

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

**ORTA GERİLİM DAĞITIM SİSTEMLERİNDE REAKTİF GÜÇ
KOMPANZASYON TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ**

MUHAMMET AYDIN YOLDAŞ

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

**DANIŞMAN
YRD.DOÇ. DR. RECEP YUMURTACI**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORTA GERİLİM DAĞITIM SİSTEMLERİNDE REAKTİF GÜÇ
KOMPANZASYON TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ

Muhammet Aydın YOLDAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 20.10.2011 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. Recep YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Recep YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Osman KILIÇ
Marmara Üniversitesi

ÖNSÖZ

Gelişen teknoloji ve dünya nüfusunun hızla artmasından dolayı enerjiye olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Dünya ülkeleri, enerji ihtiyacının büyük kısmını fosil tabanlı yakıtlar kullanarak karşılamaktadır. Ancak fosil tabanlı yakıt kaynaklarının her geçen gün kısıtlı hale gelmesi ve ileriki yıllarda elektrik enerjisinin yeterliliği açısından doğacak sorunları engellemek adına kullanılan enerjinin kalitesini artırarak daha verimli hale getirilerek kayıp ve kaçakları önlemek ve bu sayede elektrik enerjisinden tasarruf sağlamak daha da önem kazanmaktadır. Bu tasarrufu sağlamanın en kolay yöntemlerinden birisi reaktif güç kompanzasyonudur.

Tez çalışması kapsamında orta gerilim ve alçak gerilim tesislerinde klasik kademeli ve statik reaktif güç kompanzasyon çeşitleri incelenmiştir. Orta gerilim ve alçak gerilim sistemlerinde pasif filtreli ve filtresiz klasik kademeli kompanzasyon sistemlerinin bir örnek ele alınarak simülasyon yardımı ile karşılaştırılması yapılmıştır. Böylece her iki gerilim seviyesinde oluşabilecek sorunlar incelenmiştir. Ekonomik analiz çerçevesinde, kullanılan malzeme açısından her iki gerilim seviyesinde yatırım maliyeti çıkartılarak karşılaştırma yapılmıştır.

Böyle bir konuda çalışmamı sağlayan ve bana her konuda rehberlik eden danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Recep YUMURTACI' ya can-ı gönülden teşekkür ederim.

Çalışmalarında kullandığım verilerin elde edilmesi ve kullanılmasında yardımlarını hiç unutmayacağım Çağrı Elektrik Proje Taah. San. ve Tic. A.Ş. Orta Gerilim Departman Müdürü sayın Mehmet TURAN' a, çalışma arkadaşım Semra ŞEKERCİ' ye ve Edk Elektrik Mühendislik San. ve Tic. Ltd. Şti.' nin Genel Koordinatörü sayın Uğur Doğan KOÇAK' a şükranlarımı sunarım.

Son olarak beni her zaman maddi ve manevi olarak destekleyen anneme, babama ve kardeşlerime çok teşekkür ederim

Ağustos, 2011

Muhammet Aydın YOLDAŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	x
KISALTMA LİSTESİ	xiiII
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xix
ÖZET	xx
ABSTRACT	xxi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2	
REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU	3
2.1 Genel Teorik Bilgi	3
2.1.1 Aktif Güç, Reaktif Güç ve Görünür Güç.....	4
2.1.2 Reaktif Güç Tüketicileri	5
2.1.3 Reaktif Güç Üreticileri.....	6
2.1.3.1 Dinamik Faz Kaydırıcılar	6
2.8.3.2 Kondansatörler	7
2.1.4 Reaktif Güç Kompanzasyon Gerekliliği.....	8
2.1.5 Reaktif Güç İhtiyacının Belirlenmesi	8
2.1.5.1 Kondansatör Gücü Hesabı	9
Aktif Gücün Sabit Olması Hali.....	11
Görünür Gücün Sabit Olması Hali.....	12
2.2 Klasik Kompanzasyon	13
2.1.1 Kompanzasyon Tesislerinin Çeşitleri	13
2.2.1.1 Bireysel Kompanzasyon	14
2.2.1.2 Grup Kompanzasyon	15

2.2.1.3	Merkezi Kompanzasyon	16
2.2.1.4	Reaktif Gücün Otomatik Ayarı	18
2.2.2	Filtreli Kompanzasyon	19
2.2.2.1	Harmonik Büyüklüklere Ait Tanımlar ve Genel İfadeler ...	19
	NonsinüsoidalDurumda Elektriksel Büyüklükler	20
	Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD)	22
	Toplam Talep Distorsiyonu (TTD).....	22
	Şekil Faktörü.....	23
	Tepe (Crest) Faktörü	23
	Telefon Etkileşim Faktörü (TEF)	23
	Transformatör K-Faktörü.....	24
	Distorsiyon Güç Hesabı	24
2.2.2.2	Harmonik Filtreler	25
	Pasif Filtreler.....	26
	Seri Filtreler	27
	Şönt Filtreler	28
	Tek Ayarlı Filtreler	29
	Çift Ayarlı Filtreler	32
	Sönümlü Filtreler	33
2.2.3	Statik VAR Kompanzasyon	35
2.2.3.1	Tristör Anahtarlama Kapasitör (TSC)	36
2.2.3.2	Tristör Anahtarlama Reaktör (TSR)	38
2.2.3.3	Tristör Kontrollü Reaktör (TCR)	39
2.2.3.4	Sabit Kondansatörlü Tristör Kontrollü Reaktör (FC-TCR)	43
2.2.3.5	Tristör Kontrollü Seri Kapasitör (TCSC)	47
2.2.3.6	Tristör Kontrollü Faz Değiştirici (TCPV)	47
2.2.3.7	Statik VAR Kompanzatör Koruması	48

BÖLÜM 3

ORTA GERİLİM DAĞITIM SİSTEMLERİNDE REAKTİF GÜÇ KOMPAZASYON TEKNİKLERİ..... 50

3.1	O.G. Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu Amacı	50
3.2	O.G. Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonunun Avantajları.....	51
3.2.1	Teknik Optimizasyon.....	51
3.2.2	Ekonomik Optimizasyon	52
3.3	O.G. Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu İçin Optimum Kapasitör Yerleştirme.....	53
3.4	O.G. Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu İçin Kullanılan Malzemeler	55
3.4.1	Kondansatör Yapısı.....	55
3.4.1.1	Kasa	56
3.4.2	Dahili Sigortalı Olan Kondansatörler	57
3.4.3	Tek Fazlı Kondansatörler.....	58
3.4.4	Üç Fazlı Kondansatörler	60
3.4.5	Endüktanslar	61
3.4.5.1	Ani Boşalma Akımı Sınırlama Reaktörleri.....	61
3.4.5.2	Filtre Endüktansları.....	62
3.4.6	Kondansatör Koruması	64
3.4.6.1	Dengesizlik Koruması.....	64

3.4.6.2	Aşırı Yük Koruması.....	66
3.4.6.3	Sigortalar.....	67
	Harici Sigortalar.....	67
	Eriyen Telli Sigortalar	67
3.4.7	Kondansatör Bankoları	69
3.4.8	Kondansatör Bankalarının Montajı	72
3.5	O.G. Kondansatör Bankalarının Yapılandırılması ve Bağlantı Şekilleri....	72
3.5.1	Nötrü Topraksız Yıldız Bağlantı Şekli	73
3.5.2	Nötrü Topraklı Yıldız Bağlantı Şekli.....	73
3.5.3	Nötrü Topraksız Çift Yıldız Bağlantı Şekli	74
3.6	O.G. Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyon Teknikleri	74
3.6.1	Sabit Kompanzasyon	75
3.6.2	Otomatik Kompanzasyon	75
3.6.3	Statik Kompanzasyon	75

BÖLÜM 4

O.G.TESİSLERİNDE REAKTİF GÜÇ KOMPAZASYONU İLE İLGİLİ SAYISAL UYGULAMA ve TASARIMLAR

4.1	Giriş	80
4.2	İşletme Gerilimi 34,5 kV' luk Bir Tesiste Tek Fazlı Kondansatörlerden Oluşan Çift Yıldız Kondansatör Bankolu Kompanzasyon Uygulama Örneği	80
4.2.1	Kompanzasyon Gücü Hesabı.....	81
4.2.1.1	Trafo-1' e Tesis Edilecek Kondansatör Gücü	81
4.2.1.2	Trafo-2' e Tesis Edilecek Kondansatör Gücü	82
4.2.1.3	Trafo-3' e Tesis Edilecek Kondansatör Gücü	83
4.2.2	Aşırı Akım Sınırlama Reaktör Değeri Hesabı	84
4.2.3	O.G. Kablo Hesabı.....	84
4.2.4	Akım Trafosu Seçimi.....	85
4.2.5	Kondansatör Sisteminin O.G. Tek Hat Şeması.....	86
4.2.6	Kondansatör Bankalarının Yerleşim Planı	89
4.3	İşletme Gerilimi 6,3 kV' luk Bir Tesiste Üç Fazlı Kondansatörlü Kompanzasyon Uygulama Örneği.....	90
4.3.1	Kompanzasyon Gücü Hesabı.....	90
4.3.2	Aşırı Akım Sınırlama Reaktörü	91
4.3.3	O.G. Kablo Hesabı.....	91
4.3.4	AkımTrafosu Seçimi.....	92
4.3.5	Kondansatör Sisteminin O.G. Tek Hat Şeması.....	93
4.3.5.1	Sistemin Otomatik Çalışması.....	95
4.3.5.2	Sistemin Manuel Çalışması	95
4.3.5.3	Aşırı Akım ve Kısa Devre Koruma	95
4.3.5.4	Aşırı Yük Koruma ve Deşarj Süresi Kontrolü.....	95
4.3.5.5	Aşırı Gerilim ve Düşük Gerilim Koruma	95
4.3.5.6	Hücrelerde Bulunan Kilitlemeler.....	96
	Bara Ayırıcısı-Vakum Kontaktör Arası Elektriksel Kilit	96
	Sigorta Tertibatı-Vakum Kontaktör Arası Elektriksel Kilit ..	96
	Bara Ayırıcısı-Toprak Ayırıcısı Arası Elektriksel Kilit.....	96
	Toprak Ayırıcısı-Kapı Arası Elektriksel Kilit.....	96

	Kompanzasyon Besleme Kesicisi-Vakum Kontaktör Arası	
	Elektriksel Kilit.....	96
	Toprak Ayırıcısı-Vakum Kontaktör Arası Elektriksel Kilit ..	96
4.3.6	Metal Mahfazalı Kondansatör Hücrelerinin Yerleşim Planı	97
4.4	İşletme Gerilimi 27,5 kV olan Tek Fazlı Demiryoluna Ait Kompanzasyon	
	Uygulama Örneği.....	99
4.4.1	Kondansatör Sisteminin A.G. ve O.G. Tek Hat Şeması	99

BÖLÜM.5

SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI.....	104
5.1 Giriş	104
5.1 Kompanzasyon Devreye Girdiğinde Oluşan Transient Akımların	
İncelenmesi	106
5.2.1 Alçak Gerilim Barasında Klasik Kademeli Kompanzasyon	
(MOD 1)	106
5.2.1.1 Simülasyonun t= 1 Saniyesi Süresinde Oluşan Transient	
Akımların İncelenmesi.....	110
5.2.1.2 Simülasyonun t= 1,5Saniyesi Süresinde Oluşan Transient	
Akımların İncelenmesi.....	111
5.2.1.3 Simülasyonun t= 3Saniyesi Süresinde Oluşan Transient	
Akımların İncelenmesi.....	113
5.2.2 Orta Gerilim Barasında Klasik Kademeli Kompanzasyon	
(MOD 2)	114
5.2.2.1 Simülasyonun t= 1Saniyesi Süresinde Oluşan Transient	
Akımların İncelenmesi.....	118
5.2.2.2 Simülasyonun t= 1,5Saniyesi Süresinde Oluşan Transient	
Akımların İncelenmesi.....	119
5.2.2.3 Simülasyonun t= 3Saniyesi Süresinde Oluşan Transient	
Akımların İncelenmesi.....	121
5.2.3 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	122
5.3 O.G. Barasında, A.G. Barasında Reaktif Güç Kompanzasyonu	
Yapıldığında Sistemdeki Akım ve Gerilim Harmoniklerinin	
İncelenmesi	125
5.3.1 Alçak Gerilim Barasında Filtresiz Klasik Kademeli Kompanzasyon	
(MOD 1)	125
5.3.1.1 Simülasyonun t= 1Saniyesi Süresinde Oluşan Transient	
Akımların İncelenmesi.....	130
5.3.1.2 Simülasyonun t= 1,5Saniyesi Süresinde Oluşan Transient	
Akımların İncelenmesi.....	133
5.3.1.3 Simülasyonun t= 3Saniyesi Süresinde Oluşan Transient	
Akımların İncelenmesi.....	136
5.3.2 Orta Gerilim Barasında Filtresiz Klasik Kademeli Kompanzasyon	
(MOD 2)	139
5.3.2.1 Simülasyonun t=1Saniyesi Süresinde Oluşan Transient	
Akımların İncelenmesi.....	144
5.3.2.2 Simülasyonun t=1,5Saniyesi Süresinde Oluşan Transient	
Akımların İncelenmesi.....	147

5.3.2.3	Simülasyonun $t=3$ Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi.....	150
5.3.3	Orta Gerilim Barasında Pasif Filtreli Klasik Kademeli Kompanzasyon (MOD 3)	153
5.3.3.1	Simülasyonun $t=1$ Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi.....	158
5.3.3.2	Simülasyonun $t=1,5$ Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi.....	161
5.3.3.3	Simülasyonun $t=3$ Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi.....	164
5.3.4	Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	167
BÖLÜM.6		
ORTA GERİLİM SİSTEMİNDE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU İLE ALÇAK GERİLİM SİSTEMİNDE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU ARASINDA EKONOMİK KARŞILAŞTIRMA.....		173
BÖLÜM.7		
SONUÇ VE ÖNERİLER.....		177
KAYNAKLAR		180
EK-A		
BİR DEMİR ÇELİK FABRİKASINDA UYGULANAN İŞLETME GERİLİMİ 34,5 kV, 200 MVar' LIK FC-TCR KOMPANZATÖRÜN PROJESİ		182
A-1 Sistemin O.G. Tek Hat Şeması.....		182
EK-B		
İŞLETME GERİLİMİ 34,5 kV' LUK BİR TESİSTE TEK FAZLI KONDANSATÖRLERDEN OLUŞAN ÇİFT YILDIZ KONDANSATÖR BANKOLU KOMPANZASYON UYGULAMASININ PROJELERİ.....		183
B-1 Sistemin O.G. Tek Hat şeması.....		183
B-2 Kondansatör Bankolarının Yerleşim Planları.....		183
EK-C		
İŞLETME GERİLİMİ 6,3 kV' LUK BİR TESİSTE ÜÇ FAZ KONDANSATÖRLÜ KOMPANZASYON UYGULAMASININ PROJELERİ.....		184
C-1 Sistemin O.G. Tek Hat şeması		184
C-2 Metal Mahfazalı Kondansatör Hücrelerinin Yerleşim Planları.....		184
C-3 Metal Mahfazalı Kondansatör Hücrelerinin Kesit Görünüşleri.....		184
EK-D		
İŞLETME GERİLİMİ 27,5 kV OLAN TEK FAZLI DEMİRYOLUNA AİT KOMPANZASYON UYGULAMASININ PROJELERİ.....		185

D-1 Sistemin O.G. Tek Hat Şeması.....	185
D-2 O.G. Sisteminin Kesit Görünümü.....	185
D-3 Sistemin Yerleşim Planı.....	185
D-4 Kompanzasyon Panolarının Kesit Görünümleri.....	185
ÖZGEÇMİŞ	186

SİMGE LİSTESİ

S	Görünür güç
P	Aktif güç
Q	Reaktif güç
U	Fazlar arası gerilim
I	Akım
I_p	Aktif akım
I_Q	Reaktif akım
$\cos \theta$	Güç faktörü
C	Kondansatör kapasitesi
X_C	Kapasitif reaktans
L	Bobin endüktansı
X_L	Endüktif reaktans
ω	Açısal frekans
f	Frekans
U_C	Kondansatör gerilimi
I_C	Kondansatör akımı
Q_C	Kondansatörün reaktif gücü
C_{Δ}	Üçgen bağlı kondansatör kapasitesi
C_Y	Yıldız bağlı kondansatör kapasitesi
U_h	Hat gerilimi
X	Reaktans
D	Distorsiyon
THD_I	Akım toplam harmonik distorsiyonu
THD_V	Gerilim toplam harmonik distorsiyonu
K_f	Şekil (form) faktörü
K	Transformatör K faktörü
P_{Fdist}	Distorsiyon güç faktörü
P_f	Güç faktörü
S_N	Nominal güç
I_n	Nominal akım
U_{baz}	Baz gerilimi
N_{baz}	Baz güç
S_K	Kısa devre kesme gücü
I_K	Kısa devre akımı
N_K	Kısa devre gücü

I_{th}	Termik akım
Z_{hat}	Hat empedansı
X_r	Rezonans frekansındaki reaktans
Z_f	Filtre empedansı
E_{Loss}	Enerji kaybı
P_{Loss}	Aktif güç kaybı
R	Direnç
T_E	Hat kaybının azalmasında doğan kâr
T_i	Reaktif güç satışından doğan kâr
T	Birim fiyat
T_C	Yatırım maliyeti
I_{max}	Akımın maksimum değeri

KISALTMA LİSTESİ

GF	Güç Faktörü
AC	Alternatif Akım
THD	Toplam Harmonik Distorsiyon
TTD	Toplam Talep Distorsiyon
TEF	Telefon Etkileşim Faktörü
SVC	Statik VAR Kompanzatör
TSR	Tristör Anahtarlama Reaktör
TSC	Tristör Anahtarlama Kapasitör
TCR	Tristör Kontrollü Reaktör
FC-TCR	Sabit Kondansatör-Tristör Kontrollü Reaktör
TCSC	Tristör Kontrollü Seri Kapasitör
TCPV	Tristör Kontrollü Faz Değiştirici
YG	Yüksek Gerilim
OG	Orta Gerilim
AG	Alçak Gerilim
DC	Doğru Akım
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
EPDK	Enerji Piyasası Denetleme Kurulu
LCD	Liquid Crystal Display
GPS	Global Positioning System

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Endüktif bir yük için tüketicinin akım ve güç bileşenleri.....	5
Şekil 2. 2 Bir fazlı bir kondansatörün devreye bağlanması ve fazör diyagramı	9
Şekil 2. 3 Üç fazlı alternatif akım şebekesindeki kondansatörlerin üçgen ve yıldız bağlanması	11
Şekil 2. 4 Aktif gücün sabit olması halinde reaktif güç ihtiyacının belirlenmesi	12
Şekil 2. 5 Görünür gücün sabit olması halinde reaktif güç ihtiyacının belirlenmesi ...	13
Şekil 2. 6 Bireysel kompanzasyon	14
Şekil 2. 7 Grup kompanzasyon	15
Şekil 2. 8 Merkezi kompanzasyon	16
Şekil 2. 9 Aşırı kompanzasyon sonucunda gerilim yükselmesi	17
Şekil 2. 10 Tek ayarlı filtre devresi	26
Şekil 2. 11 İkinci mertebe sönümlü filtre devresi	27
Şekil 2. 12 Devrede seri filtrenin kullanımı.....	28
Şekil 2. 13 Devrede şönt filtrenin kullanımı	29
Şekil 2. 14 Tek ayarlı filtre devresi ve empedans değişimi	30
Şekil 2. 15 Çift ayarlı filtrenin empedans değişimi	32
Şekil 2. 16 Çift ayarlı filtre devresi	33
Şekil 2. 17 Sönümlü Filtre devreleri	33
Şekil 2. 18 Sönümlü filtrenin frekans-empedans değişimi	34
Şekil 2. 19 TSC eşdeğer devresi	37
Şekil 2. 20 TSC' nin üç fazlı eş değer devresi	37
Şekil 2. 21 TSR tabanlı svc' nin eşdeğer devresi.....	39
Şekil 2. 22 TCR' nin temel yapısı	40
Şekil 2. 23 TCR' ye ait akım ve gerilim dalga şekilleri	41
Şekil 2. 24 TCR' nin üç fazlı eşdeğer devresi.....	42
Şekil 2. 25 Sabit kondansatörlü-tristör kontrollü reaktör devre şeması (FC-TCR)	43
Şekil 2. 26 İletim açısı ile reaktif güç ilişkisi.....	44
Şekil 2. 27 Sürekli halde kompanzatörün gerilim-reaktif güç ilişkisi.....	44
Şekil 2. 28 FC-TCR kompanzatör devresinin tek hat şeması	46
Şekil 2. 29 TCSC devre şeması.....	47
Şekil 2. 30 TCPV devre şeması.....	48
Şekil 2. 31 TSC ve TCR' nin birleştirilmiş devre şeması	49
Şekil 3. 1 36 kV-50 Hz' lik o.g.güç faktörü düzeltme sistemi.....	51
Şekil 3. 2 Kentsel bölgelerde SF ₆ gazlı transformatör merkezleri için reaktif güç kompanzasyon devre şeması.....	53
Şekil 3. 3 Harici sigortalı standart kondansatör bank düzenlemesi	56
Şekil 3. 4 Her iki terminali de yalıtılmış tek fazlı kondansatör	59

Şekil 3. 5	Bir terminali yalıtılmış diğer terminali kasaya bağlanmış tek fazlı kondansatör	60
Şekil 3. 6	Üç fazlı kondansatör	61
Şekil 3. 7	Ani boşalma akımı sınırlama reaktörleri.....	62
Şekil 3. 8	Filtreleme tek fazlı reaktör boyutu ve manyetik açıklık mesafesi	64
Şekil 3. 9	Dengesizlik koruması tek hat şeması	66
Şekil 3. 10	Dahili ortam montajı için kullanılacak akım trafosu	65
Şekil 3. 11	Harici ortam montajı için kullanılacak akım trafosu	66
Şekil 3. 12	Kondansatörlerin yatay ve dikey olarak bir araya getirilerek monte edilmesinde atmalı sigortaların düzenlenmesi	68
Şekil 3. 13	Atmalı sigortalı versiyonlu faz başına seri olarak bağlanmış 2 bölümlü kondansatör bankosu.....	70
Şekil 3. 14	Atmalı sigortalı kondansatör bankosunun tek hat şeması.....	70
Şekil 3. 15	Dahili sigortalı versiyonlu faz başına seri olarak bağlanmış 2 bölümlü kondansatör bankosu.....	71
Şekil 3. 16	Dahili sigortalı kondansatör bankosunun tek hat şeması	71
Şekil 3. 17	Nötrü topraksız tek yıldız bağlantı şekli	73
Şekil 3. 18	Nötrü topraklı tek yıldız bağlantı şekli	74
Şekil 3. 19	Nötrü topraksız çift yıldız bağlantı şekli.....	74
Şekil 3. 20	Bir demir çelik fabrikasında uygulanan 34,5 kV, 200 MVar' lık FC-TCR kompanzatör devre şeması.....	78
Şekil 4. 1	3 adet 100 MVA' lık 154 kV / 34,5 kV çevirme oranına sahip indirici transformatörlerin tek hat şeması	81
Şekil 4. 2	4800 kVar' lık kondansatör bankosunun O.G. tek hat şeması.....	87
Şekil 4. 3	Üç fazlı nötrü izoleli yıldız-yıldız bağlı kondansatör şeması	88
Şekil 4. 4	4800 kVar' lık kondansatör bankalarının yerleşim planları	89
Şekil 4. 5	4800 kVar' lık kondansatör bankosunun görünümü.....	90
Şekil 4. 6	Üç fazlı kondansatörlü 1250 kVar kademe gücüne sahip 3 kademeli metal mahfazalı vakum kontaktörlü kompanzasyon sistemi o.g. tek hat şeması .	94
Şekil 4. 7	1250 kVar' lık 3 adet metal mahfazalı kondansatör hücrelerinin yerleşim planları	97
Şekil 4. 8	Metal mahfazalı kondansatör hücrelerinin kesit görünüşleri.....	98
Şekil 4. 9	1250 kVar' lık 3 adet metal mahfazalı kondansatör hücrelerinin görünümü	98
Şekil 4. 10	TCDD kompanzasyon sisteminin tek hat şeması.....	100
Şekil 4. 11	TCDD' ye kurulan o.g. tesisinin kesit görünümü	101
Şekil 4. 12	TCDD' ye kurulan tesisin yerleşim planı	102
Şekil 4. 13	Kompanzasyon panolarının kesit görünüşleri	102
Şekil 4. 14	Kompanzasyon sisteminin kumanda şeması.....	103
Şekil 5. 1	Sistemin tek hat şeması (MOD 1).....	107
Şekil 5. 2	Sistemin devre şeması (MOD 1)	108
Şekil 5. 3	Simülasyon süresi boyunca 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli.....	109
Şekil 5. 4	Simülasyon süresi boyunca 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli	109
Şekil 5. 5	Simülasyon süresi boyunca 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli.....	109
Şekil 5. 6	Simülasyon süresi boyunca 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli	109
Şekil 5. 7	Simülasyonun t=1 süresinde 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli	110
Şekil 5. 8	Simülasyonun t=1 süresinde 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli.....	110
Şekil 5. 9	Simülasyonun t=1 süresinde 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli	111
Şekil 5. 10	Simülasyonun t=1 süresinde 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli...	111

Şekil 5. 11	Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli	112
Şekil 5. 12	Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli..	112
Şekil 5. 13	Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli ...	112
Şekil 5. 14	Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli	112
Şekil 5. 15	Simülasyonun $t=3$ süresinde 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli	113
Şekil 5. 16	Simülasyonun $t=3$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli.....	113
Şekil 5. 17	Simülasyonun $t=3$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli	114
Şekil 5. 18	Simülasyonun $t=3$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli...	114
Şekil 5. 19	Sistemin tek hat şeması(MOD 2	115
Şekil 5. 20	Sistemin devre şeması (MOD 2)	116
Şekil 5. 21	Simülasyon süresi boyunca 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli.....	117
Şekil 5. 22	Simülasyon süresi boyunca 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli	117
Şekil 5. 23	Simülasyon süresi boyunca 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli.....	117
Şekil 5. 24	Simülasyon süresi boyunca 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli	117
Şekil 5. 25	Simülasyonun $t=1$ süresinde 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli	118
Şekil 5. 26	Simülasyonun $t=1$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli.....	119
Şekil 5. 27	Simülasyonun $t=1$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli	119
Şekil 5. 28	Simülasyonun $t=1$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli...	119
Şekil 5. 29	Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli	120
Şekil 5. 30	Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli..	120
Şekil 5. 31	Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli ...	120
Şekil 5. 32	Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli	121
Şekil 5. 33	Simülasyonun $t=3$ süresinde 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli	121
Şekil 5. 34	Simülasyonun $t=3$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli.....	122
Şekil 5. 35	Simülasyonun $t=3$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli	122
Şekil 5. 36	Simülasyonun $t=3$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli...	122
Şekil 5. 37	Sistemin tek hat şeması (MOD 1).....	126
Şekil 5. 38	Sistemin devre şeması (MOD 1)	127
Şekil 5. 39	Simülasyon süresi boyunca 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli (transient akım oluşumu)	128
Şekil 5. 40	Simülasyon süresi boyunca 0,4 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	128
Şekil 5. 41	Simülasyon süresi boyunca 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli	128
Şekil 5. 42	Simülasyon süresi boyunca 0,4 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	129
Şekil 5. 43	Simülasyon süresi boyunca 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli.....	129
Şekil 5. 44	Simülasyon süresi boyunca 34,5 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	129
Şekil 5. 45	Simülasyon süresi boyunca 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli	130
Şekil 5. 46	Simülasyon süresi boyunca 34,5 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu	130
Şekil 5. 47	Simülasyonun $t=1$ süresinde 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli	131
Şekil 5. 48	Simülasyonun $t=1$ süresinde 0,4 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	131
Şekil 5. 49	Simülasyonun $t=1$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli.....	131
Şekil 5. 50	Simülasyonun $t=1$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	132
Şekil 5. 51	Simülasyonun $t=1$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli	132

