Alce	3	ad.	
Komple Sinyal Lambaları 230VAC Yeşil (Ledli)	CHiNT	3	ad.	
Minized Sigorta 10x38 boy 1x32A gövde	Ferraz Shawmut	6	ad.	
Minized Sigorta buşonu 10x38 boy 6A	Ferraz Shawmut	6	ad.	

ADP - 1				18.477 €
Saç pano dikili tip 800x2200x800mm RAL 7035	ANELSİS	2	ad.	
Saç pano dikili tip 450x2200x800mm RAL 7035	ANELSİS	3	ad.	
Montaj İşçiliği 800x2200mm boyutlarında ADP	ANELSİS	2	set	
Montaj İşçiliği 450x2200mm boyutlarında ADP	ANELSİS	3	set	
Bakır bara (Elektrolitik)		850	kg	
TM Şalter 3200A 66kA WLII	SIEMENS	1	ad.	
TM Şalter 1250A 70kA VL1250, ETU20	SIEMENS	1	ad.	
TM Şalter 800A 70kA VL800, ETU20	SIEMENS	2	ad.	
TM Şalter 400A 70kA VL400	SIEMENS	2	ad.	
Motor Tahrik Mekanizması AC208-240V/DC220-250V	SIEMENS	1	ad.	
Açtırma bobini (3WL için) AC208-240V/DC220-250V	SIEMENS	1	ad.	
Kapama bobini (3WL için) AC208-240V/DC220-250V	SIEMENS	1	ad.	
Kumanda Devresi Priz (X5,X7,X8)	SIEMENS	1	ad.	
Yardımcı Kontak 2NO+2NC	SIEMENS	1	ad.	
Kapamaya hazır kontak	SIEMENS	1	ad.	
Trip ihbar kontağı	SIEMENS	1	ad.	
Şalter kapı oyma çerçevesi, (3WL IP55 için)	SIEMENS	1	ad.	
Yay kuruldu kontağı	SIEMENS	1	ad.	
REMO-EA (Baz Model+ RS485)	KLEMSAN	1	ad.	
Akım transformatörü 0.72kV, 50Hz 3000/5A cl:0,5 30VA	Alce	6	ad.	
Komple Sinyal Lambaları 230VAC Yeşil (Ledli)	CHiNT	3	ad.	
Minized Sigorta 10x38 boy 1x32A gövde	Ferraz Shawmut	6	ad.	
Minized Sigorta buşonu 10x38 boy 6A	Ferraz Shawmut	6	ad.	

4.3 Kompanzasyonun Maliyet Analizi

Tek hat şemasına göre 1460kVar harmonik reaktörlü kompanzasyon yapılması kompanzasyon panosunun malzeme seçimi ve maliyeti şu şekilde oluşmaktadır.

Çizelge 4. 6 Kompanzasyon panosu malzeme dökümü ve maliyeti

KOMPANZASYON PANOSU				15.076 €
Saç pano dikili tip 800x2200x800mm RAL 7035	ANELSİS	4	ad.	
Montaj İşçiliği 800x2200mm boyutlarında ADP	ANELSİS	4	set	
Bakır bara (Elektrolitik)		200	kg	
REMO-Q (Baz Model)	KLEMSAN	1	ad.	
Minized Sigorta 10x38 boy 1x32A gövde	Ferraz Shawmut	7	ad.	
Minized Sigorta buşonu 10x38 boy 6A	Ferraz Shawmut	7	ad.	
Havalandırma Fanlı Filtreli Izgara 250x250x115mm	QUICK	4	ad.	
1 N/C Kontak Termostat (Soğutma)	ROSE	1	ad.	
Komple Sinyal Lambaları 230VAC Yeşil (Ledli)	CHiNT	12	ad.	
NH - Bıçaklı sigortalı yük kesici Boy:00 160A	APATOR	29	ad.	
NH 00 Buşon 125A	SIEMENS	87	ad.	
Kontaktör kondansatör için 50 kVar	SIEMENS	29	ad.	
Kondansatör reaktörü 50 kVar için %7	Elektra	29	ad.	
Kondansatör 25 kVar, 440VAC	Elektra	58	ad.	
Komple Sinyal Lambaları 230VAC Yeşil (Ledli)	CHiNT	3	ad.	
Minized Sigorta 10x38 boy 1x32A gövde	Ferraz Shawmut	3	ad.	
Minized Sigorta buşonu 10x38 boy 6A	Ferraz Shawmut	3	ad.	