Şekil 5. 52	Simülasyonun $t=1$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın harmonik spektrumu.....	132
Şekil 5. 53	Simülasyonun $t=1$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli...	133
Şekil 5. 54	Simülasyonun $t=1$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	133
Şekil 5. 55	Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli	134
Şekil 5. 56	Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	134
Şekil 5. 57	Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli..	134
Şekil 5. 58	Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	135
Şekil 5. 59	Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli ...	135
Şekil 5. 60	Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın harmonik spektrumu.....	135
Şekil 5. 61	Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli	136
Şekil 5. 62	Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın harmonik spektrumu.....	136
Şekil 5. 63	Simülasyonun $t=3$ süresinde 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli	137
Şekil 5. 64	Simülasyonun $t=3$ süresinde 0,4 kV barasındaki akımın harmonik spektrumu.....	137
Şekil 5. 65	Simülasyonun $t=3$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli.....	137
Şekil 5. 66	Simülasyonun $t=3$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilimin harmonik spektrumu.....	138
Şekil 5. 67	Simülasyonun $t=3$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli	138
Şekil 5. 68	Simülasyonun $t=3$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın harmonik spektrumu.....	138
Şekil 5. 69	Simülasyonun $t=3$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli...	139
Şekil 5. 70	Simülasyonun $t=3$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilimin harmonik spektrumu.....	139
Şekil 5. 71	Sistemin tek hat şeması (MOD 2).....	140
Şekil 5. 72	Sistemin devre şeması (MOD 2)	141
Şekil 5. 73	Simülasyon süresi boyunca 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli.....	142
Şekil 5. 74	Simülasyon süresi boyunca 0,4 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	142
Şekil 5. 75	Simülasyon süresi boyunca 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli	142
Şekil 5. 76	Simülasyon süresi boyunca 0,4 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	143
Şekil 5. 77	Simülasyon süresi boyunca 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli.....	143
Şekil 5. 78	Simülasyon süresi boyunca 34,5 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	143
Şekil 5. 79	Simülasyon süresi boyunca 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli	144
Şekil 5. 80	Simülasyon süresi boyunca 34,5 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	144
Şekil 5. 81	Simülasyonun $t=1$ süresinde 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli	145
Şekil 5. 82	Simülasyon $t=1$ süresinde 0,4 kV barasındaki akım harmonik spektrumu	145
Şekil 5. 83	Simülasyonun $t=1$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli.....	145
Şekil 5. 84	Simülasyon $t=1$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	146
Şekil 5. 85	Simülasyonun $t=1$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli	146

Şekil 5. 86 Simülasyon $t=1$ süresinde 34,5 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	146
Şekil 5. 87 Simülasyonun $t=1$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli...	147
Şekil 5. 88 Simülasyon $t=1$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	147
Şekil 5. 89 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli	148
Şekil 5. 90 Simülasyon $t=1,5$ süresinde 0,4 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	148
Şekil 5. 91 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli..	148
Şekil 5. 92 Simülasyon $t=1,5$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	149
Şekil 5. 93 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli ...	149
Şekil 5. 94 Simülasyon $t=1,5$ süresinde 34,5 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	149
Şekil 5. 95 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli	150
Şekil 5. 96 Simülasyon $t=1,5$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	150
Şekil 5. 97 Simülasyonun $t=3$ süresinde 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli	151
Şekil 5. 98 Simülasyon $t=3$ süresinde 0,4 kV barasındaki akım harmonik spektrumu	151
Şekil 5. 99 Simülasyonun $t=3$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli.....	151
Şekil 5. 100 Simülasyon $t=3$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	152
Şekil 5. 101 Simülasyonun $t=3$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli	152
Şekil 5. 102 Simülasyon $t=3$ süresinde 34,5 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	152
Şekil 5. 103 Simülasyonun $t=3$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli..	153
Şekil 5. 104 Simülasyon $t=3$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	153
Şekil 5. 105 Sistemin tek hat şeması (MOD 3).....	154
Şekil 5. 106 Sistemin devre şeması (MOD 3)	155
Şekil 5. 107 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli.....	156
Şekil 5. 108 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	156
Şekil 5. 109 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli	156
Şekil 5. 110 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	157
Şekil 5. 111 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli	157
Şekil 5. 112 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	157
Şekil 5. 113 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli ...	158
Şekil 5. 114 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	158
Şekil 5. 115 Simülasyonun $t=1$ süresinde 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli	159
Şekil 5. 116 Simülasyon $t=1$ süresinde 0,4 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	159
Şekil 5. 117 Simülasyonun $t=1$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli....	159
Şekil 5. 118 Simülasyon $t=1$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	160
Şekil 5. 119 Simülasyonun $t=1$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli	160

Şekil 5. 120 Simülasyon $t=1$ süresinde 34,5 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	160
Şekil 5. 121 Simülasyonun $t=1$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli..	161
Şekil 5. 122 Simülasyon $t=1$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	161
Şekil 5. 123 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli	162
Şekil 5. 124 Simülasyon $t=1,5$ süresinde 0,4 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	162
Şekil 5. 125 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli.	162
Şekil 5. 126 Simülasyon $t=1,5$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	163
Şekil 5. 127 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli ..	163
Şekil 5. 128 Simülasyon $t=1,5$ süresinde 34,5 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	163
Şekil 5. 129 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli.....	164
Şekil 5. 130 Simülasyon $t=1,5$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	164
Şekil 5. 131 Simülasyonun $t=3$ süresinde 0,4 kV barasındaki akımın dalga şekli	165
Şekil 5. 132 Simülasyon $t=3$ süresinde 0,4 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	165
Şekil 5. 133 Simülasyonun $t=3$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilimin dalga şekli....	165
Şekil 5. 134 Simülasyon $t=3$ süresinde 0,4 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	166
Şekil 5. 135 Simülasyonun $t=3$ süresinde 34,5 kV barasındaki akımın dalga şekli	166
Şekil 5. 136 Simülasyon $t=3$ süresinde 34,5 kV barasındaki akım harmonik spektrumu.....	166
Şekil 5. 137 Simülasyonun $t=3$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilimin dalga şekli..	167
Şekil 5. 138 Simülasyon $t=3$ süresinde 34,5 kV barasındaki gerilim harmonik spektrumu.....	167

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	TCR' nin tetikleme ve iletim açılarına bağlı olarak değişimi 42
Çizelge 3. 1	Standart tek fazlı kondansatör voltaj değerleri..... 59
Çizelge 3. 2	Standart üç fazlı kondansatör voltaj değerleri..... 61
Çizelge 4. 1	XLPE kabloların akım taşıma kapasiteleri..... 85
Çizelge 4. 2	35 kV tek damarlı XLPE kablunun döşeme şekline göre empedansları . 86
Çizelge 4. 3	Tek damarlı 6 kV XLPE kablunun döşeme şekline göre empedans ve akım taşıma kapasiteleri..... 92
Çizelge 5. 1	Yüklerin ve kondansatör kademelerinin zamana göre devreye girme(1) ve devreden çıkma(0) durumları 105
Çizelge 5. 2	Simülasyonlarda göz önüne alınan işletme durumları..... 106
Çizelge 5. 3	A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler 110
Çizelge 5. 4	A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler 111
Çizelge 5. 5	A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler 113
Çizelge 5. 6	A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler 118
Çizelge 5. 7	A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler 120
Çizelge 5. 8	A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler 121
Çizelge 5. 9	Simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması 123
Çizelge 5. 10	Simülasyonlarda göz önüne alınan işletme durumları..... 125
Çizelge 5. 11	A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler 130
Çizelge 5. 12	A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler 133
Çizelge 5. 13	A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler 136
Çizelge 5. 14	A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler 144
Çizelge 5. 15	A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler 147
Çizelge 5. 16	A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler 150
Çizelge 5. 17	A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler 158
Çizelge 5. 18	A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler 161
Çizelge 5. 19	A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler 164
Çizelge 5. 20	Simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması 168
Çizelge 5. 21	Simülasyonların sonucunda ortaya çıkan THD _V ve THD _I değerlerinin karşılaştırılması 171
Çizelge 6. 1	Orta gerilim tarafında klasik kademeli filtresiz kompanzasyonun yatırım maliyeti 174
Çizelge 6. 2	Alçak gerilim tarafında klasik kademeli filtresiz kompanzasyonun yatırım maliyeti 175

ÖZET

ORTA GERİLİM DAĞITIM SİSTEMLERİNDE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYON TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ

Muhammet Aydın YOLDAŞ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Recep YUMURTACI

Bu tez çalışmasında, orta gerilim dağıtım sistemlerinde reaktif güç kompanzasyon teknikleri incelenmiştir. Öncelikle reaktif güç kompanzasyonu hakkında genel bilgi ve orta gerilim tesislerinde reaktif güç kompanzasyonu ve kullanılan malzemeler hakkında detaylı teknik bilgi verilmiştir. TEİAŞ' ın bir indirici merkezinin gerçek değerleri göz önünde bulundurularak bir sanayi bölgesini besleyen fideri üzerinde orta gerilim kademeli kompanzasyon uygulaması, bir demir çelik fabrikasında uygulanan orta gerilim kademeli kompanzasyon uygulaması ve TCDD' ye ait 27,5 kV monofaze çıkış gerilimli indirici merkezde uygulanan orta gerilim kademeli kompanzasyon uygulaması incelenmiştir. Orta gerilim tesislerinde klasik kademeli kompanzasyon çeşitleri ve statik kompanzasyon çeşitleri incelenmiştir. Orta gerilim tesislerinde klasik kademeli kompanzasyon ile alçak gerilim tesislerinde klasik kademeli kompanzasyonun karşılaştırılması yapılmıştır. Bu yapılan çalışmalar MATLAB SIMULINK programı yardımı ile simülasyonları gerçekleştirilerek desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Reaktif güç kompanzasyonu, klasik kademeli kompanzasyon, pasif filtreli kompanzasyon, statik kompanzasyon

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ABSTRACT

EXAMINATION OF TECHNIQUES FOR REACTIVE POWER COMPENSATION IN MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION SYSTEMS

Muhammet Aydın YOLDAŞ

Department of Electical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Recep YUMURTACI

In this thesis, reactive power compensation techniques are examined in medium voltage distribution systems. First, general information about reactive power compensation, on medium voltage reactive power compensation and are given detailed technical information about the materials used. Taking into account the actual values of the center of lowering of TEIAS, feeder that feeds an industrial zone on the medium voltage gradual compensation application, medium voltage gradual compensation application in a steel factory and medium voltage gradual compensation application at substation with 27,5 kV single phase output voltage of TCDD are examined. Types of classical compensation and static compensation are examined. Types of classical compensation in medium voltage and types of classical compensation in low voltage are compared. These studies are supported by performing simulations with the help of MATLAB-SIMULINK program.

Key words: Reactive power compensation, classical gradual compensation, compensation with passive fitler, static compensation

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

1.1 Literatür Özeti

Dünya genelinde nüfus artışı ve sanayileşmeye bağlı olarak elektrik enerjisine duyulan talebin her geçen gün artması ve elektrik enerjisi üretiminin ileriki yıllarda kısıtlı kaynaklar ile karşılanmaya çalışılacağıın ön görülmesi elektrik tüketiminin daha da önem kazanmasına sebebiyet vermektedir. Bu yüzden elektrik tasarrufu yapmanın yanı sıra elektrik enerjisinin kalitesini de arttırmak elektrik enerjisinin geleceğini ve kaynaklarımızın ömrünü uzatmak adına çok önemlidir. Elektrik enerjisinin kalitesini arttırmak ve elektrik sistemlerinde işletmeyi tam verimle kullanmak adına gerçekleştirilen en kolay yöntemlerden birisi reaktif güç kompanzasyonudur.

Bu tez çalışmasında, orta gerilim dağıtım sistemlerinde reaktif güç kompanzasyon teknikleri incelenmiştir. İkinci bölümde reaktif güç kompanzasyonu için kullanılan genel matematiksel ifadeler ve reaktif güç kompanzasyon çeşitleri, pasif filtreler, statik kompanzasyon hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Bu bilgilerin oluşturulmasında [1-15] numaralı kaynaklardan yararlanılmıştır.

Üçüncü bölümde orta gerilim dağıtım sistemlerinde reaktif güç kompanzasyonu için gerekli olan genel teorik bilgi ve ifadeler, kullanılan malzemeler ve piyasada uygulanan sabit, kademeli ve statik kompanzasyon hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, TEİAŞ' a ait bir indirici transformatör merkezinde 34,5 kV gerilim seviyesin de kurulan O.G. reaktif güç kompanzasyon sisteminin uygulama projesi, bir demir-çelik fabrikasının belirli bir ünitesinin reaktif güç kompanzasyonunu sağlamak adına 6,3 kV gerilim seviyesin de kurulan O.G. reaktif güç kompanzasyon sisteminin uygulama projesi ve TCDD' ye ait 27,5 kV çıkış gerilimli bir indirici merkezde, 27,5 / 0,69 kV gerilimli bir transformatör üzerinden alçak gerilim seviyesin de kompanzasyon

yaparak o.g. de enerji kalitesini sağlamak adına kurulan statik reaktif güç kompanzasyonu projesi gibi bu 3 projenin detaylı hesapları ve çizimleri uygulama örneği başlığı altında verilmiştir. Bu bilgilerin oluşturulmasında [16-23] numaralı kaynaklardan yararlanılmıştır.

Beşinci bölümde, oluşturulan 5 farklı reaktif güç kompanzasyon durumu (o.g.' de klasik kademeli filtresiz kompanzasyon (MOD 1), a.g.' de klasik kademeli filtresiz kompanzasyon (MOD 2), o.g.' de klasik kademeli filtreli kompanzasyon (MOD 3), a.g.' de klasik kademeli filtreli kompanzasyon (MOD 4)) için simölasyon devreleri oluşturulmuştur. Her bir durumun, kompanzasyon sonrası akım ve gerilim dalga şekilleri incelenip, güç faktörü, gerilimin ve akımın toplam harmonik distorsiyonları, aktif ve reaktif güç değerleri karşılaştırılması yapılmıştır.

Altıncı bölümde, simölasyonu yapılan çalışma durumlarından o.g.' de klasik kademeli filtresiz reaktif güç kompanzasyonu ile a.g.' de klasik kademeli filtresiz reaktif güç kompanzasyonu arasında ekonomik karşılaştırma yapılmıştır.

Yedinci bölümde ise, tez çalışmasının sonuçları irdelenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Tezin amacı, orta gerilim dağıtım sistemlerinde reaktif güç kompanzasyon tekniklerinin incelemesini yapmaktır. Bu amaç doğrultusunda piyasada uygulanan orta gerilim seviyesinde reaktif güç kompanzasyon sistemleri incelenecek ve bu sistemlere benzer bir sistemin hem alçak gerilimde hem de orta gerilimde reaktif güç kompanzasyonu MATLAB SIMULINK programı yardımı ile simölasyonları yapılarak sistemdeki etkileri incelenecek ve bu sistemlerin kurulum maliyetleri araştırılacaktır.

1.3 Hipotez

O.G. seviyesinde reaktif güç kompanzasyonu, indirici transformatör merkezlerinde veya çoğu demir çelik sanayisinde kullanılmaktadır. O.G. seviyesinde reaktif güç kompanzasyonu birçok avantajı varken genelde birçok sanayi tesisi için dezavantajlı bir sisteme dönüşmektedir. Çünkü kurulum maliyetleri çok olması ve elektrik sistemine verdiği aşırı tepkilerden dolayı kullanılmamaktadır. Bu yüzden çoğu sanayi tesisi

zorunlu kalmadıkça alçak gerilim seviyesinde reaktif güç kompanzasyonunu kullanmayı tercih etmesi daha avantajlı olacaktır.

REAKTİF GÜÇ KOMPAZASYONU

2.1 Genel Teorik Bilgi

Elektrik enerjisinin, asrımızın en yaygın kaynaklarından biri olarak üretildiği elektrik santralinden en küçük alıcıya kadar dağıtımında elektrik enerjisini en az kayıpla taşımak elektrik iletim ve dağıtım şirketlerinin başlıca hedefidir. Günlük hayatımızda elektrik enerjisine ihtiyacın her geçen gün biraz daha artması, enerji üretiminin biraz daha pahalılaşması, taşınan enerjinin de kaliteli, ucuz ve hakiki iş gören aktif enerji olmasını daha zorunlu hale getirmektedir. Bu yüzden güç sistemlerinde işletmeyi kolaylaştırmak, verimliliği artırmak ve enerji tasarrufunu sağlamanın en etkin önlemlerinden biri reaktif güç kompanzasyonudur.

Reaktif güç kompanzasyonu ile ilgili dünyada enerji verimliliğini sağlamak adına bir çok sınırlamalar getirilmiştir. Bu kapsamda ülkemizde de Enerji Piyasası ve Düzenleme Kurulu' nun (EPDK), “ Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenirlirliği ve Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” Resmi Gazete’ de 9 Ocak 2007 tarihinde yayınlanmıştır. Bu yönetmelik, 1 Ocak 2008 tarihinden itibaren “ sistemden çekilen endüktif reaktif enerjinin sistemden çekilen aktif enerjiye oranı %20’ yi, sistem verilen kapasitif reaktif enerjinin sistemden çekilen aktif enerjiye oranı ise %15’ i geçemez. ” şartını getirmiştir [1]. Bu nedenle, yönetmeliğin yayınladığı tarihten itibaren piyasadaki yüksek miktarda elektrik enerjisi tüketen işyerleri ve fabrikalar aktif, reaktif güç çekimi ve reaktif güç kontrolü hakkında daha ciddi yatırımlar ve çalışmalar yapmaktadırlar.

2.1.1 Aktif Güç, Reaktif Güç ve Görünür Güç

Elektrik enerjisi bugün yaygın olarak alternatif akım olarak üretilip iletilmektedir. Bu akımın aktif bileşeni motorlarda mekanik gücü, ısıtıcılarda termal gücü, lambalarda aydınlatma gücünü oluşturan faydalı bileşendir. Reaktif bileşeni ise transformatörler, motorlar, reaktörler, jeneratörler gibi elektrik cihazlarının çalışması için gerekli manyetik alanı oluşturur. Bu şekilde tüketicilerin çektikleri alternatif akımı teorik olarak biri aktif ve diğeri reaktif olmak üzere iki bileşenden oluşur. Aktif akımın meydana getirdiği aktif güç tüketici tarafından faydalı hale getirilir ve aktif gücü oluşturan aktif akım gerilimle aynı fazdadır [1].

Reaktif güç ise yalnız alternatif akıma bağlı bir özellik olup elektrik tesislerinde istenmeyen bir şekilde etki eder. Ancak yinede reaktif güçten vazgeçilemez. Çünkü elektro dinamik prensibine göre çalışan bobin, motor, jeneratör gibi tüketici araçların normal çalışmaları için gerekli olan manyetik alan reaktif akım tarafından oluşturulur. Bilindiği gibi, endüksiyon prensibine göre çalışan bütün cihaz ve makineler, manyetik alanın oluşturulabilmesi için bir mıknatıslanma akımı çekerler. İşte bu mıknatıslanma akımı, reaktif akımdır ve faydalı olan aktif güç ile birlikte mutlaka reaktif güce de ihtiyaç duyulur. Bu nedenle tüm alternatif akım tesisleri, aktif gücün yanında reaktif gücün de çekileceği göz önünde bulundurularak boyutlandırılırlar.

Bir tüketicinin şebekeden çektiği görünür güç:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (2.1)$$

şeklindedir. Sadece aktif güç çeken yüklerde akımla gerilim aynı fazdadır. Çekilen gücün endüktif olması durumunda, S görünür gücü ve I hat akımı, gerilimden θ açısı kadar geri fazdadır. Bu durumda;

Aktif akım:

$$I_p = I \cdot \cos \theta \quad (2.2)$$

Aktif güç :

$$P = S \cdot \cos \theta \quad (2.3)$$

Reaktif akım :

$$I_q = I \cdot \sin \theta \quad (2.4)$$

Reaktif güç :

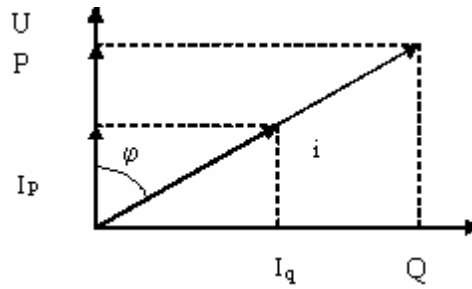
$$Q = S \cdot \sin \theta \quad (2.5)$$

olup, hat akımı ve görünür güç ile bunların bileşenleri arasında şu bağıntılar mevcuttur;

$$I = \sqrt{I_p^2 + I_q^2} \quad (2.6)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.7)$$

Endüktif bir yük için akım ve güç bileşenleri şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 2. 1 Endüktif bir yük için tüketicinin akım ve güç bileşenleri [2]

2.1.2 Reaktif Güç Tüketicileri

Alternatif akımla beslenen sistemlerde endüksiyon prensibine göre çalışan bütün elektrikli cihazlar ve makineler, işlevlerini yapabilmeleri için aktif enerji ile birlikte reaktif enerji de çekerler. Şebekeden reaktif enerji çeken cihazlardan bazıları aşağıda belirtilmiştir. Bunlar;

- 1- Düşük uyartımlı senkron makineler
- 2- Transformatörler
- 3- Endüksiyon ve ark fırınları
- 4- Bobinler
- 5- Havai hatlar

6- Asenkron motorlar

7- Redresörler

8- Kaynak makineleri

9- Flouresan lamba balastları, sodyum ve civa buharlı lamba balastları ile neon lamba transformatörleri, vb.

Her ne kadar aydınlatma cihazları aktif güç çekseler de, bunlara ait balast ve transformatörler de reaktif güç tüketirler. Yukarıdaki tüketicilerde söz konusu olan reaktif güç endüktif karakterde olup, gerilime göre 90 derece geridedir. Bazı özel hallerde ise işletme araçları bir kondansatör gibi etki ederek, kapasitif güç çekerler. Bunlara örnek olarak boşta çalışan havai hatlar ve kablolar gösterilebilir. Bu tip sistem veya cihazlarda ise, çekilmekte olan akım gerilimden 90 derece ileridedir.

2.1.3 Reaktif Güç Üreticileri

Reaktif güç ihtiyacını karşılamak için reaktif gücün bir yerde üretilmesi gerekir. Bunun için en eski ve klasik yol, aktif güç gibi reaktif gücün de senkron generatör tarafından üretilmesidir. Reaktif güç üretimi, aktif güç gibi, santrallerde su kuvveti, akaryakıt, kömür ve benzeri ham enerji maddesinin sarfiyatını gerektirmez. Sadece generatör uyarılmasının arttırılması ile alternatör, reaktif güç verecek duruma getirilir. Böylece santralde üretilen reaktif güç, generatör, transformatör ve enerji nakil hattı üzerinden geçerek tüketiciye ulaşır. Bu esnada elektrik tesisleri, reaktif güç tarafından gereksiz olarak işgal edileceklerinden, aktif güç bakımından bunların kapasitelerinden tam olarak yararlanmak mümkün olmaz ve işletme ekonomik olmaktan çıkar. Bu nedenle için tesisleri reaktif güçten kurtarmak, tesis elemanlarının kapasitelerinden tam olarak yararlanmak ve ekonomik bir işletme sağlamak amacıyla, reaktif gücün santralde değil de, tüketim merkezlerinde üretilmesi en uygun ve ekonomik yoldur.

Tüketicilerin, normal olarak şebekeden çektikleri endüktif gücün, kapasitif güç çekmek suretiyle özel bir reaktif güç üreticisi tarafından dengelenmesine kompanzasyon denir. Böylece, tüketicilerin şebekeden çektiği reaktif güç çok azalır. Reaktif güç üretimi için iki işletme aracından yararlanılabilir:

- Dinamik faz kaydırıcılar
- Kondansatörler

2.1.3.1 Dinamik Faz Kaydırıcılar

Reaktif güç üretiminde kullanılan dinamik faz kaydırıcıların başında aşırı uyartılmış senkron makineler gelir. Genel olarak santrallerden gelen enerji nakil hatlarının sonunda ve tüketim merkezlerinin başında, şebekeye bir senkron makine paralel olarak bağlanıp, bölgenin reaktif güç ihtiyacı bu makine tarafından sağlanır. Şebekeye bağlanan senkron makine, şebekeden, boşa çalışma kayıplarını karşılayacak kadar az bir aktif güç çeker ve şebekeye istenen reaktif gücü vererek, bir reaktif güç generatörü olarak çalışır. Bu esnada sözü edilen makinenin ayrıca tahrik edilmesine de gerek yoktur. Senkron faz kaydırıcıların kayıpları kondansatörlere göre daha yüksek olduğu gibi, sürekli olarak da bir bakıma ihtiyaç duyarlar.

Bir diğer husus olarak, çok büyük güçlü senkron makineler kullanılması gerektiği takdirde, bunların ekonomik olarak üretilmesi ve temini mümkün olmamaktadır. Bu makinelerin başka bir dezavantajı olarak, bir tüketim merkezi civarına yerleştiklerinde, yalnızca generatörler ve yüksek gerilim enerji nakil hatları ile buna ait transformatörler reaktif güçten kurtarıldıkları halde, tüketim merkezine ait bir yada iki kademeli orta gerilim şebekesi ile alçak gerilim dağıtım şebekesinin reaktif güç nakletmek zorunda kalışı sayılabilir.

Tüm bu nedenlerden dolayı, dinamik faz kaydırıcılar, bugün ancak özel hallerde ve ekonomik şartların gerçekleştiği yerlerde kullanılırlar [2].

2.1.3.2 Kondansatörler

Reaktif güç üretiminde, statik faz kaydırıcıları adı verilen kondansatörlerin üstünlükleri sayılamayacak kadar çoktur. Kayıpları çok düşük olup, nominal güçlerinin %0.5' inin altındadır. Ayrıca, bakım masrafları da yok denecek kadar azdır. Kondansatörler ile istenen her büyüklükte reaktif güç kaynağı teşkil edilebildiği gibi, bunları, tüketicilerin yanlarına kadar götürüp, hemen uçlarına bağlamak suretiyle orta ve alçak gerilim şebekelerini de reaktif gücün yükü altından kurtarmak mümkündür. Tüm bu nedenlerden dolayı, kondansatörlerin, kompanzasyon için en uygun araçlar olduğu belirtilebilir [2].

Kondansatörler, günümüzde kuvvetli akım tesislerinde gittikçe atmakta olan bir önem kazanmaktadırlar. Bunların beher kVAr başına maliyet bedelleri, orta büyüklükteki senkron kompanzatörlerinkinden daha düşük olduğu gibi, bu fiyatta büyük bir artış

olmadan, bunların her güçte imali mümkündür. Kondansatörlerin tesisi kolaydır ve gerektiğinde kolaylıkla genişletilerek güçleri arttırılabilir. Ayrıca, bunlarda tüketici ihtiyacına göre rahat şekilde güç ayarı da yapılabilir. Kondansatörlerin işletme emniyetleri çok büyük olduğu gibi, ömürleri uzun ve bakımları da kolaydır. Yerleştirilecekleri yerde, hemen hemen hiçbir özellik aranmamakta olup, yer temini bir problem oluşturmaz. Gerekli kapasite, birçok kondansatör elemanının bir araya getirilmesiyle sağlanabilir. Bir arıza halinde, zarar gören bir eleman az bir masrafla yenisi ile değiştirilerek, işletmede uzunca bir süre kesintiye meydan vermeden onarım yapılmış olur.

Kompanzasyon tesislerinde 2 tip kondansatör kullanılır:

- 1- Yağlı Tip Kondansatör: Belli periyotlarda bakım gerektirirler.
- 2- Kuru Tip Kondansatör: Bakım gerektirmezler.

2.1.4 Reaktif Güç Kompanzasyonunun Gerekliliği

Reaktif güç ihtiyacı olan bir elektrik sisteminde hiç veya yeterli derecede reaktif güç kompanzasyonu yapılmaması hem üretici hem de tüketici açısından bir çok sorunlara sebebiyet vermektedir.

Üretici ve tüketici yönünden, yeni yatırımlar ile kurulacak olan bir tesiste kompanzasyon sisteminin göz ardı edilmesi o tesisin elektrik sisteminin tasarlanması sürecin de elektrik yatırım maliyetleri açısından generatör ve transformatörlerin daha büyük güçte seçilmesi, kablo kesitlerinin yeterli olması gerekenden daha büyük olması ve cihazların daha büyük ve hassas olması gibi ekonomik olarak bir çok soruna sebebiyet verecektir. Mevcut kurulu bir tesiste ise üretim, iletim ve dağıtımda kapasite ve verimin düşmesine, iletkenler de kayıpların ve gerilim düşümünün artmasına, gerilim regülasyonu ve işletmeciliğin zorlaşmasına sebebiyet verir.

Sonuç olarak, reaktif güç kompanzasyonunun gerekliliği hem üretici hem de tüketici yönünden yatırım ve işletme maliyetleri açısından ekonomik olarak tasarruf sağlamaktadır.

2.1.5 Reaktif Güç İhtiyacının Belirlenmesi

Bir tüketicinin veya bir elektrik tesisinin ihtiyaç duyduğu reaktif enerjinin belirlenmesi için öncelikle o tüketici veya tesisin şebekeden çektiği görünür gücün ve güç

katsayısının ($\cos\theta_1$) bilinmesi gerekir; bunlarla birlikte güç katsayısının arttırılmak istendiği değer ($\cos\theta_2$) de belirtilmelidir. Bundan sonra bağlanması gereken kondansatörlerin reaktif gücünün belirlemek için iki yöntem vardır; bunlar aktif gücün veya görünür gücün sabit tutulması halleridir [3]. Elbette bu seçeneklerden hangisinin kullanılacağı tüketicinin veya tesisin ihtiyacına göre belirlenmelidir.

Genel olarak bir tesiste kurulacak olan kompanzasyon sisteminin tipi sistemdeki yüklerin dağılımına, reaktif güç ihtiyacının değişimine ve tesisteki harmoniklerin miktarına bağlıdır.

2.1.5.1 Kondansatör Gücü Hesabı

Kondansatörler alternatif akım şebekesine bir reaktans gibi etki ederler. Kapasitif reaktansın ohm cinsinden değeri:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (2.8)$$

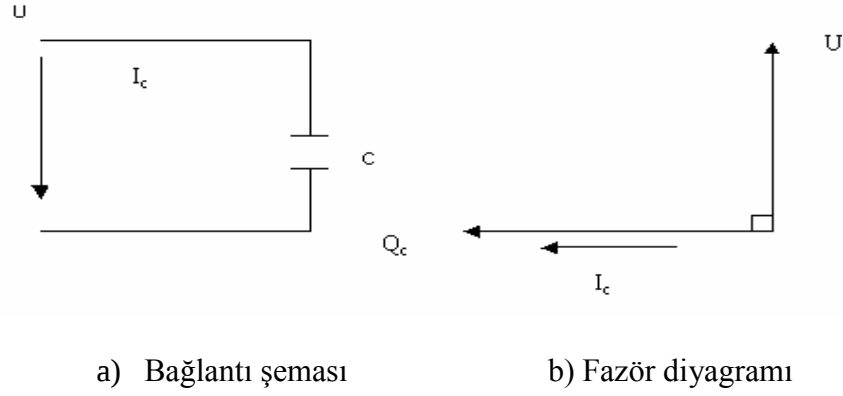
Olup, burada C farad cinsinden kondansatörün kapasitesi ve

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (2.9)$$

açısal frekanstır. Ohm kanununa göre U gerilimine bağlanan bir kondansatörün çektiği kapasitif akım:

$$I_C = \frac{U}{X_C} \quad (2.10)$$

formülü ile ifade edilir. Bu akım, U geriliminden 90 derece ileridedir. Bu durumda şebekeye bağlı bir kondansatörün şebekeden kapasitif akım çekmesi şebekeye endüktif akım vermesine eşdeğerdir. Şekil2.2' de tek fazlı bir kondansatörün devreye bağlanması ve fazör diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2. 2 Bir fazlı bir kondansatörün devreye bağlanması ve fazör diyagramı [2]

Reaktif güç için;

$$Q_C = U_C \cdot I_C = U \cdot (U \cdot \omega \cdot C) \quad (2.11)$$

$$Q_C = \omega \cdot C \cdot U^2 \quad (2.12)$$

yazılabilir.

Bu eşitlik bir fazlı ve üç fazlı alternatif akım sistemlerinde geçerlidir. Üç fazlı alternatif akım tesislerinde kondansatörler şebekeye veya tüketici uçlarına yıldız ve üçgen olarak bağlanabilirler. Üçgen bağlamada her iki hat arasındaki kondansatörün kapasitesi C_Δ ile, yıldız bağlamada her faza bağlanan kondansatörün kapasitesi C_Y ile gösterilirse üçgen bağlama için;

$$Q_C = 3 \cdot U_h \cdot I_C$$

$$Q_C = 3 \cdot U_h \cdot (U_h \cdot \omega \cdot C_\Delta)$$

$$Q_C = 3 \cdot U_h^2 \cdot \omega \cdot C_\Delta \quad (2.13)$$

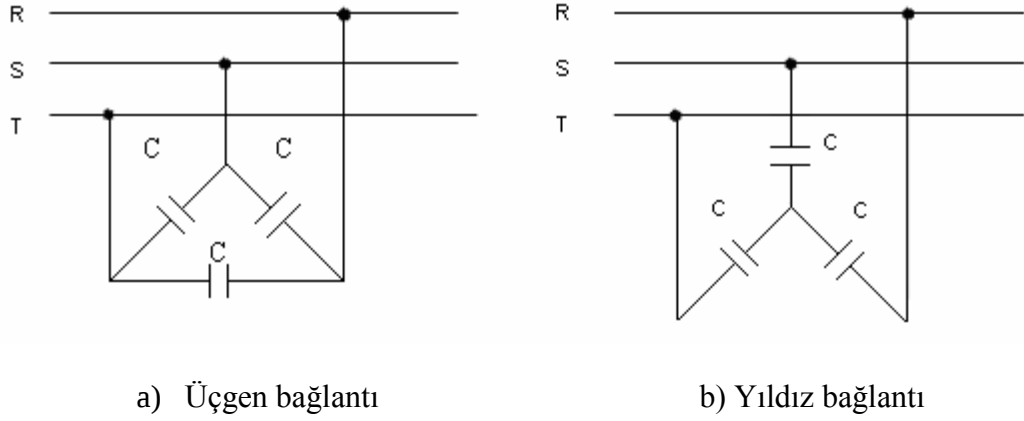
yıldız bağlama için ise;

$$Q_C = 3 \cdot V_h \cdot I_C$$

$$Q_C = 3 \cdot V_h \cdot (V_h \cdot \omega \cdot C_Y)$$

$$Q_C = 3 \cdot V_h^2 \cdot \omega \cdot C_Y = U_h^2 \cdot \omega \cdot C_Y \quad (2.14)$$

olarak yazılabilir. Yukarıdaki eşitliklerde U_h fazlar arası gerilimin efektif değeri, V_h faz-nötr gerilimin efektif değeri, I_C hat akımıdır.



Şekil 2. 3 Üç fazlı alternatif akım şebekesindeki kondansatörlerin üçgen ve yıldız bağlanması [2]

Her iki sistemde de Q_C gücünün eşit olduğu varsayılırsa

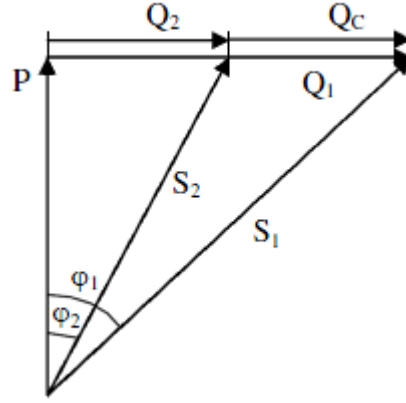
$$C_Y = 3.C_\Delta \quad (2.15)$$

bulunur.

Burada elde edilen sonuç şudur; Yıldız bağlama da her bir faza bağlanan kondansatörün kapasitesi, üçgen bağlamadaki kondansatör kapasitesinin üç katına eşit olduğu görülür. Yıldız bağlamada C_Y kondansatörünün uçlarına faz nötr gerilimi uygulandığında üçgen bağlama C_Δ kondansatörünün uçlarına faz arası $\sqrt{3}$ kadar daha fazla olan hat gerilimi uygulanmaktadır. Faz ve hat gerilimleri arasındaki farkın izolasyon bakımından çok önemli olmadığı alçak gerilim tesisleri için üçgen bağlama, yıldız bağlamaya göre daha ucuz olur. Bundan dolayı ekonomik sebepler göz önüne alınarak alçak gerilim tesislerinde kondansatörlerin üçgen bağlanmaları tercih edilir. Orta gerilim ve yüksek gerilim tesislerinde izolasyon mesafeleri dikkate alınarak kondansatörlerin yıldız bağlanması tercih edilir

Aktif Gücün Sabit Olması Hali

Bu durumda $\cos\theta_1$ güç katsayısı altında çekilen P aktif gücü sabit tutularak S_1 görünür gücü S_2 gibi daha düşük bir değere geriler (Şekil2.4).



Şekil 2. 4 Aktif gücün sabit olması halinde reaktif güç ihtiyacının belirlenmesi [5]

Şekil' e göre kompanzasyon yapılmadan önceki reaktif güç:

$$Q_1 = P \cdot \tan \theta_1 \quad (2.16)$$

Kompanzasyon yapıldıktan sonraki reaktif güç ise:

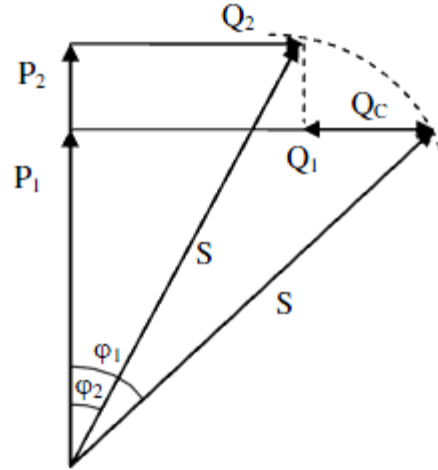
$$Q_2 = P \cdot \tan \theta_2 \quad (2.17)$$

Olur. Buna göre kompanzasyon için gereken reaktif güç değeri bunların farkıdır:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P \cdot (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (2.18)$$

Görünür Gücün Sabit Olması Hali

Bu durumda sistemin görünür gücü kompanzasyon sonrasında da sabit tutularak şebekeden çekilebilecek aktif güç artırılır. Bunu fazör diyagramı ile Şekil 2.5' deki gibi ifade edebiliriz.



Şekil 2. 5 Görünür gücün sabit olması halinde reaktif güç ihtiyacının belirlenmesi [5]

Burada kompanzasyon öncesi reaktif güç şu şekildedir:

$$Q_1 = S \cdot \sin \theta_1 \quad (2.19)$$

Kompanzasyondan sonraki Q_2 değeri ise:

$$Q_2 = S \cdot \sin \theta_2 \quad (2.20)$$

Buna göre gerekli kondansatör gücü bu iki değer farkına eşittir:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = S \cdot (\sin \theta_1 - \sin \theta_2) \quad (2.21)$$

2.2 Klasik Kompanzasyon

Reaktif güç kompanzasyonunda, günümüzde en yaygın kullanılan ve kondansatörlerin elektro-mekanik yöntemlerle anahtarlanmasına dayanan klasik kompanzasyon sistemleri yükün reaktif güç ihtiyacına göre, belli bir dizine sahip kondansatör kademelerinin, elektronik güç kontrol rölesi ve kontaktörler yardımıyla devreye alınıp devreden çıkarılmasına dayanır. Hızlı değişmeyen yükler için ekonomik ve kolay bir yöntem olmasından dolayı en çok tercih edilen bir sistemdir. Bu sistem, kontaktör anahtarlama yalın kondansatör bankaları ve kontaktör anahtarlama filtreli kondansatör bankaları olmak üzere iki farklı tasarımla piyasada uygulanır [4].

2.2.1 Kompanzasyon Tesislerinin Çeşitleri

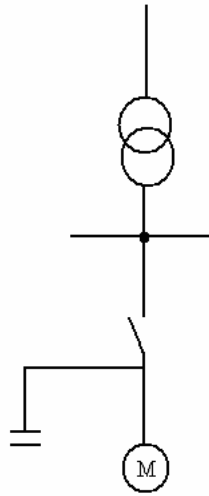
Kondansatörlerin bağlanma şekilleri, reaktif güç kompanzasyonunda büyük önem taşır. En büyük faydayı sağlamak amacıyla tesis yerinin ve bağlanma şeklinin amaca en

uygun şekilde yapılması gerekir. Kompanzasyon tesisleri, ihtiyaca ve yüklerin durumuna göre belirlenerek bireysel kompanzasyon, grup kompanzasyon ve merkezi kompanzasyon olmak üzere 3 şekilde uygulanır.

2.2.1.1 Bireysel Kompanzasyon

Devamlı olarak işletmede bulunan sabit güçlü tüketicilerin reaktif güç ihtiyacını karşılamak amacıyla tüketicinin uçlarına paralel bir kondansatör bağlanmasıyla bireysel kompanzasyon yapılır. Bu tür kompanzasyonda her bir tüketici eleman, kendine bağlı olan belli güçteki kondansatörle tek tek kompanze edilir. Bu kondansatörler, ortak bir anahtar yardımıyla yüklerle birlikte devreye alınır. Dolayısıyla ayrı bir açıcı cihaza gerek yoktur [3].

Bireysel kompanzasyonun maliyeti yüksektir ve ayara elverişli değildir. Ancak sabit güçle sürekli çalışan tüketiciler için uygun ve ekonomik olabilir. Şekil 2.6' da bireysel kompanzasyon bağlantısı gösterilmektedir.



Şekil 2. 6 Bireysel Kompanzasyon [5]

Bireysel kompanzasyonda yüke bağlanacak kondansatör gücü aşağıdaki denklemle bulunabilir. Burada Q_C , kondansatör gücünü, I_0 yükün boşa çektiği akımı ve U_N ise yükün nominal gerilimini gösterir [5].

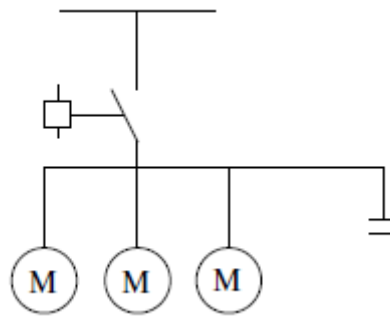
$$Q_C = 0,9.I_0.U_N \quad (2.22)$$

Kondansatör bir motora sürekli olarak bağlandığında, motorun besleme kaynağından ayrılmasından sonra bazı güçlüklerle karşılaşılabilir. Motor dönmeye devam ederken kendini uyararak bir jeneratör gibi hareket edebilir ve sistem gerilimini aşan gerilim yükselmelerine neden olabilir. Bununla birlikte bu durum, kondansatör akımının, motorun boştaki mıknatıslanma akımından daha küçük olması sağlanarak önlenir. Kondansatör akımı olarak yaklaşık % 90' lık bir değer önerilir [5].

Transformatörler de diğer manyetik alan yaratan makineler gibi reaktif enerji tüketirler. Transformatörlerin daha fazla aktif yük verebilmeleri elbette yük tarafında tüketilen reaktif enerjiyi azaltmakla olanaklıdır ancak yükün bulunmadığı veya az olduğu zamanlarda da bizzat transformatörün kendisinin tükettiği reaktif enerjiyi kompanze etmek cezai duruma girmeme açısından önem kazanmaktadır. İşte bu durumda yapılan kompanzasyon sistemine sabit kompanzasyon adı verilir ve transformatör gücünün % 3' ü ile % 5' i arasında bir değerde kondansatör seçimi yapılır [6].

2.2.1.2 Grup Kompanzasyon

Benzer türden birçok tüketicinin bulunduğu bir tesiste her bir tüketicinin ayrı ayrı kondansatörle donatılması yerine ortak bir kompanzasyon tesisi tarafından beslenmesi daha kolay ve ekonomik olur. Beraber ve aynı kontaktör üzerinden devreye girip devreden çıkan cihazlar, beraber kompanze edilirler. Bu durumda kondansatörler özel anahtarlar üzerinden ve gerektiğinde kademeli olarak şebekeye bağlanır. Şekil 2.7' de grup kompanzasyonun bağlantı şekli görülmektedir.

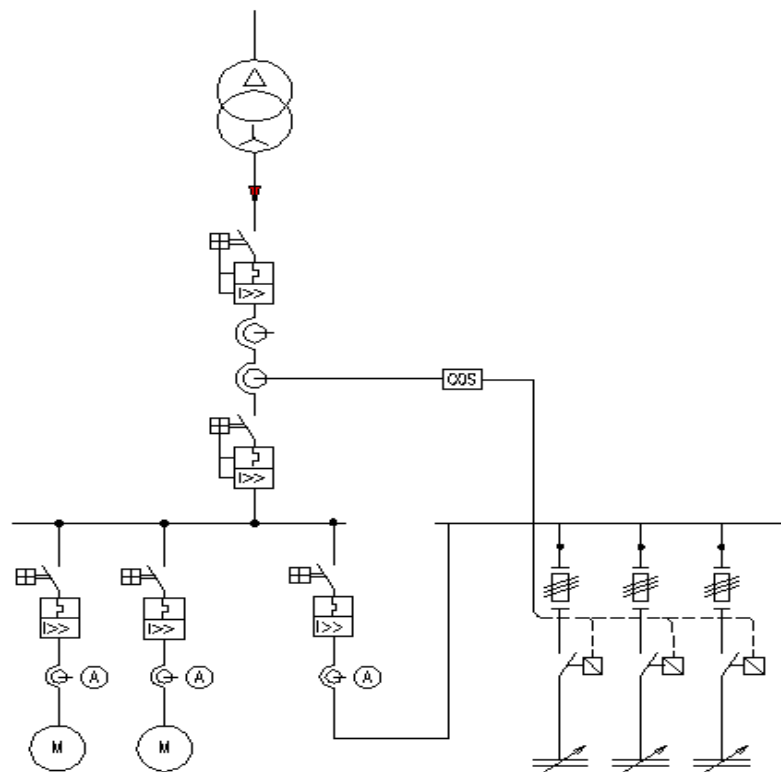


Şekil 2. 7 Grup kompanzasyon [5]

2.2.1.3 Merkezi Kompanzasyon

Grup kompanzasyonun kapsam olarak biraz daha genişletilmesi ile merkezi kompanzasyon elde edilir. Örneğin, bir fabrika veya işletme genelinde bütün yükler için tek bir noktadan yapılan kompanzasyon, merkezi kompanzasyon olarak adlandırılır. Merkezi kompanzasyonda genellikle bir otomatik ayar düzeneği gereklidir. Çünkü burada fazla sayıda tüketici olduğundan ve bunların hepsinin sabit güçle sürekli olarak devrede bulunması söz konusu olmadığından kondansatör gücü, değişen kompanzasyon ihtiyacına uyum sağlamalıdır.

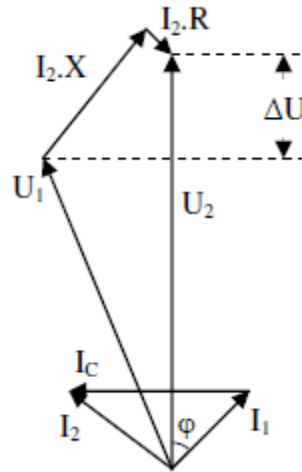
Merkezi kompanzasyon, alçak gerilim transformatörünün sekonder barasında yüke paralel olarak uygulanır. Merkezi kompanzasyonda bulunan ayar düzeneği, ayar için gerekli olan bilgileri genellikle $\cos\theta$ metre denen bir cihazdan alır. $\cos\theta$ metreden gelen ölçüm değerleri ile gerekli sayıda kondansatör grubu devreye alınarak güç faktörünün istenen değerde kalması sağlanır. Böylece hem düşük hem de aşırı kompanzasyondan kurtulmak mümkün olur. Şekil 2.8’ de merkezi kompanzasyon sisteminin bağlantı şekli gösterilmektedir.



Şekil 2. 8 Merkezi kompanzasyon

Bireysel kompanzasyonda kondansatör, tüketicinin ihtiyacını tam olarak karşılayacak şekilde seçildiğinden ve tüketiciye paralel bağlanıp onunla birlikte devreye alınıp devreden çıkarıldığından dolayı reaktif güç ihtiyacı ile üretim birbirini tam olarak karşılar ve güç katsayısı daima istenen değerde kalır. Buna karşın grup ve merkezi kompanzasyonda durum farklıdır; reaktif güç ihtiyacı devamlı olarak değişir. Eğer kompanzasyon için kurulan kondansatör gücü sabit seçilirse, reaktif güç ihtiyacı arttığında kondansatörler ihtiyacı karşılayamaz, eksik kalan reaktif güç şebekeden çekilir. Bunun sonucunda güç katsayısı düşer. Düşük yükte çalışıldığı zamanlarda ise kondansatör gücü ihtiyacı karşılamamanın üstüne çıkar ve aşırı kompanzasyon durumu baş gösterir. Bu durumda şebekeye reaktif güç verilir ve tüketicinin bağlı olduğu transformatörde gerilim yükselir [5].

Bu konuda aşırı kompanzasyon kavramının da açıklanması gerekmektedir. Bir transformatör istasyonunun beslediği tüketicilere kompanzasyon için büyük ve sabit güçle bir kondansatör grubu paralel bağlanırsa, tüketici gücünde azalma olması halinde transformatörün yüksek gerilim tarafı kondansatörden dolayı reaktif güçle beslenir. Buna aşırı kompanzasyon denir [3]. Bu durumda tüketici geriliminde önemli bir artış meydana gelir. Bu artış o kadar yüksek değerlere çıkar ki tesisler ve kullanılan cihazlar bundan zarar görebilir. Aşırı kompanzasyon sonucunda oluşan gerilim artışı, şekil 2.9’ da fazör diyagramıyla gösterilmiştir.



Şekil 2. 9 Aşırı kompanzasyon sonucunda gerilim yükselmesi [3]

Şekil 2.7’ de I_1 yük akımı, I_2 şebeke akımı, I_C kondansatör akımı, U_1 şebeke gerilimi, U_2 tüketici gerilimi, R ve X hattın ve transformatörün direnci ve reaktansı, ΔU ise tüketici tarafında meydana gelen gerilim yükselmesidir. Gerilim değişimine bağlı bir reaktif güç

ayarı tavsiye edilmez. Bununla birlikte kondansatörlerin gerilimi düzeltici etki yaptıkları zaten bilinmektedir. Örneğin, reaktif güç ihtiyacında büyük bir artma olmaksızın aktif gücün çok artması, gerilimde azalmaya sebep olabilir. Bu gibi durumlarda, gerilime bağlı olarak yapılan kontrolde, reaktif güçte bir artışa ihtiyaç olmamasına rağmen, devreye ilave kondansatörler sokulur. Böyle bir davranış aşırı kompanzasyona yol açar. Bir yükün gerilim değişimi ile kondansatör gücü arasında doğrudan bir bağlantı yoktur [3].

2.2.1.4 Reaktif Gücün Otomatik Ayarı

Reaktif gücün otomatik ayarı iki ana sebepten dolayı zorunludur. Bunlardan bir tanesi aşırı kompanzasyonu önlemek, diğeri de bara gerilimini sabit tutmaktır. Bunun için tüketiciye paralel bağlanan kondansatör gücü, bir reaktif ayar düzeni sayesinde otomatik olarak ayarlanır. Bu ayar esnasında tüketicinin ihtiyacı olan güç miktarına göre belirli sayıdaki kondansatör devreye alınıp çıkarılır. Bu sırada $\cos \theta$ daima belirli bir değerde tutularak şebekeye fazla reaktif güç vermesi engellenmiş olur.

Bu nedenle ayar, reaktif güce bağlıdır. Bununla beraber güç katsayısının değeri sadece reaktif güce değil, aktif güç miktarına da bağlıdır. Reaktif gücün sabit kalması durumunda meydana gelecek değişikliklere göre de güç katsayısı değişir. Bu halde, regülatör aracılığı ile kondansatör devreye sokulup çıkarılarak $\cos \theta$ değeri ayarlanır.

Kapasitörler devreye alınırken çekmesi gereken nominal akımın çok fazlasını çeker. Bu yüzden kompanzasyon sisteminde kullanılacak malzemelerin çalışma kapasiteleri nominal değerlerinden büyük olması gerekir. Bunu için de kompanzasyon tesislerinde kullanılan anahtar, sigorta ve hat gibi bağlantı elemanlarının seçilmesi esnasında bu durum göz önünde bulundurulur. Bu sebeple kompanzasyon tesislerinde kullanılan bağlama elemanları, normal tesislerde kullanılanlardan biraz farklıdır. Bu elemanlar kondansatör gücüne karşı gelen nominal akım değerinden daha büyük akımlara göre seçilirler.