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji kalitesi üzerinde çalışılmış olan bu tezde, ağırlıklı olarak harmoniklerin eliminasyonu, reaktif güç kompanzasyonu, kompanzasyonlu ve kompanzasyonsuz sistemin yük akış analizi yapılmıştır. Daha sonra yük akış analizi yapılan sistemlerin maliyet karşılaştırılmasına detaylı bir şekilde değinilmiştir.

Harmonik içeren şebeke için yapılan kompanzasyonlu ve kompanzasyonsuz kısa devre analizinde panolar için maliyet tablosu aşağıdaki gibi oluşmaktadır.

Çizelge 5. 1 Maliyet analiz tablosu

	KOMPAZASYON ÖNCESİ	KOMPAZASYON SONRASI
TR-ADP	9,726 €	7,785 €
ADP	20,227 €	18,477 €
KOMPAZASYON PANOSU	0 €	15,076 €
TOPLAM	29,953 €	41,338 €

Maliyet tablosundan açıkça görüleceği üzere, TR-ADP ve ADP panolarının fiyatlarında düşüş olmuştur. Bunun nedeni, transformatör çıkış şalterinin 4000A den 3200A'e düşmesidir. Öte yandan, bu şalterleri gireceği panolarda ana bara akımları da şalterlerin akımları ile doğru orantılı olarak düşmektedir. Bu nedenden ötürü dağıtım panoları daha ekonomik olmuştur.

Fakat toplamda, ek bir kompanzasyon panosu geldiği için kompanzasyonlu sistem daha pahalıya gelmektedir.

Ancak unutulmaması gereken diğ er bir konu, TR-ADP panosundan çıkan busbar modülü ve busbar sistemi ile bu busbar sisteminin bağlandığı ADP panosu busbar modülü, yapılan analizde aynı olduğu kabul edilmiştir. Taşınan ana akımdaki bu düşüşten dolayı da hem pano giriş-çıkışlarındaki busbar modülleri, hem de 50m boyunca kullanılacak olan busbar sistemi fiyatı da daha ekonomik olacaktır. Böylece, aradaki yaklaşık 11000  luk fark daha az olacaktır.

Bu şekilde çok cüzi bir fark ile daha kaliteli bir enerji kullanılmış olacak, harmonik ve reaktif ceza durumu söz konusu olmadan işletme sağlanabilecektir. Enerji kaliteli bir şekilde tüketicie yansıdığı için tüketicisi tarafındaki muhtemel arıza riski de olabildiğince azaltılmış olacaktır.

Yapılan analizde elektriksel veriler incelendiğinde açıkça gözükmektedir ki, ana barada gerilim düşümü kompanzasyonun olması durumunda azalmaktadır.

Bununla beraber, ana baradan çekilen akım 740A azalmıştır. Bu durum, hat kayıplarını ve kullanılacak kablo kesitini düşürmektedir. Gerilim düşümü ve kablo kesitlerinin azalması ekte verilen dosyalarda açıkça ifade edilmiştir.

Kompanzasyon yapılmasıyla aktif güç sabit olmakla beraber, yüklerin reaktif güç ihtiya ı kompanzasyondan sağlanmaktadır.