Bir işyerinde hem yüksek hem de alçak gerilim tesisleri varsa yukarıdaki belirtildiği gibi, kompanzasyon tesisleri hem yüksek gerilim hem de alçak gerilim tarafında yapılabilir. İşletme gerilimine göre özellikle bağlama elemanlarında çok büyük farklılıklar vardır.

2.2.2 Filtreli Kompanzasyon

Güç sistemlerinde endüktif yükler nedeniyle akım ile gerilim arasında oluşan faz farkının ürünü olan endüktif gücü karşılamak için şönt kapasitörler nedeni ile sistemde var olan güç kalitesi problemleri daha da artabilir. Bahsedilen güç kalitesi problemlerinin başlıcaları harmonikler ve sistemde oluşabilecek rezonans durumlarıdır [7].

Harmonik problemine neden olan güç elektroniği kontrollü motorlar, aynı zamanda oluşan gerilim ve akım harmoniklerinden en fazla etkilenen yüklerdir. Harmoniklerin yarı iletkenli cihazlarda, koruyucu cihazların açması nedeniyle üretim kayıpları, nötr-toprak gerilimleri, görüntü sistemlerinde titreşim, reaktif güç katsayısının düşmesi, aşırı ısınma ve kayıpların artması gibi etkileri olmaktadır [7].

Lineer olmayan yüklerin çektikleri harmonikli akımlar, bağlı oldukları şebekenin gücü ve sisteme bağlı elemanların (transformatör, hat, kondansatör ve endüktif yükler) empedanslarına bağlı olarak bağlantı noktalarında harmonik gerilimlerin oluşmasına yol açarlar.

Harmonikli sistemlerde reaktif güç kompanzasyonu için sadece kondansatörler kullanılmazlar. Sisteme doğrudan bağlanan kondansatörler, sistemdeki endüktif yükler ile seri ve paralel rezonans devresi oluşturarak, yüksek gerilim ve akımlara sebep olmaktadır. Alternatif akım devrelerinde oluşan bu rezonansın yok edilmesi mümkün değildir, ancak rezonans frekansı kontrol edilebilir. Rezonans frekansını kontrol için kompanzasyon sistemine seri bağlı reaktörlerden oluşan “ Pasif Filtreli Kompanzasyon” sistemleri geliştirilmiştir [7].

2.2.2.1 Harmonik Büyüklüklere Ait Tanımlar ve Genel İfadeler

Elektrik sistemlerinde kaynak geriliminin ve bu kaynaktan çekilen akımın sinüsoidal şekilde olması istenir. Ancak kaynak gerilimi sinüsoidal olmasına rağmen farklı yük karakteristikleri nedeniyle akım ve gerilimde bozulmalar meydana gelmektedir. Ark fırınları, deşarj prensibi ile çalışan lambalar ve yarı iletken elemanlarla çalışan bütün cihazların dalga şekilleri sinüsoidalden farklıdır. Akımın sinüsoidal olmaması da gerilim dalga şeklinin bozulmasına neden olmaktadır.

Harmonikler, IEC 61000-2-1:1990 standardına göre, sinüsoidal gerilim ve akımların temel frekansın tam katları olan bileşenleri olarak tanımlamaktadırlar. Temel bileşen

haricindeki bu dalgaların oluşmasına nonlinear elemanlar sebep olmaktadır. Bu elemanlar magnetik ya da elektrik devre lineersizliğine sahip olup akım ile gerilim dalga şekilleri birbirinden farklılık göstermektedir [8].

Nonsinüsoidal Durumda Elektriksel Büyüklükler

Nonsinüsoidal büyüklüklerin güç sistemine olumsuz etkilerinin giderilmesi ve güç kalitesinin iyileştirilmesi bakımından harmoniklerin analizi ve harmonik büyüklüklerin seviyesinin belirlenmesi gerekmektedir.

Güç sisteminde harmonik bileşenleri bulunan, gerilim ve akımın ani değerleri fourier serileri ile aşağıdaki biçimde ifade edilebilir [9]:

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} V_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} V_n \sin(n\omega_1 t + \theta_n) \quad (2.23)$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega_1 t + \delta_n) \quad (2.24)$$

burada V_n ve I_n , n. harmonik geriliminin ve akımının ani değerleri olup, DC terimler basitleştirme amacıyla ihmal edilmiştir.

V_n ve I_n sırasıyla, n. harmonik mertebesi için gerilim ve akımın efektif değerleridir. ω_1 , ise temel frekansa (f_1) ait açısal frekanstır. θ_n ile δ_n ise sırasıyla n. harmonik için gerilim ve akıma ait faz açısıdır.

Ani güç,

$$P(t) = v(t).i(t) \quad (2.25)$$

olarak ifade edilir ve $p(t)$ ' nin T periyodunda aktif gücü

$$P = 1/T \int_0^T p(t)dt \quad (2.26)$$

olarak verilir. Yukarıdaki eşitliklerden aktif güç;

$$P = \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n \cos(\theta_n - \delta_n) = \sum_{n=1}^{\infty} P_n \quad (2.27)$$

olarak elde edilir. Farklı frekanslardaki akım ve gerilimlerin aktif güce katkısı yoktur. (Örneğin: 3. harmonik gerilimiyle, 5. harmonik akımının çarpımı.) Harmonikler tarafından üretilen aktif güç genellikle, temel aktif güce oranla çok küçüktür. Ortogonal özellikler uygulandığında, 2.23 ve 2.24 eşitliklerinde verilen harmonikli gerilim ve harmonikli akımın efektif değerleri sırasıyla:

$$V = \sqrt{1/T \int_0^T v^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2} \quad (2.28)$$

$$I = \sqrt{1/T \int_0^T i^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} \quad (2.29)$$

olarak bulunur. Harmonikli gerilim ve akımın tepe değerlerinin (V_{mn} , I_{mn}) kullanılmasıyla efektif gerilim ve akım:

$$V = \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{V_{mn}^2}{2} \right]^{1/2} \quad (2.30)$$

$$I = \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{I_{mn}^2}{2} \right]^{1/2} \quad (2.31)$$

İfadeleri ile belirlenir. Görünür güç

$$S = V.I \quad (2.32)$$

olur. Görünür gücün yaygın bir şekilde kabul edilen tanımı şu biçimdedir [9]:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 \quad (2.33)$$

Burada D, distorsiyon gücü olup;

$$D = (S^2 - P^2 - Q^2)^{1/2} \quad (2.34)$$

Eşitliği ile ifade edilir. Distorsiyon gücü aktif olmayan bir güç olup sinüsoidal işaretli lineer devrelerde sıfırdır.

Araştırmacılar ve bilim adamları arasında distorsiyon gücü ve reaktif gücün fiziksel anlamlarında tanımlamalarında hala bir birliktelik söz konusu değildir.

Reaktif güç;

$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n \sin(\theta_n - \delta_n) \quad (2.35)$$

olarak verilir [9]. Harmonikler olmadığı zaman görünür güç, temel frekanstaki alışılagelmiş görünür güç ifadesi olan $V_1 I_1$ ’ e eşittir. Sinüsoidal halde, ortalama (aktif) ve reaktif güç ile görünür güç arasında;

$$(V_1 I_1)^2 = P_1^2 + Q_1^2 \quad (2.36)$$

eşitliği vardır. Buradaki $Q_1 = V_1 I_1 \sin(\theta_1 - \delta_1)$, denklemi temel bileşen $n=1$ için tanımlanan temel reaktif güç değeridir.

Güç faktörü kavramı, AC güç sisteminden çekilen akımın bir yük tarafından ne kadar verimlilikte kullanıldığını ölçmek için gerekir. Sinüsoidal veya sinüsoidal olmayan durumlarla ayırt etmeksizin toplam güç faktörü;

$$GF = P/S \quad (2.37)$$

olarak tanımlanır ve burada P ile gösterilen aktif güç temel frekans bileşeni ve diğer harmonik bileşenlere ait güçlerin toplanmasıyla bulunur [9].

Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD)

Harmonik büyüklüklerin sınırlandırmasını amaçlayan standartlarda çok yaygın olarak kullanılan toplam harmonik distorsiyonu gerilim ve akım için sırasıyla;

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad \text{ve} \quad THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (2.38)$$

ifadelerinden yararlanılarak bulunur. Görüldüğü gibi THD, harmonik bileşenlerin efektif değerlerinin, temel bileşen efektif değerine oranıdır ve genellikle yüzde olarak ifade edilir. Bu değer, harmonikleri içeren periyodik dalga şeklinin, tam bir sinüs dalga şeklinden sapmasını tespit için kullanılır. Sadece temel frekanstan oluşan tam bir sinüs dalga şekli için THD sıfırdır.

Toplam harmonik distorsiyonunun (gerilim için) diğer ifadeleri şöyledir:

$$THD_V = [V^2 - V_1^2]^{1/2} / V_1 \quad (2.39)$$

veya

$$THD_V = [(V/V_1)^2 - 1]^{1/2} \quad (2.40)$$

Benzer şekilde, n. harmonik mertebesindeki gerilim ve akım için tekil harmonik distorsiyonları sırasıyla,

$$HD_V = V_n / V_1 \quad \text{ve} \quad HD_I = I_n / I_1 \quad (2.41)$$

olarak tanımlanır [9].

Toplam Talep Distorsiyonu (TTD)

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

$$TTD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_L} \quad (2.42)$$

Burada, I_L yük tarafından, besleme sisteminin ortak bağlantı noktasından çekilen, temel frekanslı maksimum akımdır. On iki ay öncesinden başlanarak hesaplamının yapılacağı ana kadar olan süre zarfında yük tarafından talep edilen maksimum akımların ortalaması olarak hesaplanır. TTD kavramı IEEE ‘standart 519’ uygulamasında özellikle belirtilmiştir [9].

Şekil (Form) Faktörü

Şekil faktörü nonsinüsoidal bir dalga için,

$$K_f = \text{Efektif Değer} / \text{Ortalama Değer} \quad (2.43)$$

olarak tanımlanır. Bozulmuş sinüsoidal bir dalganın bozulma ölçütünü verecek olan bu faktör sinüsoidal bir dalga için, 1.11 değerine eşittir [9].

Tepe (Crest) Faktörü

Bu faktör, nonsinüsoidal akım veya gerilimin tepe değeri ile temel bileşenin efektif değeri arasında tanımlanır. Harmonik bileşenlerin en basit bir biçimde ortaya konmasını sağlayan bu faktör,

$$\text{Tepe Faktörü} = \text{Tepe Değer} / \text{Temel Bileşenin Efektif Değeri} \quad (2.44)$$

Eşitliği ile hesaplanır. Sinüsoidal bir dalga için bu değer, $\sqrt{2}$ ’ dir [9].

Telefon Etkileşim Faktörü (TEF)

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

$$TEFV = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (W_n V_n)^2} / V_{ef} \quad \text{ve} \quad TEFI = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (W_n V_n)^2} / I_{ef} \quad (2.45)$$

bağıntıları ile hesaplanır. Burada W_n , n’ inci mertebeden harmonik frekansı için işitsel ve endüktif kuplaj etkisini hesaplara dahil eden bir katsayıdır [9].

Transformatör K - Faktörü

Transformatörlerin lineer olmayan yükleri beslemesi sonucu transformatör üzerinden akan yük akımı, harmonik bileşenleri içerir. Son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda kuru tip transformatörlerin nonsinüsoidal akımlar çeken yükleri besleyebilme kapasitesinin bir ölçütü olarak kabul edilen ve standart transformatörlerin harmonik akımlarına bağlı olarak nominal gerilim ve akım değerlerinde meydana gelen düşüşlerin tayinine yarayan bir büyüklüktür. K-Faktörü, anma gerilimi veya anma gücü gibi transformatörler için imalatçısı tarafından belirlenmiş bir anma büyüklüğü olup anma gücü 500 kVA' nın altındaki transformatörler için tanımlanmıştır.

Transformatörler K-Faktörü diğer deyişle, harmonik akımlar mevcut olduğu zaman standart transformatörlerin yüklenme kapasitesindeki azalma miktarlarını hesaplamak için kullanılan bir kavramdır.

Nonlineer yükleri besleyen bir transformatör için K-Faktörü;

$$K = \sum_{n=1} (n \cdot \frac{I_n}{I_1})^2 \quad (2.46)$$

Transformatörün efektif akımına göre normlaştırdığında K-faktörü değeri;

$$K = \sum_{n=1} (n \cdot I_n / I_1)^2 / (1 + THD_1^2) \quad (2.47)$$

Standart transformatörün anma değerindeki düşümün hesaplanmasında, IEEE C57.110-1986' da

$$D = 1,15 / (1 + 0,15 \cdot K) \quad (2.48)$$

Burada D, transformatör gücündeki azalmayı belirtmektedir. Yani, harmonikli akımla yüklenen transformatörün verebileceği enbüyük güç değeri;

$$S_H = D \cdot S_N \quad (2.49)$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada S_N , transformatörün nominal gücüdür [9].

Distorsiyon Güç Faktörü

Gerilim ve akım, harmonikler içerdiğinde efektif değerleri şu şekilde de ifade edilebilir;

$$V = V_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_V}{100}\right)^2} \quad (2.50)$$

$$I = I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2} \quad (2.51)$$

Aynı biçimde toplam güç faktörü, gerilim ve akımın toplam harmonik distorsiyonu değeriyle;

$$Pf_{\text{toplam}} = \frac{P}{V_1 I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_V}{100}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} \quad (2.52)$$

olarak ifade edilir. Bu eşitlik aynı zamanda;

$$PF_{\text{toplam}} = \cos(\theta_1 - \delta_1) \cdot PF_{\text{dist}} \quad (2.53)$$

İle de verilir. Burada ilk terim ($\cos(\theta_1 - \delta_1)$), kayma güç faktörü ve ikinci terim ($pf \leq \text{dist}$), distorsiyon güç faktörü olarak bilinir. Kayma güç faktörü, 1' den büyük olamayacağından her zaman

$$Pf_{\text{toplam}} \leq pf_{\text{dist}} \quad (2.54)$$

olacaktır. Görüldüğü gibi, yüksek akım distorsiyonlu tek faz nonlineer yükleri için, toplam güç faktörü daha da düşmektedir. Rezonansa neden olma ihtimalinden dolayı bu gibi yükler için güç faktörü düzeltici kondansatörler gereklidir. Distorsiyon güç faktörünü iyileştirmenin bir başka yolu ise, nonlineer yükler tarafından üretilen harmonikleri yok etmek için pasif filtreler kullanmaktır [9].

2.2.2.2 Harmonik Filtreler

Harmoniklerin zararlı etkilerini engellemek için tasarıma yönelik alınacak tedbirler yeterli değildir. Bu tedbirlere ilave olarak harmonik akımların şebekeye geçmesinin engellenmesi gerekmektedir. Bunun için sisteme ilave edilmesi gereken ek devrelere ihtiyaç vardır. Devreye yerleştirilen ve istenen harmonik akımının süzülmesini sağlayan bu devrelere “harmonik filtresi” denir.

Harmonik filtrelerin amacı bir ya da daha fazla frekanstaki akım veya gerilimlerin etkisini yani harmonik seviyesini azaltmak veya yok etmektir. Örneğin; Harmonik üreten bir cihazdan beslenen yükün gerilim dalgasını düzeltmek, ac sisteme enjekte edilen istenmeyen harmonik bileşenleri önlemek, radyo frekans girişimlerini elimine

etmek gibi özetlenebilir. Filtrelerle, harmoniklerin meydana getirdikleri etkiler sonucu karşımıza çıkan teknik ve ekonomik olumsuzlukların giderilmesi hedeflenir [9].

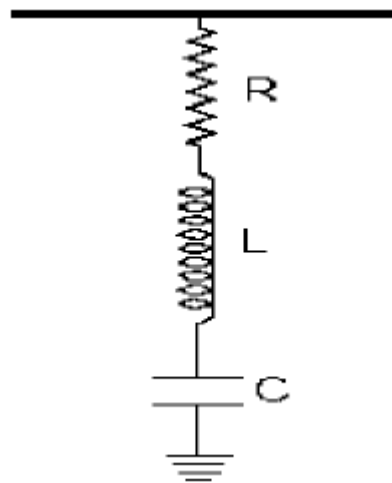
Pasif Filtreler

Pasif filtreler, kaynak ile alıcı arasına konulan ve temel frekans dışındaki bileşenleri yok eden seri bağlı kondansatör (C) ve endüktans (L) gibi pasif elemanların bileşimidir. Bazı durumlarda omik direnç (R) de ilave edilir.

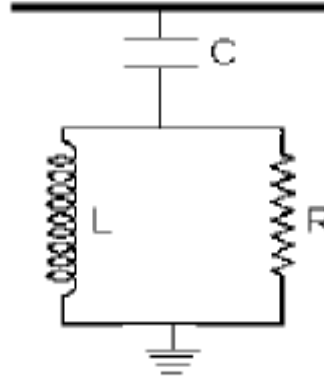
Pasif filtrelerde amaç, yok edilmek istenen harmonik bileşen frekansında rezonansa gelecek L ve C değerlerini belirlemektir. Her bir harmonik bileşen için onu rezonansa getirecek ayrı bir filtre kolu konulması gerekmektedir.

Pasif filtrelerde endüktif ve kapasitif reaktansları birbirine eşit yapan frekansa ayarlanabilir. Kalite faktörü Q, ayar keskinliği belirlemektedir. Q faktörüne göre; filtreler ya yüksek Q ya da düşük Q tipindedirler. Q değeri, yüksek Q tipi filtrelerde 30 ile 60 arasında değer alırken, düşük Q tipi filtrelerde 0.5 ile 5 arasında değerler almaktadır [9].

Yüksek Q filtresi, düşük harmonik frekanslardan birine ayarlanır. Düşük Q filtresi ise, geniş bir frekans aralığında düşük bir empedansa sahiptir ve yüksek mertebeli harmonikleri süzmek için kullanıldığında yüksek geçiren filtre olarak da düşünülür. Düşük ve yüksek Q tipi filtreler sırasıyla şekil 2.10 ve şekil 2.11' de verilmiştir.



şekil 2. 10 Tek ayarlı filtre devresi [9]



Şekil 2. 11 İkinci mertebe sönümlü filtre devresi [9]

Q kalite faktörü,

$$Q = X_r / R \quad (2.55)$$

olarak tanımlanır. Bu ifadede, X_r rezonans frekansındaki reaktansı ve R filtrenin direncini göstermektedir.

Yüksek geçiren sönümlü filtrelerde ise ayar keskinliği ifadesi,

$$Q = R / X_r \quad (2.56)$$

şeklinde dir. Arrillaga tarafından, bir filtrenin anma ayar frekansından uzaklaşması, ayar sapma faktörü δ ile tanımlanır ve filtrenin ayarlandığı açısal frekansı ω_n olmak üzere

$$\delta = (\omega - \omega_n) / \omega_n \quad (2.57)$$

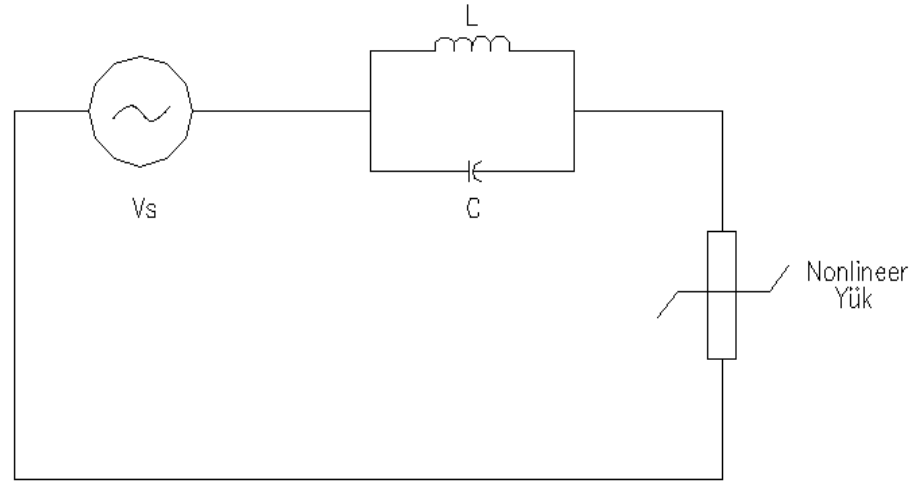
olarak belirlenir. Bu faktör, temel frekanstaki değişimlere, filtre ömrü ve sıcaklığının neden olduğu kondansatör kapasitesi ve endüktanstaki değişimlere, yapım toleransı ve Q için öngörülen ayar aralığının neden olduğu etkilere göre değişmektedir. Arrilaga tarafından bobin sıcaklık katsayısı derece başına %0.01, kondansatör sıcaklık katsayısı derece başına %0.05, frekans toleransı $\pm 1\%$ ve çevre sıcaklığı ± 20 derece alınması durumunda δ , 0.016 olarak elde edilmiştir [9].

Seri Filtreler

İstenmeyen harmonik bileşen akımlarını bloke etmek için yüksek bir seri empedansın kullanımı ile sistemde harmonik akımlarının akması engellenebilir. Amaç sadece özel bir frekanstaki işareti güç sistemine veya güç sistem elemanlarına girmesini önlemek olduğunda, seri filtre kullanılır.

Seri filtreler, harmonik kaynağıyla şebeke arasına seri olarak bağlanır ve harmonik akışına yüksek empedans gösterirler. Bu yüzden seri filtrelerin ayarlanmış olduğu frekansta yüksek empedans vardır. Seri filtre belirli bir frekansa ayarlandığı için, sadece o ayarlı frekans bileşenine yüksek empedans gösterir.

Seri filtreler, bir fazlı sistemde 3. harmoniğin baskın olduğu 1 fazlı uygulamada yaygındır. Seri filtreler genellikle temel frekansta düşük empedans gösterir. Seri filtrelerin en büyük dezavantajı, devrede seri olarak bulunduklarından tam yük akımını taşıma ve hat gerilimine göre yalıtılmak durumunda olmalarıdır. Bununla birlikte seri filtrelerin rezonans problemi yoktur. Bu da şönt filtreye nazaran avantajıdır [9].



Şekil 2. 12 Devrede seri filtrenin kullanımı [9]

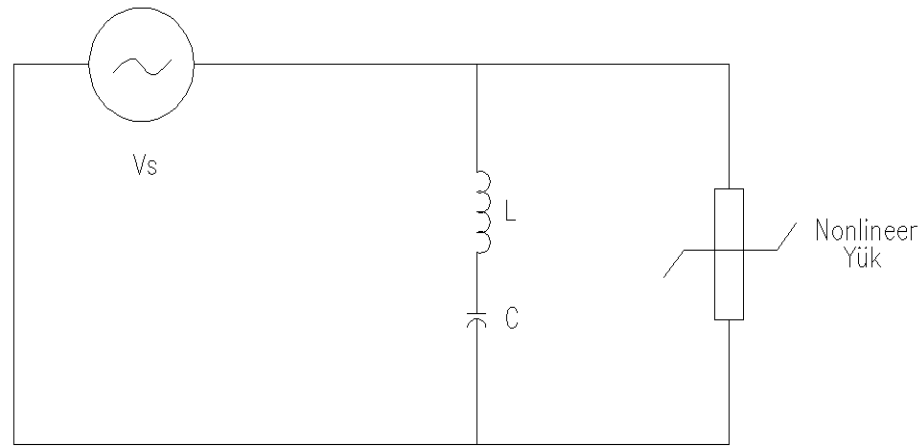
Şönt Filtreler

İstenmeyen harmonik bileşen akımları düşük empedanslı bir paralel (şönt) yol yardımıyla toprak seviyesine akıtılarak sistem içinde dolaşımı engellenebilir.

Seri filtrelerin maliyetinin yüksek olması ve şönt filtrelerin temel frekansta reaktif güç ihtiyacını karşılaması, şönt filtrelerin tercih edilmesine neden olur. Bu iki özellikli filtre tasarımı en kolay ve uygulaması en ucuz olanıdır.

Şönt filtreler harmonik kaynağıyla şebeke arasına paralele olarak bağlanırlar. Bu tip filtrelerle amaç, düşük bir şönt empedans yoluyla istenmeyen harmonik akımların filtre üzerinden geçmesini sağlamaktır. Bu nedenle şönt filtreler harmonik akımlarına çok düşük bir empedans göstermek için tasarlanır. Ayrıca şönt filtreler temel frekansta

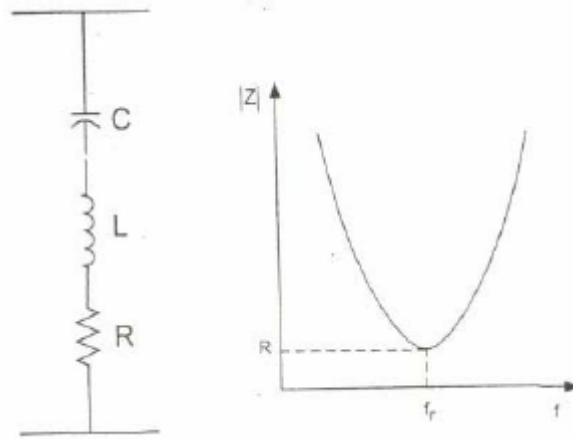
reaktif güç sağlayarak güç faktörü düzeltiminde de kullanılırlar. Bu yönüyle ekonomiklik sağlarken buna karşılık paralel filtreler, temel frekansta reaktif güç üretebilirler ve daha ekonomiktirler. En önemli özellikleri de tasarımlarının kolay olmasıdır. Bu yüzden güç sistemlerinde harmonik frekanslı akımlara düşük empedanslı bir yol sağlayan paralel filtreler kullanılır. Tek tek veya birleştirilmiş seri veya paralel filtreler, her frekans için ayrı bir filtre devresi gerektirmesi nedeniyle oldukça pahalıdır. Şönt filtre de, seri filtre gibi sadece ayarlı frekansında veya ayarlı frekans civarında etkilidir. Şönt filtre kullanımının en büyük sakıncası güç sistemiyle rezonansa girmesidir. Filtre bileşenleri mevcut şebeke empedansı ile birbirini etkileyerek rezonansı gerçekleştirirler. Bundan dolayı, ayarlı bir şönt filtrenin dizaynı ve uygulaması için bu filtrenin uygulanacağı mevcut güç sistem şebekesinin ayrıntılı bir analizi gerekmektedir. Şönt filtrelerin yerleşimi de çok önemlidir. Merkezi bir yerleşim, rezonans durumunda daha büyük bir zarara sebep olur. Her ne kadar rezonans problemi dikkate alınarak şönt filtrenin tasarımı yapılsa da, gelecekte elektrik şebekesinde olabilecek herhangi bir büyüme ve değişim sistemin değerlerini değiştirecek ve yeni bir yerleşim ve tasarımı gerektirecektir [9].



Şekil 2. 13 Devrede şönt filtrenin kullanımı [9]

Tek Ayarlı Filtreler

Tek ayarlı filtreler, düşük empedans veya kısa devre oluşturarak ayarlanan frekanstaki harmonik akımının bastırılmasını sağlarlar. Bu işlemi genellikle tek bir frekans değeri için yaparlar. Tek ayarlı filtreler, seri RLC devresinden meydana gelmektedir.



Şekil 2. 14 Tek ayarlı filtre devresi [9]

Tek ayarlı filtre için ω açısıl frekansındaki filtre empedansı Z_f şu şekilde verilir:

$$Z_f = R + j(\omega L - 1/\omega C) \quad (2.58)$$

Filtre empedansını filtre parametrelerine bağlı olarak elde etmede aşağıdaki bağıntılardan yararlanarak bu bağıntılarda X_r rezonans anındaki reaktans değerini göstermektedir.

$$\omega = \omega_n (1 + \delta) \quad (2.59)$$

$$\omega_n = 1 / \sqrt{LC} \quad (2.60)$$

$$C = 1 / \omega_n X_r = 1 / \omega_n RQ \quad (2.61)$$

$$L = X_r / \omega_n = RQ / \omega_n \quad (2.62)$$

kullanılarak Arrillaga tarafından empedans için

$$Z_f = R.[1 + JQ\delta.(2 + \delta / 1 + \delta)] \quad (2.63)$$

Eşitli verilmiş olup δ 'nın değerinin 1'e göre çok küçük olmasından sonuçta,

$$Z_f = R.(1 + J2Q\delta) = X_r.(Q^{-1} + J2\delta) \quad (2.64)$$

Şeklinde verilmiştir. Burada X_r rezonans anındaki reaktansı göstermektedir.

Tek ayarlı filtre kullanımı en uygun filtre olup filtre kolunun empedansı şu şekildedir;

$$Z = R + j(\omega L - 1/\omega C) \quad (2.65)$$

Filtrenin ayarlandığı frekansta empedansın imajiner kısmı sıfıra eşit olur ve rezonans meydana gelir. Rezonans anında empedans, R direncine eşit olur. Filtrenin ayarlı olduğu rezonans frekansı,

$$f_r = 1 / 2\pi\sqrt{LC} \quad (2.66)$$

ile belirlenir. Harmonik bileşenler göz önünde alındığında n. harmonikteki rezonansla filtredeki elemanların endüktif ve kapasitif reaktansları,

$$X_{Ln} = n\omega L \quad (2.67)$$

$$X_{Cn} = 1 / n\omega C \quad (2.68)$$

olacaktır. Rezonans durumunu r indisi ile gösterirsek rezonans halinde

$$X_{Lr} = X_{Cr} \quad (2.69)$$

Olur. Harmonik filtrelerindeki kondansatörler yıldız veya üçgen olarak bağlıdır.

Filtredeki elemanların belirlenmesinde şu yol izlenir:

Daha önce belirtildiği gibi filtreler temel frekansta reaktif güç kompanzasyonunda da kullanıldıklarından gerekli kondansatör kapasitesi reaktif güç eşitliği,

$$Q_C = \omega.C.U^2 \quad (2.70)$$

İle belirlenir. Filtreler için kullanılacak kondansatör kapasitesinin değerinin belirlenmesinde kullanılacak şönt filtre adedinden yararlanılır. Şönt filtre kolu sayısı k olmak üzere her filtre için kondansatör kapasitesi değeri,

$$C_r = C / k \quad (2.71)$$

olacaktır.

Filtrelerin ayar keskinliğinin ölçüsü olarak bilinen kalite faktörü,

$$Q = (\sqrt{L/C}) / R = X_{Lr} / R = X_{Cr} / R \quad (2.72)$$

olarak verilir. Burada X_{Lr} ve X_{Cr} reaktans değerleri, rezonans frekansındaki değerlerdir.

Verilen bir kalite faktörü değeri için filtrenin endüktansı, kalite faktörü ifadesinden

$$L_r = X_{L_r} / 2\pi f_r = R \cdot Q / 2\pi f_r \quad (2.73)$$

Olarak belirlenir. Aynı şekilde kondansatör değeri,

$$C_r = 1 / 2\pi f_r \cdot X_{C_r} = 1 / 2\pi f_r \cdot R \cdot Q \quad (2.74)$$

İle hesaplanır.

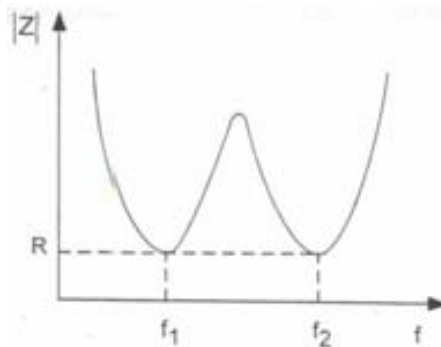
Filtrenin kaynak empedansı ile etkileşime girmesiyle rezonans meydana gelebilir. Bu frekans değeri, filtrenin ayarlandığı frekanstan daha düşük bir frekanstır. L_s kaynak özendüktansı ve L filtre endüktansı olmak üzere, rezonans frekansı;

$$f = (1 / 2\pi) \cdot \sqrt{1 / (L_s + L) \cdot C} \quad (2.75)$$

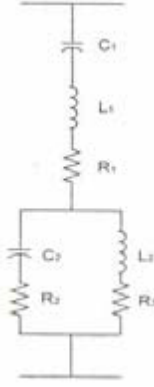
olarak bulunur. Filtrelerin sistemde rezonansa girdiği bu frekans değerinin kontrol edilmesi gereklidir [9].

Çift Ayarlı Filtre

Çift ayarlı filtreler adından da anlaşılacağı gibi iki ayrı frekansta ayarlı olup ayarlandıkları bu frekanslarda düşük empedans göstererek bu frekanstaki harmonik bileşenlerin süzülmesini sağlarlar. Tek ayarlı filtre ile karşılaştırıldığında temel frekanstaki güç kaybının azlığı, bu filtrelerin en önemli özelliğidir. Bundan başka endüktansların sayısının ayarlanması ile yüksek gerilimlerde bütün darbe gerilimlerini denetim altına alırlar [9].



Şekil 2. 15 Çift ayarlı filtrenin empedans değişimi [9]

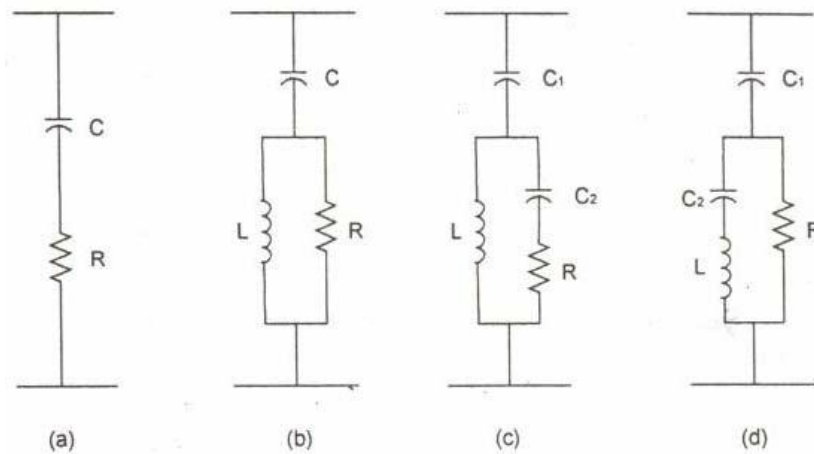


Şekil 2. 16 Çift ayarlı filtre devresi [9]

Sönümlü Filtreler

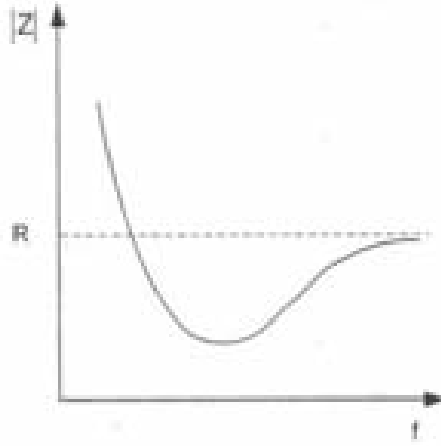
Yüksek mertebeli harmoniklerin süzülmesinde belirli frekanstan sonra empedansı düşük değerler gösteren filtrelerin kullanımı uygun olmaktadır. Bu nedenle gösterdikleri özellikler nedeniyle filtreler kendi aralarında sınıflandırılabilir.

Sönümlü filtreler yüksek dereceli harmonik bileşenlerini (örneğin 17 ve üzeri) filtrelemek için kullanıldığında yüksek geçiren filtre olarak anılırlar. Bu durumda yüksek frekansa küçük empedans gösterirken düşük frekanslara yüksek empedans gösterirler. Sönümlü filtrelerin kalite faktörleri 0,5 ile 5 aralığında olup düşük değerdedir. Genellikle ayarlandıkları frekans, rezonans frekansından düşüktür. Örneğin, 11 yerine 10.7, 17 yerine 16.5 gibi seçilir.



Şekil 2. 17 Sönümlü filtre devreleri [9]

a) birinci derece b) ikinci derece c) üçüncü derece d) C tipi



Şekil 2. 18 Sönümlü filtrenin frekans –empedans değişimi [9]

Karşılaştırıldığında her filtrenin avantajı farklılıklar göstermektedir. Birinci dereceden sönümlü filtreler temel frekansta aşırı kayıplara sahip olup büyük bir kapasite gerektirdiklerinden yaygın olarak kullanılmaz. İkinci dereceden filtreler iyi bir filtreleme performansı sağlar, fakat üçüncü dereceden filtrelere göre daha yüksek temel frekans kayıpları gösterirler. Üçüncü dereceden sönümlü filtrelerin ikinci dereceye göre temel üstünlüğü, C_2 kapasitesinin neden olduğu frekansta empedans artmasından dolayı, temel frekans kaybına neden olmasıdır. C tipi filtrenin filtreleme performansı, ikinci ve üçüncü dereceden filtrelerin arasında yer almakta olup, temel frekans kayıplarının azlığı önemli bir avantaj sağlar.

Düşük mertebeli harmonikler için sönümlü filtrelerin kullanımı ekonomik olmamakla beraber bu filtrelerin başlıca üstünlükleri şu şekilde ifade edilebilir:

- Kapasite kayıpları, çalışma ve yüklenme sırasında ısı değişimine daha az duyarlıdır. Frekans sapmaları da üretim toleransları üzerinde fazlaca etkili olmamaktadır.
- Artan anahtarlama ve bakım sorunları bakımından paralel kolların ek devrelere ayrılmasına gerek duyulmaksızın, geniş bir frekans aralığında düşük bir empedans sağlarlar.
- İkinci mertebeden yüksek geçiren bir filtre, yüksek frekanstaki harmonikleri zayıflatmada tek ayarlı bir filtreden daha etkilidir.

İkinci dereceden sönümlü filtrenin empedansı

$$Z = (1 / j\omega C) + (1/R + 1/j\omega L)^{-1} \quad (2.76)$$

olarak verilir. Filtrenin kalite faktörü de aşağıdaki şekilde verilir.

$$Q = R / (L/C)^{1/2} = R / X_L = R / X_C \quad (2.77)$$

$r = X_C / X_L$ eşitliği de, yüksek geçiren filtre için sınırlıdır. Yüksek geçiren filtrede Q (kalite faktörü), 0,5 ile 2 arasında değişik değerler alır. Köşe frekansında Q' nun değeri iken, filtrelemeden daha çok söz edilir. Daha yüksek frekanslarda filtre empedansı durmadan yükselirken Q' nun daha düşük değerleri için köşe frekansındaki cevabı görülemez ve frekans artarken empedans aşağı yukarı sabittir. Q' nun seçiminde düşünülebilecek diğer faktörler şunlardır:

Arrillaga tarafından verilen Ainsworth' un kullandığı eşitliklerde ikinci dereceden sönümlü filtre için ayar frekansı ve m katsayısı tanımlanmıştır. Bu parametreler sırasıyla şu şekilde ifade edilir:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} \quad (2.78)$$

$$m = \frac{L}{R^2 \cdot C} \quad (2.79)$$

Tipik değerler için m, 0,5 ile 2 aralığındadır. 2. tip filtrenin admitansı, m değerinin azalmasıyla artış göstermekte ve köşe frekansı da aynı şekilde artmaktadır [9].

2.2.3 Statik VAR Kompanzasyon

Elektrik enerjisinin kalitesi birçok nedenden ötürü titizlikle ele alınması gereken bir konudur. Günümüzde, güçlü ve hızlı devreye girip çıkan yüklerin güç faktörü geleneksel elektromekanik kompanzasyon düzenekleri ile düzeltilemez. Bunun nedeni geleneksel kompanzasyon sistemlerinin, yükün ani şekilde ihtiyaç duyduğu reaktif güç talebine hemen cevap verememesi ihtiyaç duyulan kapasitif reaktif gücün kompanzasyon sisteminden karşılanamamasıdır. Bu problemten yola çıkarak statik VAR kompanzasyon geliştirilmiştir.

Statik VAR kompanzatör (SVC) ile güç faktörünün sık ve büyük değişimler gösterdiği ark ocakları, asansörler, otomotiv, kağıt, ambalaj, gıda, tekstil, cam ve çimento sektöründe kullanılan punto kaynak makinesi, liman vinçleri, düz kaynaklar gibi çok

hızlı devreye girip çıkan büyük güçlü yüklerin anlık kompanzasyonu hızlı biçimde yapılabilir.

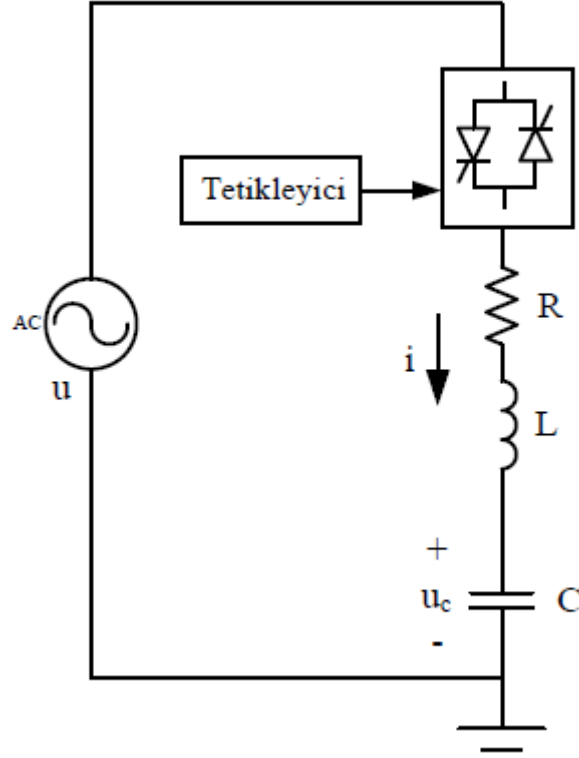
Statik VAR kompanzatörler temel olarak tristör kontrollü elemanları kullanılır. Bir statik VAR sisteminin tamamını veya bir kısmını meydana getiren reaktif güç kontrol elemanlarının temel tipleri: tristör kontrollü reaktör (TCR), tristör anahtarlama reaktör (TSR) ve tristör anahtarlama kondansatör (TSC) olarak ele alınabilir. SVC, maksimum kapasitif ve endüktif güç sınırlarına ve bu sınırlar arasında her değeri sağlama yeteneğine sahiptir [10].

Statik VAR kompanzatörlerinin temel tiplerini şu şekilde sınıflandırabiliriz [11];

- Tristör Anahtarlama Kapasitör (TSC)
- Tristör Anahtarlama Reaktör (TSR)
- Tristör Kontrollü Reaktör (TCR)
- Sabit Kondansatörlü Tristör Kontrollü Reaktör (FC-TCR)
- Tristör Kontrollü Seri Kapasitör (TCSC)
- Tristör Kontrollü Faz Değiştirici (TCPV)

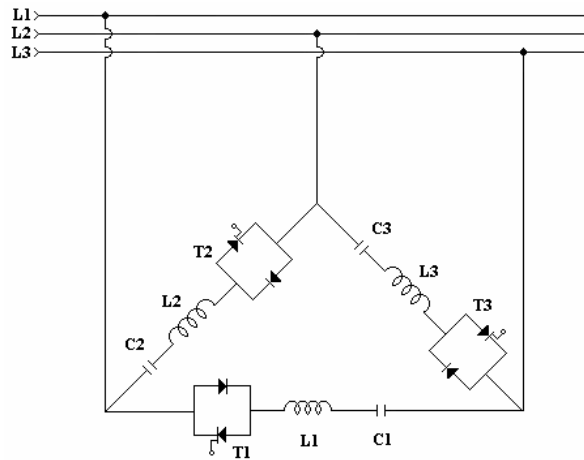
2.2.3.1 Tristör Anahtarlama Kapasitör (TSC)

Tristör valfinin tam veya sıfır iletim kontrolü ile etkin reaktansı adımli olarak değiştirilen ters paralel bağı tristör anahtarlama bir kapasitördür. Şekil 2.19' da TSC eşdeğer devresi görülmektedir. TSC, alternatif akım kıyıcı ile buna seri bağı bir kondansatörden meydana gelmektedir. Kontrol elemanı kondansatördür, anahtar integral yarım döngü kontrolü ile çalıştırılır, kondansatör tam olarak devreye girer veya çıkar[12]. Anahtarlama, akım akışı durması için akım geçişinin sıfır anında tristör kapı darbeleri engellenerek gerçekleştirilir [12]. Buna ilaveten devredeki L endüktansının da iç direnci bulunmaktadır. Bu eleman tetiklemenin olmadığı durumlarda meydana gelebilecek anlık yüksek akımları sınırlamak için kullanılmıştır [11]. Birden fazla TSC yapısı (güçleri birbirlerine yaklaşık olarak eşit seçilerek) aynı yük barasına paralel olarak bağlanırlar. Reaktif güç talebi arttıkça tristörler tetiklenerek ihtiyaç duyulan sayıda TSC devreye alınır.



Şekil 2. 19 TSC eşdeğer devresi [11]

Üç fazlı uygulamalarda TSC cihazı şekil 2.20’ de gösterildiği gibi üçgen (delta) olarak bağlanmaktadır. TSC’ nin kontrolü on-off kontrol tekniği ile yapılır. Enerji sisteminde, başlangıçta meydana gelebilecek bozulmaları önlemek için TSC yapısındaki kondansatörler devreye alınmadan önce kaynak geriliminin tepe değerine şarj edilerek devreye alınmaktadır [11].



Şekil 2. 20 TSC’ nin üç fazlı eş değer devresi [12]

Kararlı hal şartlarında tristör valfi kapandığında ve TSC kolu bir sinüsoidal AC gerilim kaynağına bağlandığında gerilim,

$$V' = V.\sin(\omega t) \quad (2.80)$$

koldaki akım,

$$i(\omega t) = V.\left(\frac{n^2}{n^2-1}\right) \cdot \omega C.\cos(\omega t) \quad (2.81)$$

ile verilir. Burada n,

$$n = 1 / \sqrt{\omega^2 LC} = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \quad (2.82)$$

ile hesaplanmaktadır. Kondansatörün iki ucu arasındaki gerilimin genliği,

$$V_C = V.\left(\frac{n^2}{n^2-1}\right) \quad (2.83)$$

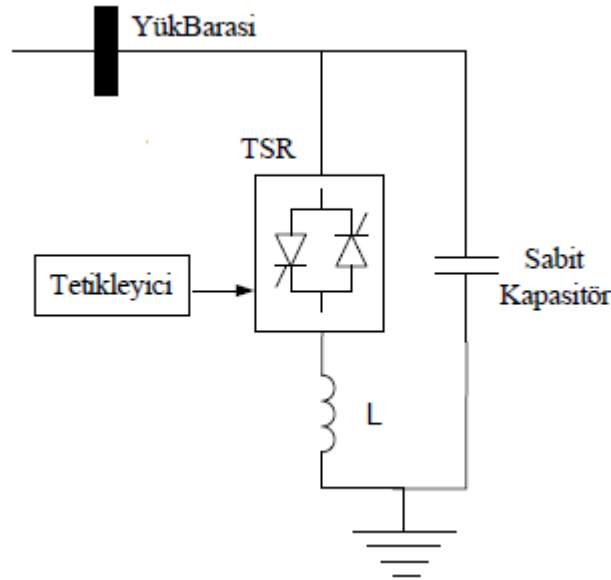
eşitliği ile bulunmaktadır. TSC kolu, akımın herhangi bir sıfır anında tristör valfine sinyal verilerek devre dışı bırakılır. Akımın sıfır geçişlerinde kondansatör gerilimi en yüksek değerindedir. Bu durumda kondansatör şarj durumundadır. Bağlantısı kesilen kondansatör bu gerilim değerinde şarja sahiptir ve bu nedenle iletken olmayan tristör valfinin uçlarındaki gerilim, uygulanan AC gerilimin sıfır ve tepe değerleri arasındadır [10].

Bağlantısı kesilen kondansatörün uçlarındaki gerilim değişmeden kalırsa, uygulanan AC gerilimin uygun tepe değerinde hiçbir geçici durum olmadan TSC grubu tekrar anahtarlanabilir. Normalde kondansatör bağlantısı açıldıktan sonra deşarj edilir. Böylece, kondansatörün tekrar bağlanması sıfır ile $Vn^2 / (n^2-1)$ arasındaki bazı artık kondansatör gerilimlerinde gerçekleştirilmelidir. Tristör valfinin uçlarındaki gerilim sıfır olduğunda uygulanan AC gerilim ve kondansatör artık gerilimi birbirine eşittir [10].

2.2.3.2 Tristör Anahtarlama Reaktör (TSR)

TSR kullanılarak oluşturulan SVC yapısındaki filtreler, SVC yapısındaki güç elektroniği elemanlarının neden olduğu ve büyük değerli endüstriyel yüklerden kaynaklanan harmonikleri ortadan kaldırmak amacıyla kullanılır [10]. TSR, reaktif güç tüketen paralel bir kompanzatördür. Çalışma prensibi basit, sadece yarım saykılık

gecikmeye sahip ve harmonik üretimi yapmamaktadır. Bağlama aşırı gerilimlerine ve geçici olaylara yol açmamak için reaktör elemanları; sisteme uygulanan alternatif gerilimin pozitif ve negatif tepe değerlerinde yani akımın sıfır geçiş noktalarında devreye alınır ve çıkarılırlar. TSR yapısında sadece alternans başlarında ($\mp 90^\circ$) tetiklemem yapıldığından harmonik problemi ortadan kalkmaktadır. Şekil 2.21’ de TSRtabanlı SVC’ nin eşdeğer devresi görülmektedir. TSR, alternatif akım kısıyıcı ile buna seri bağlı bir reaktörden meydana gelmektedir. SVC oluşumu ise mevcut TSR yapısına paralel bağlı bir sabit kondansatör eklenmesi ile elde edilmektedir. Üç fazlı uygulamalarda TSR cihazı üçgen (delta) olarak bağlanmaktadır [11].

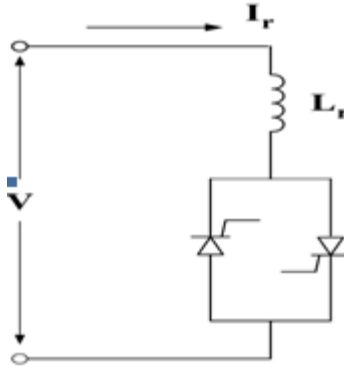


Şekil 2. 21 TSR tabanlı SVC’ nin eşdeğer devresi [11]

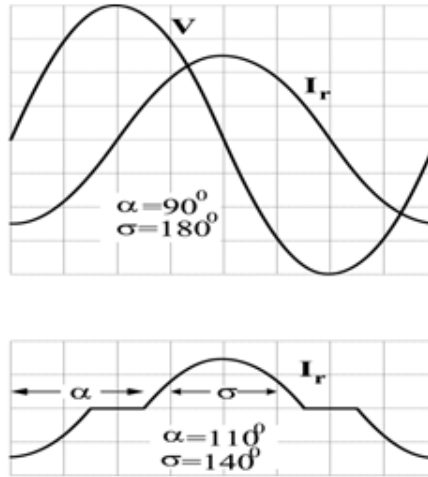
2.2.3.3 Tristör Kontrollü Reaktör (TCR)

Güç sistemlerinde kullanımı hızlı bir biçimde artan tristör kontrollü reaktör içeren statik VAR kompanzatörler, sürekli ve hızlı bir reaktif güç ve gerilim kontrolü sağlama kabiliyetleri sebebiyle sistemin performansını ve kalitesini pek çok yönden geliştirebilmektedir. Bunlar; güç frekansında geçici aşırı gerilimlerin kontrolü, gerilim çökmesinin önlenmesi, geçici kararlılığının artırılması, iletim ve dağıtım sistemlerinde dengesiz yükleri besleyen üç fazlı sistemlerin dengelenmesi ve kesintili sürelerde çalışan yüklerin sebep olduğu gerilim salınımlarının önlenmesi olarak sıralanabilir [10].

İletim sistemlerinde kullanılan tristör kontrollü reaktör, kapalı çevrim gerilim regülatörü ve tristör tetiklemeli kontrol sistemi içerir. Genel bir TCR yapısı şekil 2.22’ de verilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü gibi TCR, paralel bağlı iki tristör ve bunlara seri bağlı bir reaktörden oluşur. Bu iki ters paralel tristör simetrik bir biçimde kapılanmıştır. Buradaki tristörler zamana bağlı olarak akımın temel bileşenini kontrol eder. Tristörlerin her biri, uçlarındaki gerilimin sıfır geçiş anından itibaren ölçülen tetikleme açısına (α) ya da iletim açısına (σ) bağlı olarak dönüşümlü olarak yarım periyotluk sürelerle iletimde olurlar. Şekil 2.23’ de görüldüğü gibi tetikleme açısının 90° ile 180° değerleri arasında kısmi iletim söz konusudur. Tetikleme açılarının 0° ile 90° değerleri arasında olması durumunda, doğru akım bileşenli asimetrik akımlar meydana geleceğinden, bu aralıklarda işletimine pratikte müsaade edilmez. Tam iletim 90° tetikleme açısında elde edilir. Bu durumda akım, reaktif karakterde ve sinüsoidaldir. Kısmi iletimler ise 90 ile 180 derece arasındaki açılarda elde edilir. Tetikleme açısının arttırılmasının etkisi akımın temel bileşeninin düşürülmesidir. Bu değer, reaktörün reaktif gücünü ve akımının düşmesini sağlar. Dolayısıyla reaktörün endüktans değerinde de bir artış meydana gelir. Akımın temel bileşeniyle ilgili olduğu kadarıyla tristör kontrollü reaktör kontrol edilebilir bir süseptanstır [10].



Şekil 2. 22 TCR’ nin temel yapısı [15]



Şekil 2. 23 TCR' ye ait akım ve gerilim dalga şekilleri [15]

Şekil 2.21' de görülen tristörlerin α tetikleme açıları ya da σ iletim açıları uygun seçilmek şartıyla, reaktör akımının efektif değeri, istenilen sınırlar içinde ayarlanabilir.