Fakat ana barada gözüken $I_{SC-max} = 81,4kA$ değeri kompanzasyonlu ve kompanzasyonsuz sistemde sabit kalmaktadır. Bu durum, kısa devre akımlarının aktif g  e yani akımın aktif bileşenine bağlı olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Bayram M., (1984). "Harmoniklerin Kompanzasyon Tesislerindeki Etkileri", Elektrik Mühendisliği Konferansı, İTÜ İstanbul
- [2] Fiorina J., (2010). "Inverters and harmonics" Cahier technique no. 159
- [3] Şekkeli M., (2009) "Enerji Kalitesinin Tekstil Fabrikaları Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması". Elektronik Dergisi, Cilt:3, 1–11.
- [4] Demirbaş Ş. ve Bayhan S., (2009) "Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Gerçek Zamanlı Ölçüm ve Analizi", Gazi Üni. Ankara
- [5] Fiorina J., (2009). "Harmonics upstream of rectifiers in UPS". Cahier technique no. 159
- [6] Ertan U., (1994) "Elektrik Şebekelerinde Harmonikler", Kaynak Elektrik Dergisi. İstanbul, 109-115
- [7] Güler Ö., (1995). Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Sakıncaları, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Gencer C., "Harmonik Filtreli Kompanzasyon Tesisleri" http://www.enerjiplatformu.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1591:harmonik-filtreli-kompanzasyon-tesisleri&catid=21:teknik-yaz&Itemid=53, (2011)
- [9] "Power Distribution Products" Catalog ATD-01, (1995), Acme Electric Corporation, 125.
- [10] Industry Application Society (IAS) Magazine "Short Circuit Capacity and Voltage Sag," IEEE, July/August 2000, 38.
- [11] Collombet C., Lupin J., Schonek J. (2009) "Harmonic disturbances in networks, and their treatment".
- [12] Ferracci P., (2001). "Power Quality," Cahier technique no. 199.
- [13] Bilge M., (2008). Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Pasif Filtrelerle Eleminasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- [14] Bayram M., (2000). Reaktif Güç Kompanzasyonu, Birsen Yayınevi, İstanbul
- [15] Elektrik Piyasası Müşteri Hizmetleri Yönetmeliği (2002), EPDK Ankara

- [16] Bettega E. Ve Fiorina J., (2010) "Active harmonic conditioners and unity power factor rectifiers", Cahier technique no. 183
- [17] Schonek J., "Low voltage hybrid harmonic filters, technical and financial analysis", (1999).
- [18] Wodrich R., "Real time reactive compensation systems for welding applications ", (1998).
- [19] IEEE 519-1992, Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, New York
- [20] Chapman D., (2011) "Power Quality Application Guide – Harmonics Causes and Effects 3.1 ", Copper Development Association
- [21] Cutler H., "Consulting Application Catalog," (2011), Division of Eaton Corporation, Pittsburgh, PA.

KOMPANZASYON SİSTEMİ BULUNMAYAN SİSTEMİN YÜK AKIŞI

KOMPANZASYON SİSTEMİ BULUNAN SİSTEMİN YÜK AKIŞI

EK-C

KOMPANZASYON SİSTEMİ İLE İLGİLİ YÖNETMELİK

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Kadri EFE
Doğum Tarihi ve Yeri : 24.05.1987 – Sivas/Merkez
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : efe.kadri@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik Müh.	Yıldız Teknik Üni.	2009
Lise	Fen Bilimleri	Selçuk And. Lisesi	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011-	Anelsis Müh. Ltd.	Teklif Müh.
2010-2011	OptimusDoruk Elk. A.Ş.	Teklif Müh.
2009-2010	Hastel Kablo Ltd.	Satış Müh.

Proje

- 1.PV Sistemin 400V Şebekeye Bağlanma İnvertör Pano Tasarımı
2. 4000A/690V Kurulu Sistemin Enerji Kalitesi Problemlerinin Çözümü
3. Hibrit Enerji Sistemi Modellemesi
4. Klima Test Cihazı Projelendirilmesi

ÖDÜLLERİ

- 1.Yıldız Teknik Üni. Elektrik Müh. İkinci Öğretim Birinciliği (2009)
Yıldız Teknik Üni. Elektrik Müh. İkinciliği (2009)