Burada iletim açısını (σ) tetikleme açısı cinsinden yazarsak;

$$\sigma = 2(\pi - \alpha) \quad (2.84)$$

Reaktör üzerinden geçen ani akım ifadesi ise şu şekilde yazılabilir;

$$\begin{cases} \frac{\sqrt{2}V}{X} (\cos(\frac{\pi-\sigma}{2}) - \cos(\omega t)), & \frac{\pi-\sigma}{2} \leq \omega t \leq \frac{\pi+\sigma}{2} \\ 0, & \frac{\pi+\sigma}{2} \leq \omega t \leq \frac{3\pi-\sigma}{2} \end{cases} \quad (2.85)$$

Devrenin temel akım bileşeni Fourier analizi ile şu şekilde hesaplanabilir;

$$I_r = \frac{V_m}{\sqrt{2}X_r} (\pi - \sin\sigma / \pi) \quad (2.86)$$

Burada V_m değeri reaktörün maksimum değerini, X_r değeri ise reaktörün reaktansını göstermektedir. Devrenin temel akımı I_r , σ ve α değerleriyle bağlantılıdır. Akımın ve gerilimin bileşenlerinden yararlanılarak TCR süseptans değeri şu şekilde hesaplanabilir;

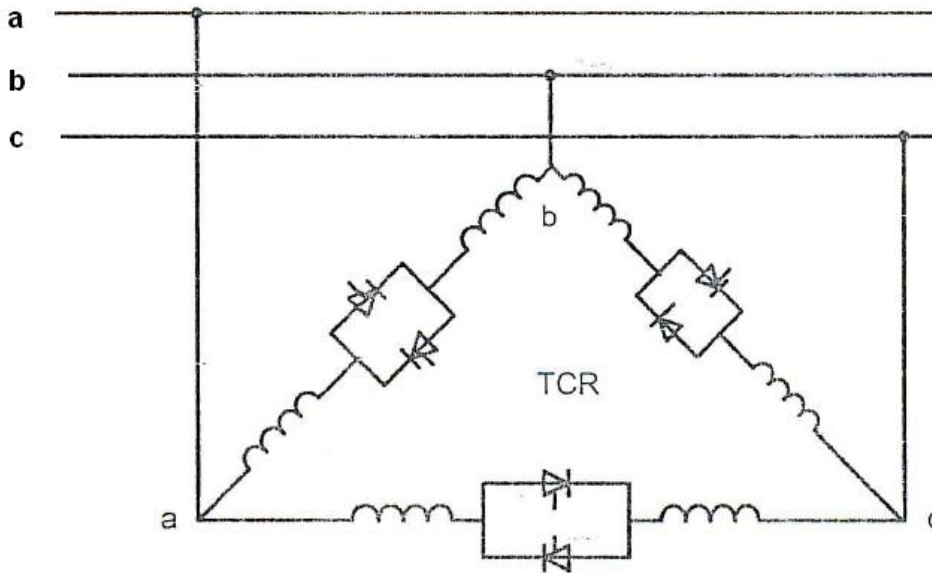
$$B(\alpha) = I_1 / V = (\sigma - \sin\sigma) / X_r \cdot \pi = (2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha) / X_r \cdot \pi \quad (2.87)$$

TCR için efektif süseptans değerleri Çizelge 2.1' deki gibi değişmektedir. Devrede maksimum süseptans değeri $\sigma=180^\circ$ ve $\alpha=90^\circ$ değerlerinde elde edilir.

Çizelge 2. 1 TCR' nin tetikleme ve iletim açılarına bağlı olarak değişimi [10]

α	σ	B	Açıklama
90°	180°	$(X_r)^{-1}$	Maksimum süseptans
110°	140°	$0.5732(X_r)^{-1}$	-
130°	100°	$0.2421(X_r)^{-1}$	-
150°	60°	$0.0577(X_r)^{-1}$	-
180°	0°	0	Minimum süseptans

Şekil 2. 24' de üç fazlı üçgen bağlı TCR'nin bağlantı şeması gösterilmektedir.



Şekil 2. 24 TCR' nin üç fazlı eşdeğer devresi [10]

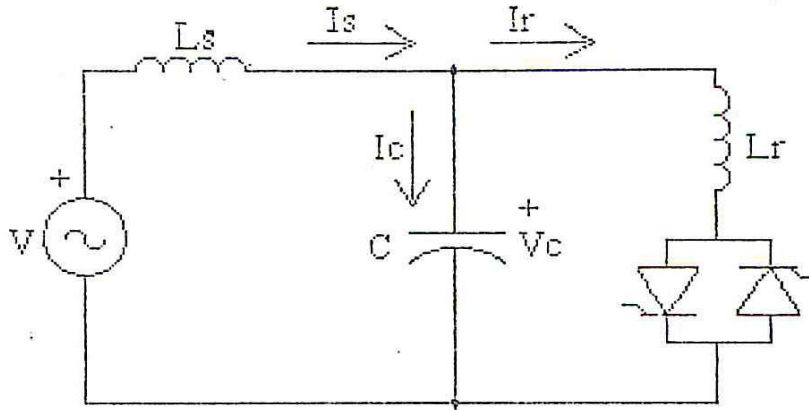
Şekil 2.23' de verilen TCR akım-gerilim karakteristiğine göre (TCR karakteristiği ile sistem yük eğrisinin kesiştiği nokta) $\sigma=120^\circ$ de çalışması durumunda TCR amacına yönelik çalışmış ve bara geriliminin de referans değerinde tutulması sağlanmış olacaktır.

2.2.3.4 Sabit Kondansatörlü Tristör Kontrollü Reaktör (FC-TCR)

Sabit kondansatörlü tristör kontrollü reaktör (FC-TCR) içeren statik VAR kompanzatörleri, sabit kondansatör gruplarına paralel bağlı (σ açısı ile kontrol edilen)

değişken bir reaktörden oluşur. Tristörün iletim aralıkları kontrolünün tekniği her yarım periyotda (σ açısı 90° den 180° ye artışı) anahtarlanır, harmonik akım bileşenleri üretir. Hızlı tepki ve dengeli yük kapasitesini sabit kondansatör yapar, çeşitli dengesiz durumlarda tristör kontrollü endüktansın en önemli avantajı yükleri kompanze etmeyi seri bir şekilde sunmasıdır [13]. Sabit kondansatörlü tristör kontrollü reaktörde, bir yandan sabit kondansatörler reaktif güç üretirken, diğer yandan tristör kontrollü reaktör güç tüketecektir. Bu düzenin endüktif bölümü bir özel sabit reaktör ve tristör kontrollü reaktör VAR (Volt - Amper – Reaktif) üreticisi gibi kabul edilebilir. Sabit reaktör ayrı adımlarda değiştirilir. Örneğin bir tristör anahtarlı reaktör gibi uygulanır ve değişken reaktör azaltılmış kontrol aralığı içinde TCR' nin çalışmasını tutmak için sürekli değiştirilir [14].

Belirli bir gerilim seviyesinde kondansatör grubunun reaktif güç üretimi sabit olduğundan, selften sağlanan sistemin reaktif güç üretimi tristörlerin tetikleme açılarının değiştirilmesiyle belirlenmektedir. Tristörlerin tetikleme açılarının değiştirilmesi reaktör akımının temel bileşenini, dolayısıyla reaktif gücün büyüklüğünü kontrol edecektir. Bazen tetikleme açılarının uygun seçilmemesi, tristör kontrollü reaktörün harmonik üretiminin etkin olduğu belli değerlerde, rezonans şartları bakımından olumsuzluklara yol açabilecektir.



Şekil 2. 25 Sabit kondansatörlü - tristör kontrollü reaktör devre şeması (FC-TCR) [10]

Aşağıdaki formülde B_C ve $B_L(\sigma)$ sembolleri FC-TCR' nin süseptans değerini göstermektedir.

$$B(\alpha) = BC - BL(\sigma) \quad (2.88)$$

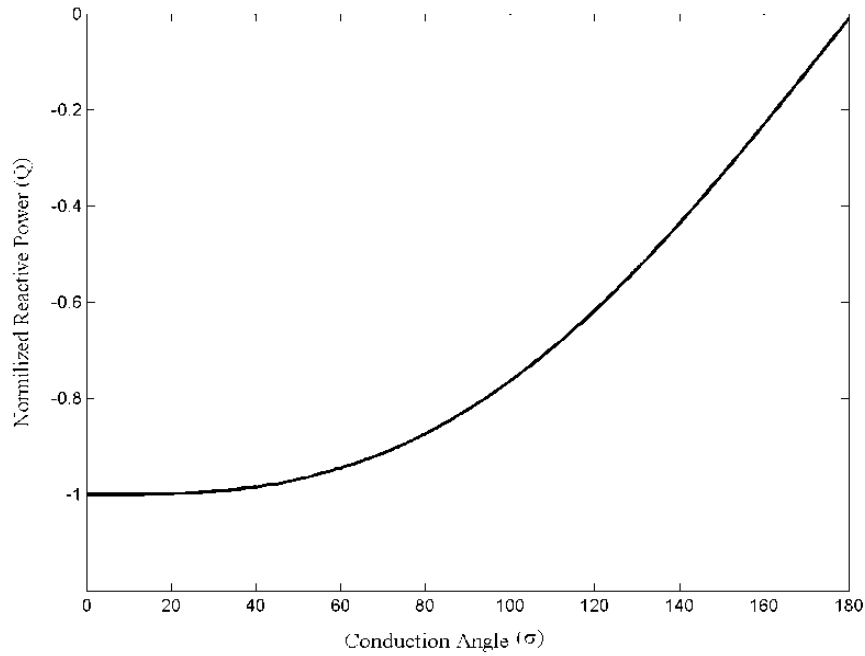
$$B_L(\sigma) = (\sigma - \sin\sigma) / X_r \pi \quad (2.89)$$

Sabit kondansatörlü reaktörlerde, σ iletim açısı ve α tetikleme açısı sayesinde reaktif gücü istediğimiz sınırlar içerisinde tutmak mümkündür. Buradan yararlanarak;

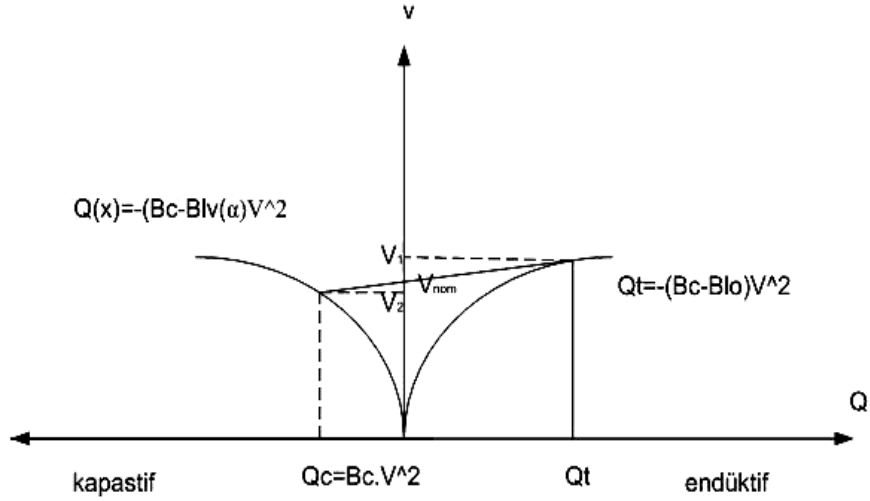
$$Q(\sigma) = -[B_C - B_L(\sigma)].V^2 \quad (2.90)$$

Burada V değeri; FC-TCR' nin rms cinsinden gerilim değeridir.

FC-TCR' nin ürettiği reaktif gücün iletim açısına bağlı değişimi Şekil 2.26' da görülmektedir.



Şekil 2. 26 İletim açısı ile reaktif güç ilişkisi [15]

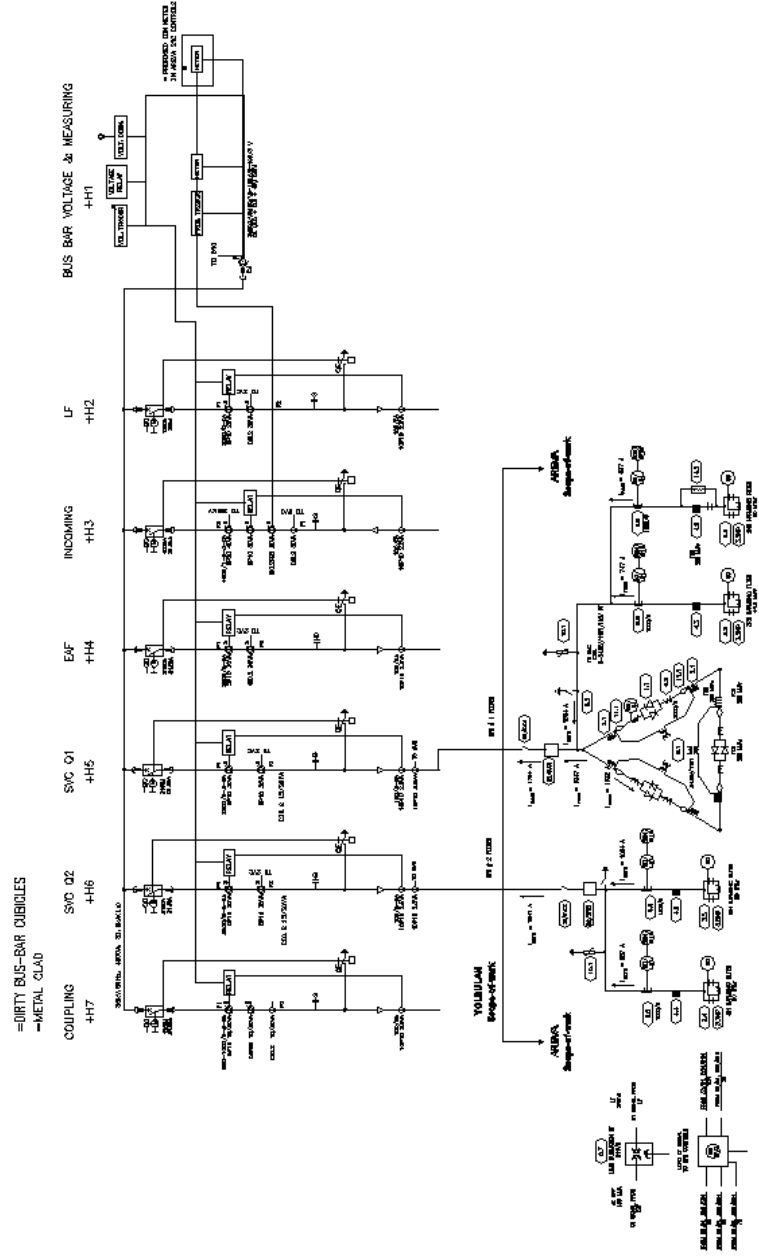


Şekil 2. 27 Sürekli halde kompanzatörün gerilim-reaktif güç ilişkisi [15]

Şekil 2.27’ den görüldüğü gibi kompanzatörün kontrolü V_1 ve V_2 gerilimleri arasındaki bölgede yapılır. Gerilim ve reaktif güç arasında lineer değişim vardır. Tristörlerin tetikleme açısı α' ya göre $\alpha=0$ iken (Q_L, V_1) noktasından $\alpha=\pi/2$ olduğunda (Q_C, V_2) noktasına kadar lineer olarak değişim gerçekleştirilebilir.

Farklı tetikleme açılarında, kompanzatör akımı temel bileşeni şebeke gerilimine göre ileri ya da geridedir. Maksimum kapasitif güç çıkışı $\alpha = 90^\circ$ olduğu zaman elde edilir. Statik VAR kompanzatörler genelde; yük kompanzasyonu ve enerji iletim sistemlerinde gerilim desteklenmesi amaçları için kullanılır [15].

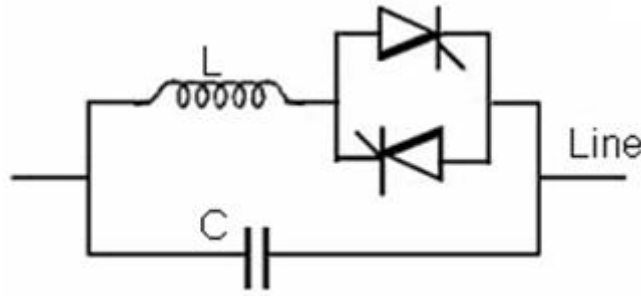
Şekil 2.28’ de bir demir çelik fabrikasında uygulanan FC-TCR kompanzatör devresinin bağlantı tek hat şeması gösterilmektedir. (Tek hat şema detayını görmek için EK-A’ ya bakınız.)



Şekil 2. 28 FC-TCR kompanzator devresinin tek hat şeması

2.2.3.5 Tristör Kontrollü Seri Kapasitör (TCSC)

TCSC kullanılarak yapılan statik VAr kompanzatörler, kompanze edilen sisteme birçok fayda sağlar. TCSC sistemi ile hattın doğal empedans değeri artırılarak daha etkili bir biçimde güç ve kararlılık kontrolü yapılabilir. Bu sistemler hattın kapasitif empedansını değiştirerek hattın güç taşıma yeteneğini ve sistem kararlılığını arttıran bir sistemdir. TCSC'ler hızlı cevap verme özelliğinden dolayı sistem salınımlarını hızlı bir şekilde kontrol edilebilir. Ayrıca bunların kontrol sistemlerinde mekanik anahtarlamalar kullanılmadığından bakım maliyetleri oldukça düşüktür [10].

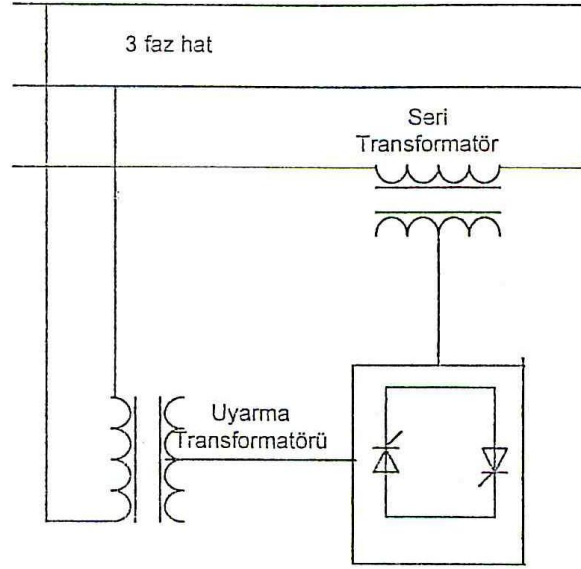


Şekil 2. 29 TCSC devre şeması [10]

Şekil 2.29' da görüldüğü gibi tristör kontrolü, hatta seri bağlı kondansatörün uçları arasında yapılır. Sistem salınımlarının söndürülmesi için TCSC' lerde çok farklı kontrol yöntemleri ve sinyalleri uygulanmıştır [10].

2.2.3.6 Tristör Kontrollü Faz Değiştirici (TCPV)

Tristör kontrollü faz değiştirici, hızlı değişen faz açısı sağlar. İletim hattının faz gerilimine dikey olarak gerilim bileşenleri eklenmesi veya çıkarılması ile faz kaydırması yapılabilir. Genel bir devre şeması Şekil 2.30' da verilmiştir. Uyarma transformatöründen faz gerilimine dik bir gerilim bileşeni elde edilir. Bu gerilim seri transformatör üzerinden yeni bir gerilim üretmek için hatta verilir [10].



Şekil 2. 30 TCPV devre şeması [10]

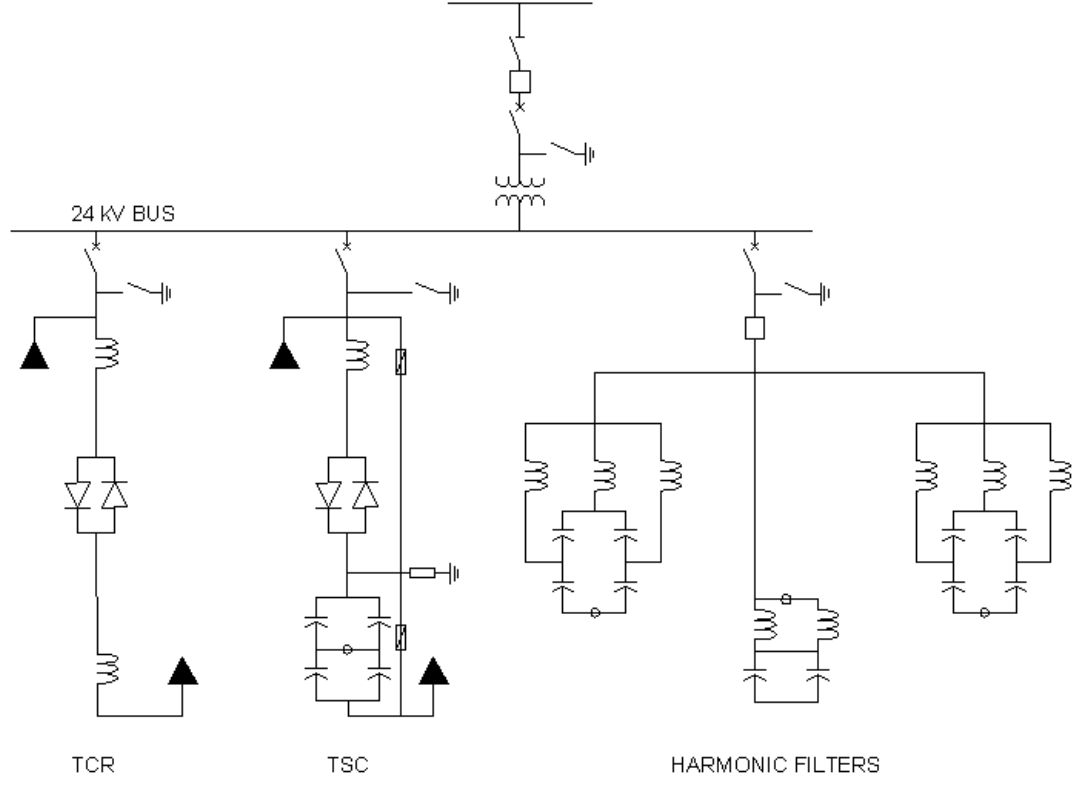
2.2.3.7 Statik VAR kompanzatör Koruması

Uygulamada en önemli durumlardan bir tanesi SVC koruma şartlarıdır. Bir SVC’ de ekipmanların tümü sistem tehlikelerinin tüm tiplerinin dezavantajlarından korunmalıdır. Koruma sisteminin görevi; aşırı akım, aşırı gerilim, toprak hatası, faz-faz hatası, faz-toprak hatası, faz dengesizliği, aşırı reaktif güç yüklenmesi ve SVC elemanlarına baskı oluşturabilecek tüm hatalardan korumaktır. Temel ve geri korumalardan oluşan koruma sistemleri oluşturulmalıdır [12].

Örneğin, TSC’ de kapasitörler Şekil 2.31’ de görüldüğü gibi paralel dizilerek bağlanır. Bu paralel diziler arasında köprü bağlantılı olarak mevcut akımlarını ölçerek bireysel kondansatör birimlerinin başarısızlığının belirlenmesi için bir yöntem sağlar. Normal şartlar altında 2 kolda dengelidir ve köprüdeki akım sıfırdır. Eğer bir kondansatör arızalanırsa, kondansatör dizi yapı bilgisine dayalı hesaplanabilen bir köprü akım akar. Aynı kolda ikinci bir kapasitör bölümü arızası çok büyük bir dengesiz akıma sebebiyet verecektir. Bir kriter oluşturulmuştur. Örneğin aşırı gerilimim %10 gibi, ek hatalar durumunda onarım için bloke ederek SVC kesilmesine sebep olacaktır.

SVC kollarında birçok hatalar tristörlerin kontrol hareketi tarafından kesilecektir. İşlemin devam etmesi için kollardaki kusurlu koldaki akımın akışını hızlı bir şekilde kesecektir. Hatayı gidermek için devre kesicileri açarak yedek hizmet vermektedir. Açıkça, tristör engellemesi ve kesici işleyişi arasındaki ilişki koordinasyonlu olmalıdır.

Kesici operasyonu güç sisteminden sadece tüm SVC' yi tamamen kaldırılmasını gerektiren durum ile sınırlı olmalıdır [12].



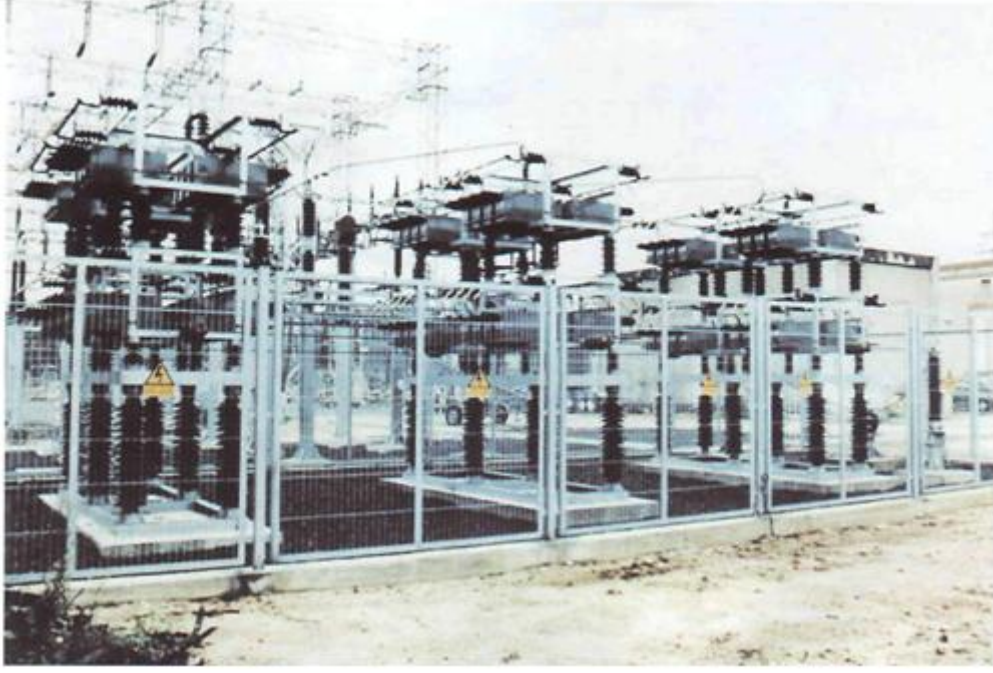
Şekil 2. 31 TSC ve TCR' nin birleştirilmiş devre şeması [12]

ORTA GERİLİM DAĞITIM SİSTEMLERİNDE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYON TEKNİKLERİ

3.1 O.G.' de Reaktif Güç Kompanzasyonu Amacı

1 kV ve üzeri gerilim seviyelerinde uygulanan kompanzasyon sistemidir. İletim ve dağıtım şebekelerinde güç faktörünün düzeltimi şebeke enerjisinin kalitesi ve yatırım maliyetleri açısından çok önemlidir. Orta gerilimde reaktif güç kompanzasyonu şebeke enerji kalitesi; hat sonlarında ve trafo busbarlarındaki gerilim seviyelerindeki azalmaları önlemek ve iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıpları azaltması, malzeme ve trafoların performansında artış sağlaması amacı ile yapılmaktadır.

Orta gerilim kompanzasyonu, alçak gerilim kompanzasyonuna göre daha yüksek miktarlarda reaktif enerjinin kompanzasyonu için uygulanan, hassasiyeti daha az, kurulum ve bakım maliyetleri daha yüksek olan bir kompanzasyon sistemidir.



Şekil 3. 1 36 kV – 50 Hz’ lik O.G. güç faktörü düzeltme sistemi [19]

3.2 O.G.’ de Reaktif Güç Kompanzasyonunun Avantajları

Orta gerilim de reaktif güç kompanzasyonu, elektrik sisteminin yeterli teknik ve ekonomik yönetim işleyişini optimize etmek için birçok hayati önem taşıyan avantajlara sahiptir. Bu avantajları teknik ve ekonomik olarak iki başlığa ayırabiliriz;

3.2.1 Teknik Optimizasyon

Enerjinin üretimi, iletimi ve dağıtımı enerji kayıplarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Genelde bu kayıplar; üretim ve trafo merkezleri kayıpları, iletim sistemindeki kayıplar, orta ve yüksek gerilim üzerindeki kayıplar ve dağıtım hatlarındaki kayıplar olarak sınıflandırılabilir.

Orta gerilim dağıtım hattında kayıpların seviyesini azaltmak için kondansatör bankları yardımıyla kompanzasyon sistemi kurulabilir. Kurulan kompanzasyon sistemi, elektrik sisteminden talep edilen reaktif enerjiyi sağlayacağından elektrik sisteminden talep edilen reaktif enerji ve haliyle görünür enerjide bir azalmaya neden olacaktır. Bu yüzden, akım ve güç değerleri arasındaki doğrudan ilişkiye göre joule etkili kayıpların değeri azalacaktır.

Bir hatta joule etkili kayıplar;

$$P(kW) = 3 \cdot r_1 \cdot I^2 \cdot L \quad (3.1)$$

Bir hatta reaktif enerji tüketimi;

$$Q(\text{kVAr}) = 3 \cdot x_1 \cdot I^2 \cdot L \quad (3.2)$$

Bir kondansatör bankı bağlandıktan sonra azaltılmış kayıplar;

$$P_2 = r_n \cdot L \cdot \frac{P^2 + (Q_1 - Q_C)^2}{U^2} \quad (3.3)$$

formülü ile ifade edilir. Formül de r_n (Ω/km) olarak km başına hattın direncini, L ise km olarak hattın uzunluğunu ifade etmektedir. Bu formül, bir kurulumun performansının ekonomik değerlendirilmesini yaparken önemlidir. Çünkü dağıtım boyunca maliyet aktif enerji ile temsil edilir, reaktif enerji tüketimi için ek bir gizli maliyet ödemesi yoktur [16].

Bir kondansatör bankının bağlanmasından sonra görünür güçteki azalma bazı sonuçlara yol açmaktadır. Bunlar; kablolar üzerinden iletilen yükü azaltmak, trafoların besleme kapasitesini arttırmak ve hat sonunda gerilimi arttırmak şeklinde ifade edilebilir.

IEC 60871-1 standardına göre bir kapasitör bankı bağlandığı zaman gerilim artışı;

$$\Delta U (\%) = (Q_{\text{bat}} / S_{CC}) \times 100 \quad (3.4)$$

Hat gerilim düşümü;

$$U(\%) = \frac{P \cdot L}{10U^2} \cdot (R_1 + X_1 \cdot \tan\theta) \quad (3.5)$$

Formülleri ile ifade edilmektedir. Bu eşitliklerde Q_{bat} , kapasitör bankın reaktif gücü, S_{CC} , bağlantı noktasındaki kısa devre gücü' dür.

Sonuç olarak orta gerilim de yeterli reaktif güç kompanzasyonu yapmanın, elektrik dağıtım ve iletimi boyunca gerilim kontrolünü sağlamaya yardım etmek, trafoları ve hatların besleme kapasitelerini artırmak, dağıtım ve iletim kayıpları seviyelerini azaltmak gibi teknik açıdan avantajları vardır.

3.2.2 Ekonomik Optimizasyon

Orta gerilim' de reaktif güç kompanzasyonunun yapılması ekonomik olarak; reaktif enerji tüketimini azaltmayla enerji maliyetinin azalması, iletim ve dağıtım hatlarında kayıpların gizli maliyetini azaltması ve tesisleri daha verimli duruma getirerek ekstra yatırım maliyetlerini azaltması gibi avantajları sağlamaktadır.

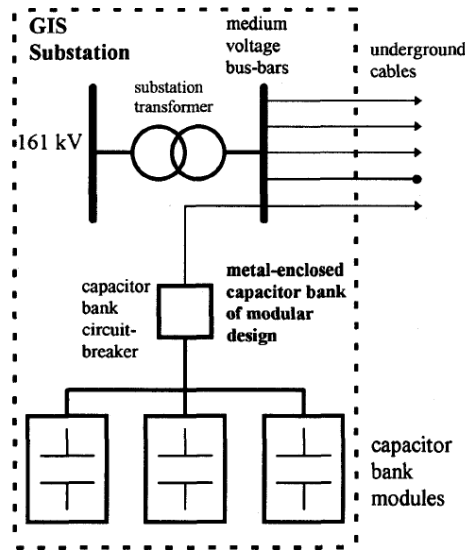
3.3 O.G.' de Reaktif Güç Kompanzasyonu İçin Optimum Kapasitör Yerleştirme

Elektrik sistemi boyunca reaktif enerji iletimi ve dağıtımı önemlidir. Bu yüzden, reaktif enerji, elektrik şebekesinin belirli noktalarında kompanze edilmelidir. Bunlar;

Düşük güçlü hidroelektrik santralleri ve rüzgar santralleri gibi üretim durumları, indirici ve dağıtım merkezleri, orta gerilim dağıtım ve tüketim endüstriyel tesisleri (Madencilik, çimento, kimya, çelik vs.) gibi yerlerde kompanzasyon sisteminin kurulması uygundur [16].

Bir bölgede dağıtım seviyesinde reaktif güç kompanzasyonu sistemi kurulumu için gerekli olan uygun yer ve kapasitör sayısını belirlemede o bölgenin elektrik kurumunun genellikle 2 ana planı vardır [17];

Plan-1: Kentsel bölgelerde, elektrik yükleri GIS merkezlerinden beslenen yer altı kablolarına bağladığı yerde, tüm kapasitif reaktif güç modüler dizaynı metal muhafazalı kapasitör bankları ile sağlanmıştır.



Şekil 3. 2 Kentsel bölgelerde SF₆ gazlı transformatör merkezleri için reaktif güç kompanzasyon devre şeması [17]

Plan-2: Kırsal bölgelerde, elektrik yükleri havai hat fiderlerine bağlandığı yerde, kapasitif reaktif güç, dağıtım fiderlerinde kutbu monte edilmiş kapasitörler ile birleşmiş besleme trafolarının sekonder bölümünde kurulmuş açık raf klasik kapasitör bankları ile sağlanmıştır.

Trafoların sekonder bölümünde kurulacak olan optimum reaktif güç miktarı, kapasitör bankları içindeki yatırımlar dahil üretim, iletim ve çevirme sistemleri içindeki minimum sermaye yatırımlarına karşılık gelir [17].

Kayıpları azaltmada bir çok önemli metot' dan bir tanesi dağıtım şebekesinde uygun kapasitör yerleştirmedir. Bunun anlamı dağıtım şebekelerinin optimizasyonu için ana görev uygun yer ve kapasitörlerin kapasitesinin seçilmesidir. Bu seçimin amacı, kapasitörlerin yatırım kurulum ve bakım maliyetlerine göre tasarruf artışı için kayıpları azaltmaktır. Genelde, reaktif gücün kompanzasyon cihazlarının farklı özelliğinden dolayı, dağıtım şebekelerinde kapasitörlerin uygun dizaynı karışık değişkenler (devamlılık ve farklılık) ile non-lineer programlama problemleri doğurur [18].

Bu problemin optimum çözümünü bulmak amacıyla, bir sayısal karşılaştırma şimdiki durum (kompanzasyon öncesi) ve yeni durum (kompanzasyon sonrası) arasında aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir [18]:

Y.G./O.G. trafolarındaki güç kayıpların maliyeti artı dağıtım şebeke hatlarındaki maliyeti, kompanzasyon öncesi yıllık enerji kayıpları;

$$E_{1loss} = 365.24.(P_{1lossL} + P_{1lossTR}) \quad (3.6)$$

formülü ile elde edilmiştir [18].

Ortalama yük diyagramı ile kompanzasyon öncesi Y.G./O.G. trafo kayıpları $P_{1lossTR}$ ve P_{1lossL} hatların kayıplarıdır.

Y.G./O.G. busbar ve O.G. dağıtım şebekesinin yük ağlarında kapasitör banklarının uygun yerleştirmesi sonrası, yeni yerleştirilen kapasitörlerin ekonomik etkisi;

Y.G./O.G. trafo kayıpları ve hat kayıplarının yeni değerlerinin maliyeti düşünülürse, kompanzasyon sonrası yıllık enerji kayıpları;

$$E_{2loss} = 365 . 24 . (P_{2lossL} + P_{2lossTR}) \quad (3.7)$$

formülü ile elde edilmiştir [18].

Şebeke hat kayıplarında azalmadan doğan her kar aşağıdaki gibi elde edilmektedir;

$$T_E = (E_{1loss} - E_{2loss}) . \text{birim fiyat} \quad (3.8)$$

Bir yıl boyunca iletim sistemine reaktif gücün satışından doğan kar;

$$T_i = 365 \cdot 24 \cdot T \cdot \sum_{i=1}^n Q_{ci} \quad (3.9)$$

T – Birim fiyat / kVArh

n – Şebeke baralarının toplam sayısı

Q_{ci} – i barasındaki kapasitör bankının kapasitesi

Kurulum ve kapasitör banklarının bakımı için yatırım maliyeti;

$$T_c = \text{birim fiyat} \times Q_c \quad (3.10)$$

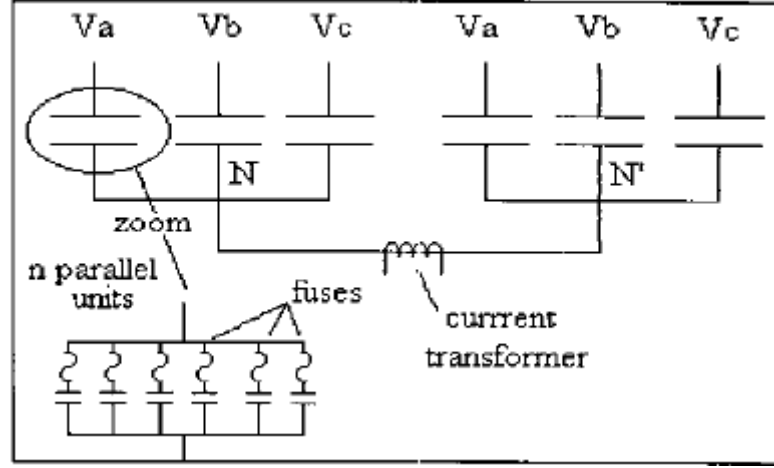
formülü ile elde edilmektedir [18]. Bu fiyat kurulmuş kapasitör banklarının (Q_c) toplam kapasitesi ile kapasitör bank fiyatının bir kVAr'ının çarpımından oluşmaktadır. Formüllerde ekonomik bileşenlerin hepsi bir yıl boyunca dikkate alınmıştır [18]. Bu çıkan sonuçlarla ve kapasitör yerleştirmede en önemli konu olan yatırım maliyetleri belirlenmiş olur.

3.4 O.G.' de Reaktif Güç Kompanzasyonu İçin Kullanılan Malzemeler

Orta gerilim kompanzasyonun da kullanılan malzemeler, uygulama geriliminin seviyesinin yüksek olmasından dolayı gerilim izolasyon seviyesi daha yüksek ürünlerdir. Bu yüzden malzeme seçimi ve montajın da kullanılacak malzemelerin yapısını bilmek çok önemlidir.

3.4.1 Kondansatörlerin Yapısı

Kondansatörün yapısı alçak güç ve alçak voltaj düz kapasitif elemanlardan oluşmaktadır. Elemanlar paketler halinde düzenlenmiş olup ve nominal güç ve voltaj değerine ulaşmak için seri ve paralel olarak bağlanmıştır. Kondansatörler iki tip dielektrikler (yalıtkanlar) kullanılarak yapılabilmektedir [19].



Şekil 3. 3 Harici sigortalı standart kondansatör bank düzenlemesi [20]

Bütün film: Bu tip, alüminyum plakalar arasında tutulan çok sayıda polipropilen film tabakalarından oluşmaktadır.

Elektrotlar: İnce levha saf alüminyumdan yapılmıştır. Genişletilmiş folyo sargı yapısı kondansatöre enerji verme esnasında meydana gelen tepe akım değerlerine karşı çok yüksek direnç vermektedir.

Emdirme maddesi, toksik olmayan, biyolojik olarak parçalanabilen, klor içeriği <5 PPM sentetik yağdır. Dielektriklere (yalıtkanlara) yağ emdirme ve kurutma prosesleri olarak işlem den geçmenin çeşitli safhalarına belirli dikkat göstermek gerekmektedir. Kurutma, malzemeyi işlem den geçirmenin sonunda moleküler vakuma ulaşacağı 100°C sıcaklığa kadar ısıtarak, onu uzun bir dönem için vakum şartları altında otoklav içerisinde bırakarak yürütülmektedir.

Kullanım öncesi yağ işlemi, vakum gazını giderme ve çok dikkatli bir kimyasal depürasyon (temizlenme) içermektedir.

3.4.1.1 Kasa

Kondansatör kasası arızalar tarafından oluşturulan normal strese dayanabilen elektrik kaynağı yapılmış dayanıklı levha çelikten yapılmaktadır. Tamamen doludur ve hava kabarcıkları içermemektedir. Kasanın hiçbir tarafından hava sızdırmazlığının olmaması kondansatöre uzun bir ömür sağlamaktadır.

İstek halinde, özellikle zorlu ortam şartlarına sahip çevrelerde kullanım için kondansatör kasaları özel olarak paslanmaz çelikten yapılmaktadır.

Kondansatör üzerindeki terminaller atmosferik unsurlara mükemmel direnç için sırlanmış kahverengi porselen izolatörleri ile donatılmıştır. Terminallere elektriksel bağlantılar için daima esnek bağlantılar kullanılmalıdır.

Normal olarak tek fazlı kondansatörler kasalarından yalıtılmış her iki terminale sahiptir. Ama bazıları yalnızca biri kasadan yalıtılmış diğeri kasaya bağlanmış olarak üretilir. Bunun sebebi topraklamadan yalıtılmış mesela seri olarak bağlanmış üniteler ile bankoların gerçekleştirilmesinde kullanılır.

Standartlar ile uyumluluk içerisinde kondansatörlerde arta kalan voltajı en az 5 dakika çalışmayı takip eden durdurma süresi içerisinde 50 V değerinden daha azına düşürmek için dahili olarak boşaltma dirençleri ile donatılmıştır.

3.4.2 Dahili Sigortalı Olan Kondansatörler

Yüksek güç bankoları oluşturma'nın gerekli olduğu zamanlarda, tek-fazlı kondansatörler harici eriyen telli sigortalar ile korunabilmektedir veya dahili sigortaları olan üniteler kullanılabilir.

Dahili sigortaları olan kondansatörlerde, üniteyi meydana getiren ve paralel bağlı bütün kapasitif elemanlar seri olarak bir sigortaya sahip bulunmaktadır. Eğer elemanlardan birisi patlayacak olursa, kısa devre ile ünite etkilenmeksizin onun sigortasının atmasıyla onun bağlantısı otomatik olarak ayrılmaktadır.

Arızalanmış elemanın ortadan kaldırılmasından sonra, ünite serviste kalmaktadır ve üniteyi meydana getiren yeterli sayıdaki elemanlara dayalı olarak küçük bir yüzdede azaltılmış reaktif güç seviyesinde çalışmaya devam etmektedir. Gözle görünen açıklıkla, onun kapasitesi limitlerinin standartları içerisinde kaldığından ve bankodaki diğer üniteler dikkat çekecek ölçüde etkilenmediğinden ve ilave olarak, sigortalar değiştirilebilir olmadıklarından dolayı, böyle bir üniteyi servis dışına çıkartmak gerekli değildir.

Her türlü şartlar altında, böyle kondansatörler ile yapılmış bankolar, normal olarak bankonun diğer iyi durumdaki kondansatör ünitelerinin terminallerindeki voltaj nominal voltajın %110 değerine yükseldiğinde müdahalede bulunmak üzere ayarlanmış olan dengesizlik akım korumasına ihtiyacı vardır [19].

Bu koruma, ünitelerin içerisinde çok sayıda sigortalar attıktan ve kapasitans kuvvetli şekilde düşükten sonra meydana gelmektedir.

Bununla beraber, dahili sigortalara sahip bulunan kondansatörlerin gerçekleştirilmesinde aşağıda bahsedilen bazı yapımsal ve ekonomik sınırlandırmalar mevcut bulunmaktadır [19];

- $\text{güç} \geq 200 \text{ kVAR}$ (en alçak voltajlar için)
- $\text{voltaj} \leq 12 \text{ kV}$ (en yüksek güçler için)

Üç-fazlı kondansatörlerde bu limitler daha da kısıtlanmıştır. Bununla beraber, dahili sigortaların mevcudiyeti güç kaynağı içersinde kısa devrelere karşı korumaları ilave etmek ve kondansatörleri izole etmek zorunluluğunu ortadan kaldırmaktadır.

Sonuç olarak, dahili sigortalı kondansatörlerde bir ana kapasitif malzemede bir arıza durumunda, sağlam malzemeler paralel bağlı hatalı malzemeden deşarj olurlar. Deşarj akımı, hasarlı bölümün dahili sigortasını hemen eriterek koruma sağlar. Bu sistemin 2 grupta sınıflandırılmış avantajları vardır [16];

İşlevsel Avantajı

- Arızalı malzemenin bağlantısı hemen kesilir.
- Kondansatör içindeki gazların üretimi minimumdur. Bu yüzden çok düşük bir dahili aşırı basınç etki eder.
- Servis sürekliliği, arızalı bölüm ayrılarak bölüm aynen bağlı kalır. Kondansatör banklarının bakımı isteğe bağlı planlanır.
- Bakımı basittir.

Dizayn Avantajları

- Kondansatör güçleri artırılabilir.
- Her bir kondansatör bankında daha az kondansatör kullanabilir
- Kabin ve çerçeve boyutları azaltılabilir.
- En ucuz kondansatör banklarıdır.

3.4.3 Tek Fazlı Kondansatörler

Tek fazlı kondansatörler, özel olarak güç faktörü düzeltmede veya harmonik filtrelerin gerçekleştirilmesinde kullanmak için ve üç-fazlı bankoların yapımı için tasarlanmıştır.

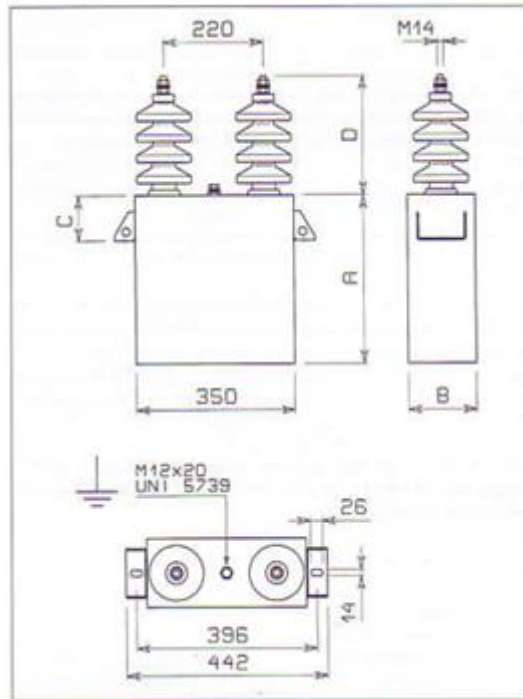
Üç-fazlı bankoların nominal voltajı, çok sayıda üniteleri seri olarak bağlayarak ve onları topraktan yalıtılmış montaj rafları üzerinde bir araya getirerek monte ederek 220 KV

değerine kadar yükseltilebilmektedir. Üç-fazlı bankolar daima kısa devreler karşı korunmuş ve bir dengesizlik korumasına sahip olmalıdır. Ayrıca, aşırı-yüklere karşı korumalara da sahip olabilirler. Aşağıdaki çizelgede, aksi belirtilmedikçe, yalıtım sınıfı işletim şartlarına dayalı olarak tanımlanmıştır.

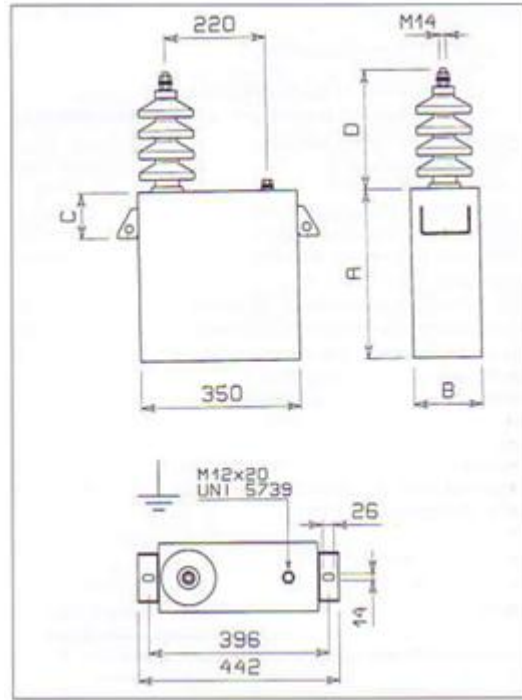
Çizelge 3. 1 Standart tek fazlı kondansatör voltaj değerleri [19]

Nominal V	Şebeke	En Yüksek Sistem Voltajı kV	Nominal V	Şebeke	En Yüksek Sistem Voltajı kV	Nominal V	Şebeke	En Yüksek Sistem Voltajı kV	Nominal V	Şebeke	En Yüksek Sistem Voltajı kV
1450			5380		12	10160		24	15180		36
1550			5770	10.000	12	10370	18.000	24	15200		36
1620			6060	10.500	12	10760	18.500	24	15840		36
1690			6350	11.000	12	11090	19.200	24	15970		36
1790	3.100	12	6490		12	11360		24	16150		36
2400	4.160	12	6930	12.000	12	11550	20.000	24	16230		36
2900	5.000	12	7180		24	11820		24	16700		36
3040		12	7260	12.500	24	12120	21.000	24	16890		36
3180	5.500	12	7590	10.150	24	12560		24	17420	30.000	36
3250		12	7970	13.800	24	12700	22.000	24	17850		36
3380		12	8120		24	12980		24	17940	31.000	36
3460	6.000	12	8370	14.500	24	13070		24	18220	31.500	36
3640	6.300	12	8660	15.000	24	13300	23.000	24	18580		36
3810	6.600	12	8970		24	13850	24.000	24	19010	33.000	36
4160	7.200	12	9100	15.750	24	14260		36	19480		36
4750		12	9530	16.300	24	14350		36	19730		36
4870		12	9740		24	14520		36	20270	34.500	36
5070		12	10100	17.500	24	14610		36	21530	16.000	36

Bütün kondansatörler ya her iki terminalleri yalıtılmış veya terminallerin yalnızca birisi yalıtılmış diğeri ise kasaya bağlanmış olarak sağlanabilmektedir.



Şekil 3. 4 Her iki terminali de yalıtılmış tek fazlı kondansatör [19]



Şekil 3. 5 Bir terminali yalıtılmış diğer terminali kasaya bağlanmış tek fazlı kondansatör[19]

3.4.4 Üç Fazlı Kondansatörler

Üç fazlı kondansatörler, O.G.' de büyük motorların ve transformatörlerin güç faktörlerinin düzeltilmesi için özel olarak tasarlanmıştır. Kesme kapasitesi yüksek sigortalar ile korunmalıdırlar ve kapalı bir kabinde ayrı olarak tutulmalıdırlar.

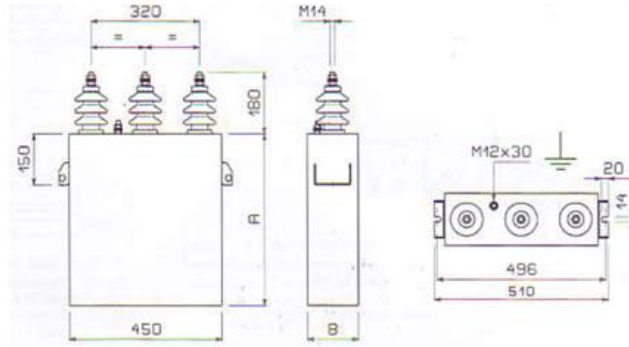
Kondansatörler, büyük motorların güç faktörünü düzeltmesi için kullanıldığında, güç faktörünü düzelttiği motorun daha düşük akımına uyum sağlayacak şekilde röle ayarını düzelterek motorun ait koruma cihazları ile korunmalıdırlar.

Piyasada ürünün standardizasyonunu optimize etmek için 3.3 kV - 6.3 kV - 11 kV normal şebeke voltajları için kondansatörler üretilmektedir. Bu voltajların her birisi için Çizelge 3. 2' de belirtilmiş olan "Tasarım Gerilimi" değerleri için standartlara uygun şekilde boyutlandırma yapılmıştır. Örneğin, 6.3 kV bir kondansatör bu voltaj için boyutlandırıldığı sürece 6.6 kV değerinde çalışabilmektedir. Bu gerilim değerine göre de kondansatör Çizelge 3. 2' de belirtilen nominal güç ile ilgili kolonda belirtilmiş olan güç değerinde çalışabilecektir. Standart değerleri arasında bir gerilim değerine sahip olan şebekeler için, bir üst değer olan yüksek gerilim değeri kullanımı gerekmektedir.

Standartlarda belirtildiği gibi bu tip kondansatörlerin yalıtım sınıfı hepsi için 12 kV’ tur. Aşağıda Çizelge 3. 2’ de gösterilen ve kalın yazılmış olan değerler, nominal değerleri göstermektedir.

Çizelge 3. 2 Standart üç fazlı kondansatör voltaj değerleri [19]

Tasarım voltajı	3,3 kV			5,75 kV			6,6 kV			11,5 kV			
Nominal voltaj	2,7 kV	3,3 kV	3,3 kV	5 kV	5,5kV	5,75 kV	6 kV	6,3 kV	6,6 kV	10,5 kV	11 kV	11,5 kV	Boyutlar
Nominal güç	kVAR	kVAR	kVAR	kVAR	kVAR	kVAR	kVAR	kVAR	kVAR	kVAR	kVAR	kVAR	BxA - mm
50	33	41	50	38	47	50	45	50	55	46	50	55	120x200
75	30	62	75	57	70	75	68	75	82	68	75	82	150x200
100	50	83	100	76	90	100	91	100	110	91	100	109	150x250
150	100	124	150	113	137	150	136	150	165	137	150	164	150x300
200	133	167	200	151	183	200	181	200	220	182	200	219	150x375
250	167	207	250	190	230	250	227	250	275	228	250	273	150x430
300	200	250	300	230	275	300	272	300	330	273	300	328	150x500
350	235	290	350	265	320	350	317	350	384	319	350	383	150x575
400	270	333	400	302	366	400	363	400	439	364	400	437	150x630
450	301	372	450	340	412	450	408	450	494	410	450	492	175x625
500	335	413	500	378	457	500	454	500	549	456	500	546	175x685
550	368	455	550	416	503	550	499	550	604	501	550	601	210x685
600	402	496	600	454	549	600	544	600	639	547	600	656	210x710



Şekil 3. 6 Üç fazlı kondansatör [19]

3.4.5 İndüktanslar

3.4.5.1 Ani Boşalma Akımı Sınırlama Reaktörleri

Bir kondansatöre enerji verildiği anda akımın zamana göre azalan üstel bir fonksiyon şeklinde bir geçişi mevcut bulunmaktadır ki, bunun ilk tepe değeri çok yüksek seviyelere ulaşmaktadır.

Standart ile uyumluluk içerisinde ilk tepe akımı, kondansatörün efektif nominal akımının 100 katından daha az olmalıdır. Normal olarak, tepe akımı güç kaynağı şebekesinin indüktansı ile kabul edilebilir seviyelere sınırlandırılmaktadır [19].

Bunun yerine, kondansatör veya banko zaten enerji verilmiş olan diğer kondansatörlere bağlandığında tepe akımı değeri kabul edilemez seviyelere ulaşacaktır. Bu durumda, kondansatörlere veya bankolara seri olarak uygun indüktansların bağlanması, bu tepe akımı değerlerini yukarıda bahsedilen limit içersinde tutmayı mümkün kılar. İndüktans değeri standart IEC 60871’de belirtilmiş olan formülle hesaplanabilmektedir. İndüktans değeri;

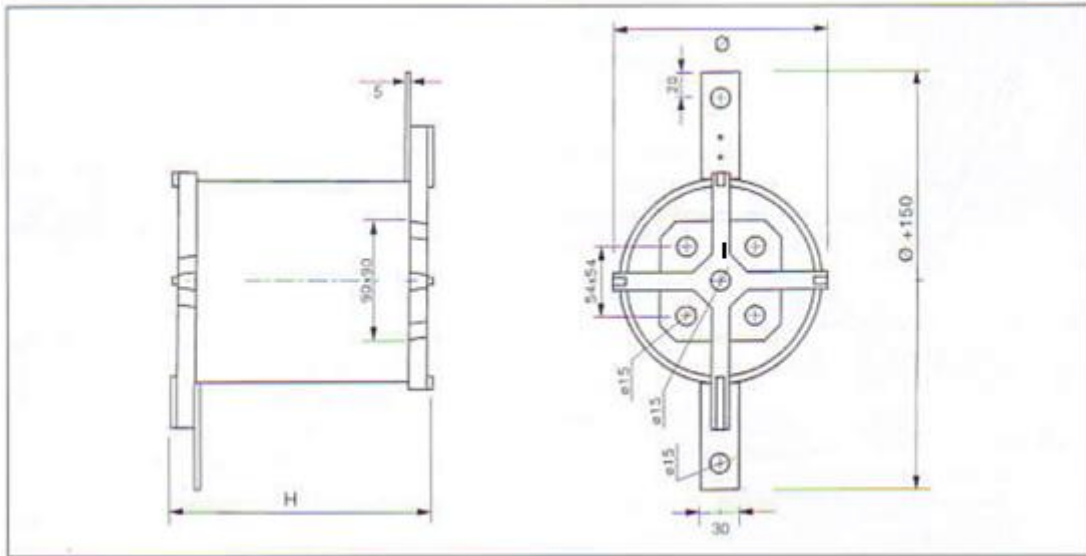
$$I_{\max} = \sqrt{2} \cdot V_{F-N} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (3.10)$$

Formülü ile de hesaplanabilir [21]. Formül de V_{F-N} , faz nötr gerilimini C, kondansatör banklarının kapasitesini L, sistem indüktansını gösterir.

İndüktans değerleri, TEİAŞ teknik şartnamesine göre; 5 MVar’ lık banklar için minimum 50 μH , 10 MVar’ lık banklar minimum 75 μH değerlerinde seçilebileceği belirtilmiştir [22].

İndüktans, kondansatör bankına bağlandığında şebeke üzerindeki gerilime maruz kalacağından dolayı belirli karakteristiklere sahip olmalıdır. İlave olarak, tepe akımıyla alakalı elektrodinamik gerilmeye de dayanabilmesi gerekmektedir [19].

Seçilen indüktansın nominal akımı, kondansatör bankosunun nominal akımının 1.5 katına eşit olan bir nominal akıma sahip olması gerekmektedir [19].



Şekil 3. 7 Ani boşalma akımı sınırlama reaktörleri [19]

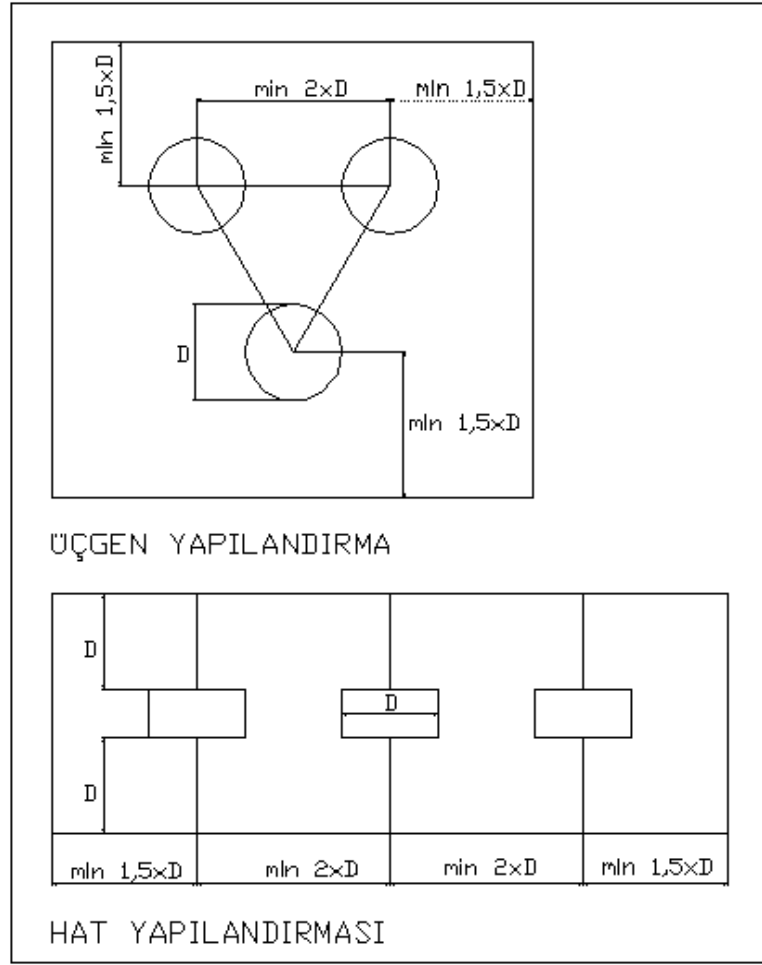
3.4.5.2 Filtre İndüktansları

Filtreler, elektriksel sistemlerde mevcut bulunan harmonikleri sönmölemek içindir. Bunlar bir yıldız bağlantıda kondansatörlerle üç fazlı bankodan ve bankonun kendisinde yapılmış üç indüktansdan oluşmaktadır. İndüktansın değeri, bankonun faz kapasitansına uyumlu frekansın, ortadan kaldırılacak harmoniğinin frekansına yakın olacak şekildedir.

Genellikle bir hava çekirdeğine sahip olan tek-fazlı silindirik indüktanslar kullanılmaktadır, çünkü bu şekilde indüktans değeri akımdaki artışla değişmemektedir. Akım altında indüktansın boyutlandırılması, filtreden geçen esas akımı ve harmonik komponentleri göz önünde bulundurarak, indüktansın kendisinin içinde sirküle eden akımın efektif değerine dayandırılarak yapılmalıdır.

Üç adet indüktansın manyetik metalik parçalara doğru etkilerini engellemek için, bu ikisinden sonuncusunun etrafında indüktansın yarı çapından daha az olmayan bir serbest alan bulunmalıdır. İndüktanslar yan yana bir hat halinde monte edilebilmektedir veya bir üçgenin üstüne kurulabilmektedir. Şekil 3. 8' deki yerleşim planında, indüktanslar ve çevreleyen manyetik malzemeler veya kapalı dirsekler arasındaki önerilen minimum mesafeleri göstermektedir.

Belirli durumlarda, reaktörleri biri diğerinin üzerinde olacak şekilde kurmak, böylelikle işgal edilen zemin alanını azaltmak mümkündür. Filtrelerin dahili ortamlarda monte edildiği her zaman, reaktörlerden yayılan güç kontrol edilmelidir. Ayrıca, kondansatörlerin montaj alanının hava sıcaklığını etkilememesini de temin edilmesi gerekir. Eğer bu meydana gelecek olursa, dışarısı ile uygun bir hava sirkülasyonunu sağlamak gerekli olacaktır.



Şekil 3. 8 Filtreleme için tek fazlı reaktörün manyetik açıklık mesafesi [19]

3.4.6 Kondansatör Koruması

Orta gerilimde reaktif güç kompanzasyonunda kullanılan kondansatörler, dengesizlik akım trafosu, aşırı yük koruma rölesi ve sigorta çeşitleri ile 3 farklı şekilde korunur [19].

3.4.6.1 Dengesizlik Koruması

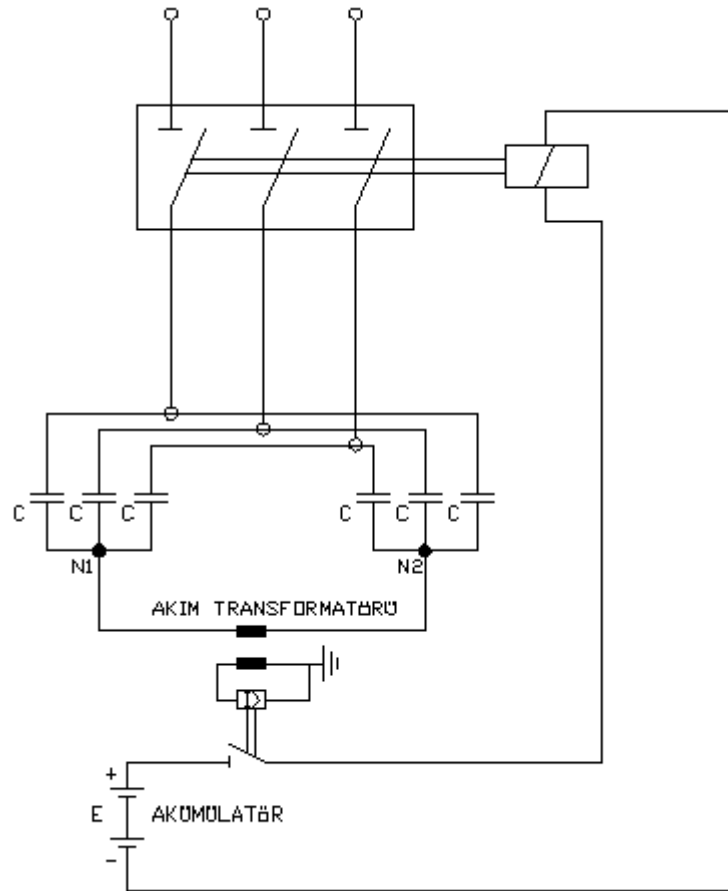
Üç fazlı kondansatör bankoları, bankonun kendisinin fazlar arasında simetriyi kontrol eden bir koruma kullanarak en etkili yolla korunmaktadır. Bu koruma sisteminde iki adet yıldız bağlı kondansatör grubu bulunmaktadır. İki grubun yıldız noktaları arasına bir akım transformatörü bağlanmıştır. Normal şartlarda yıldız bağlı kondansatörün kapasiteleri eşit olduğundan sistem dengelidir. Bu nedenle her iki grubun yıldız noktaları sıfır volt potansiyelde olduğu için akım transformatörü üzerinden akım akmaz. Kondansatörlerden herhangi biri arızalandığında yıldız bağlı kondansatör grubu

dengelesiz olacağı için o grubun yıldız noktası kayar. Böylece iki yıldız noktası arasında bir potansiyel fark oluşur ve akım transformatörü üzerinden akım geçer.

Bu akım transformatörünün görevi, bir arıza durumunda aşırı akım rölesinin çalışma akımını temin etmektir. Akım transformatöründen akım geçmesiyle birlikte aşırı akım koruma rölesi çalışarak O.G. anahtarlama elemanına (kesici veya yük ayırıcısı) açma kumandası vererek kondansatörlerin devre dışı kalmasını sağlar.

Koruma çok duyarlıdır ve kondansatörü oluşturan ilk kapasitif elemanın arızalanmasıyla müdahalede bulunabilmektedir. Koruma kondansatör kısa devre olmadan çok önce müdahalede bulunmaktadır, böylelikle kondansatörün patlaması ihtimali engellenmiş olur. Ayrıca, şalter henüz kısa devre olmamış kısmi arızalı bir kondansatörü devre dışı ettiği için kısa devre akımını değil yük akımı veya aşırı akımı kesmiş olur.

Bu korumanın mevcudiyeti, kondansatörü korumak için kullanılan atmalı sigortaların gereksiz fazla kullanımı engellemektedir. Bununla beraber, dengelesizlik koruma, kısa devre problemlerini algılamadığından dolayı kondansatör terminallerinde meydana gelecek kısa devrelere karşı daima bir kısa devre korumasının olması gerekir [19].



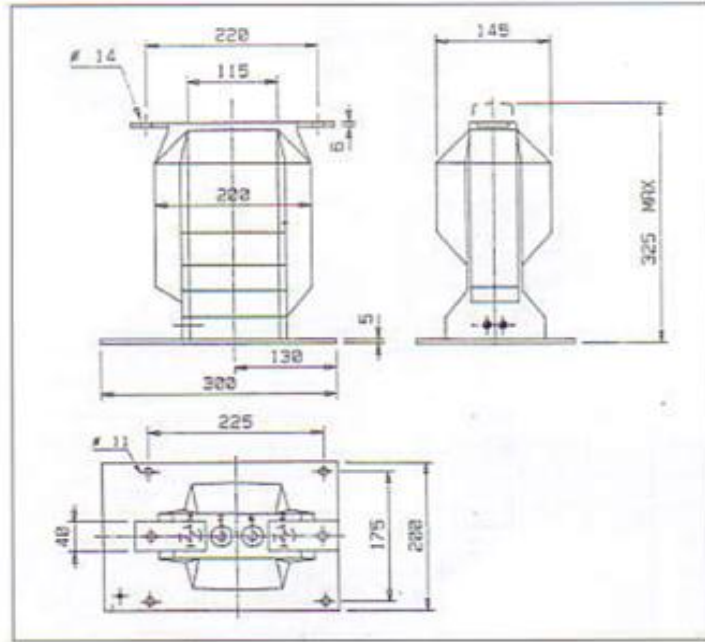
Şekil 3. 9 Dengelesizlik koruması tek hat şeması

Dengesizlik Koruması İçin Akım Transformatörü

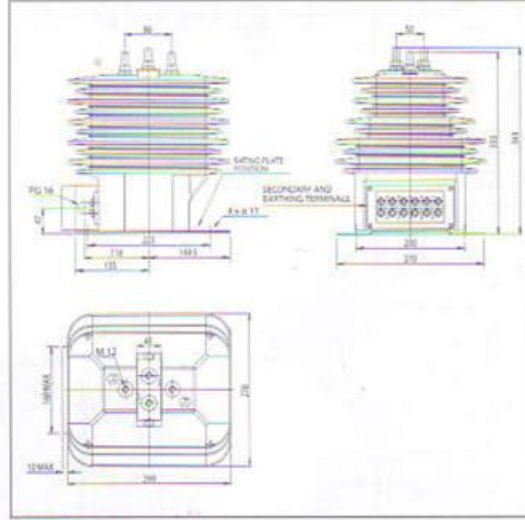
Akım trafosunun ana fonksiyonu fazların aynı seviyesinde nötr yalıtımını sürdürmektir.

- Dönüştürme oranı: 25/5 A
- Hassasiyet: 5 P 10
- Çıkış gücü: 10 VA

Şekil 3. 10 ve 3. 11’ de dahili ortam ve harici ortam montajları için akım trafosunun iki versiyon gösterilmektedir.



Şekil 3. 10 Dahili ortam montajı için kullanılacak akım trafosu [19]



Şekil 3. 11 Harici ortam montajı için kullanılacak akım trafosu [19]

Dengesizlik Koruma için Maksimum Akım Rölesi

Bu tip normal göbekseller kutuplu maksimum akım röleleri, güç faktörü düzeltme sisteminin kontrol paneli üzerine montaj için 3. harmoniklere duyarlı değildir [19].

Adımlar halinde ayarlanabilen bir müdahale akımına sahip olmalıdır. Müdahale süresi yaklaşık olarak 0.1 saniye olmalıdır. Röle yalnızca bir adet müdahale eşik değerine sahip bulunmaktadır, eğer iki adet eşik değeri gerekecek olursa, iki röle kullanılmalıdır.

- Müdahale akımının aralığı: $0.02 \div 2.415 \text{ A}$
- Adımlar: 0.02 A
- Zaman gecikmesi aralığı: $0.1 \div 21$ saniye

Piyasada bu koruma tipinin ANSI kodu 50-51-51N koruma olarak geçmektedir. Burada 50-51 koruması aşırı yük ve kısa devre koruması, 51N koruması da dengesizlik korumasını belirtmektedir.

3.4.6.2 Aşırı Yük Koruması

Üç fazlı bankolar aşırı yüklere karşı koruma ile donatılabilmektedir. Bu koruma, basit olarak iki adet akım trafosu ve uygun bir üç fazlı aşırı akım rölesi kullanmak suretiyle yapılabilmektedir. Ayar değerleri şunlardır:

- Güç düzeltme bankosu: nominal akımın 1.5 katı
- Filtreleme sistemi: reaktörlerin boyutlandırma akımının efektif değerine eşit

Her iki durumda da müdahale süresi adımları çok sayıda olabilmektedir. Bu fonksiyona mevcut görevi dışında dengesizlik korumasını yapmak için özel bir multi-fonksiyon röle sağlanabilmektedir.

Aşırı yük koruması için akım trafosu değerleri;

- Dönüştürme oranı: tanımlanacak birincil (primer) akım /5 A
- Hassasiyet: 5 P 10
- Çıkış gücü: 10 VA

olarak belirtilmektedir.

3.4.6.3 Sigortalar

Bir kondansatör veya kondansatörler bankosunu korumak için kurulmuş olan her türlü tipte sigortanın boyutlandırılması, aşağıdaki göz önünde bulundurulacaklara dayalı olarak yapılmalıdır:

- **Kalıcı sürekli akım:** standart ile belirlenen bütün muhtemel aşırı-yükleri karşılayabilmek için nominal akımın 1.5 ve 3 katı arasında seçilmelidir.
- **Anahtarlama akımı;** indüktansları limitlesin veya limitlemesin mevcut halde bulunmaktadır.

Sigorta, kondansatörün nominal akımının yaklaşık olarak 2 katına eşit bir nominal akıma sahip olmalıdır ve gecikmeli tipte olmalıdır.

Harici Sigortalar

Bu sigortalar hem üç fazlı kondansatörleri, bunun yanı sıra hem de küçük üç fazlı bankoları korumak için kullanılmaktadır. Daha önceden bahsedildiği gibi üç fazlı kondansatör veya kondansatör bankosu ayrı tutulmalıdır.

Eriyen Telli Sigortalar

Bu sigortalar düzinelerce tek fazlı üniteler ile gerçekleştirilmiş bulunan yüksek güç bankolarına uygulanmaktadır ve bunların üzerinde tamamıyla etkilidir. En azından paralel olarak 8 adet üniteden uygun şekilde oluşturulmuş olan bankolar, bir kondansatördeki arıza durumunda geriye kalan iyi durumdaki kondansatörlerin üzerindeki voltajın artışı %10' dan daha az oldukça, fonksiyon göstermeyen bir ünite ile bile

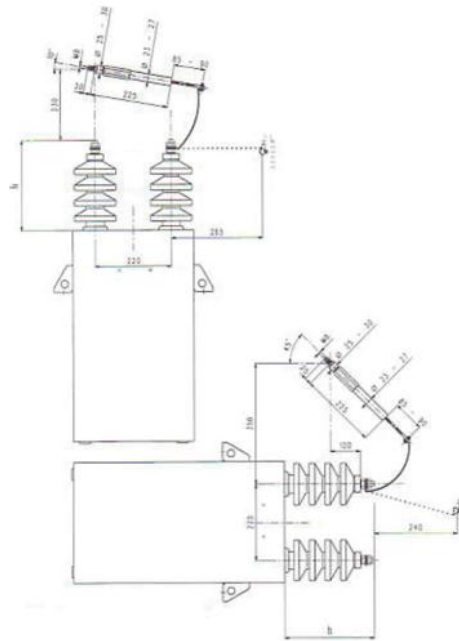
fonksiyon göstermeye devam edebilmektedir (kendisinin atmalı sigortası ile kesilip devre dışı bırakılarak) ve banko azaltılmış güçle çalışmaya devam edebilmektedir.

Bununla beraber, üç fazlı bankolar iki eşik değerine sahip olabilecek dengesizlik koruması ile donatılmalıdır: birincisi, bir ünitenin arızasının sinyali vermek üzere ve ikincisi, arıza halinde iyi durumda kondansatörlerin voltajında %10'da daha fazla artışa sebebiyet vererek diğer ünitelere dağıtım yaparak ana devre kesicisinin çalışmasını kontrol etmektedir.

Ayrıca, bu sigortalar yalnızca 6 adet veya daha fazla kondansatörlere sahip olan küçük üç fazlı bankolarda da kullanılabilir. Bu durumda, geride kalan kondansatörlerin üzerindeki voltaj %10'un oldukça üzerinde çıkacağından dolayı, hariç tutulmuş bir ünite ile işleme müsaade edilmemektedir.

Son olarak, atmalı sigortanın 4 ve 5 MVAr değerinden daha fazla güce sahip bulunan bir bankoya dayanabileceği unutulmamalıdır. Bir fazın gücü daha büyük olduğunda, paralel olarak düzenlenmiş bulunan kondansatörlerin baştan başa gücünün bu limit içerisinde tutulması için, örneğin fazın kendisinin üzerinde seri olarak düzenlenmiş bulunan iki veya daha fazla bölüme sahip olmak suretiyle, tedbirler alınmalıdır.

Ayrıca atmalı sigorta arızalanmış ünitenin yerini çabuk olarak tespit etmeyi de mümkün kılmaktadır [19].



Şekil 3. 12 Kondansatörlerin yatay ve dikey olarak bir araya getirilerek monte edilmesinde atmalı sigortaların düzenlenmesi [19]

3.4.7 Kondansatör Bankaları

Tanımlanan bankolar hem güç faktörü düzeltme ve hem de filtrelerin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. Harmonik filtresinde kullanılan kondansatörün nominal gerilimi kullanılan şebekeninkinden daha yüksek olacaktır. Filtreleme yapıp yapılmayacağı harmonik düzenlemenin ve mevcut bulunan harmonik yükün seviyesine dayalı olarak değerlendirilmelidir.

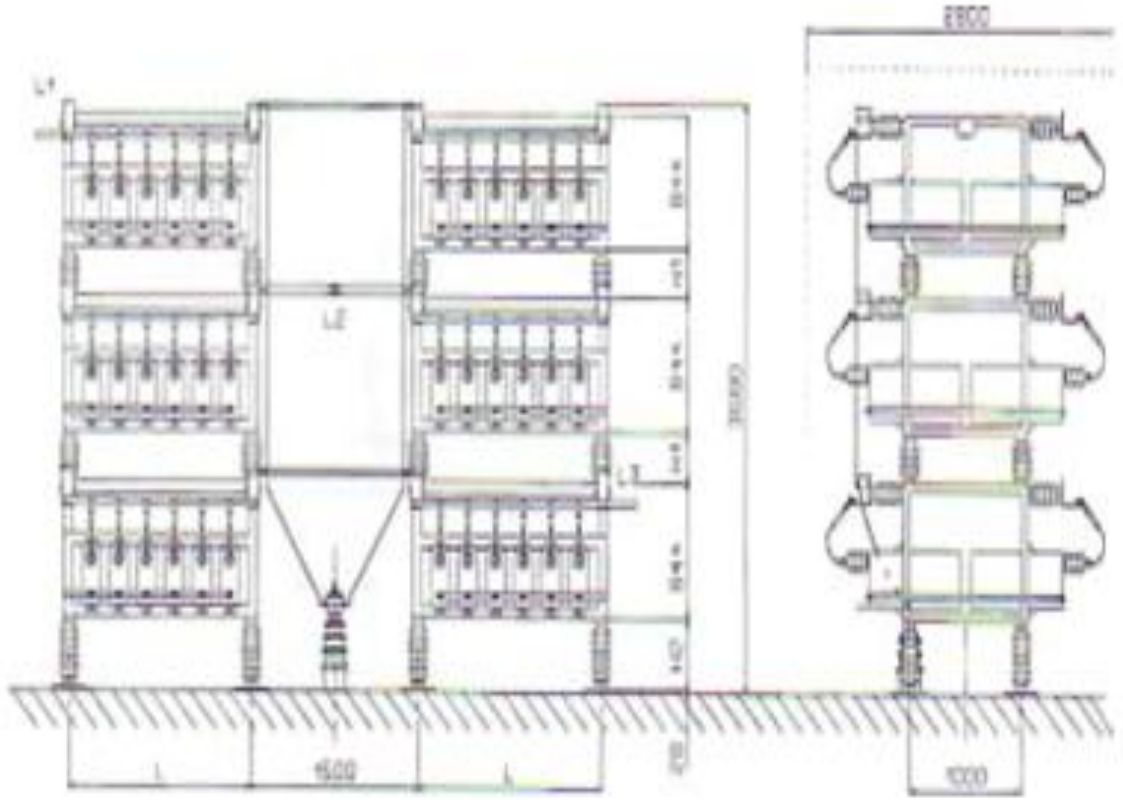
Kondansatör bankaları, kondansatörlerin işletimleri için gerekli bütün aksesuarlar ile birlikte komple bir araya getirilip monte edilmiş olarak sağlanmaktadır.

Elektriksel bağlantı, yalıtılmış bir nötr ile bir çift yıldız bağlantıdır. Kondansatör bankaları koruma derecesi IP 00 olan bir akım dengesizlik koruması ile donatılmıştır.

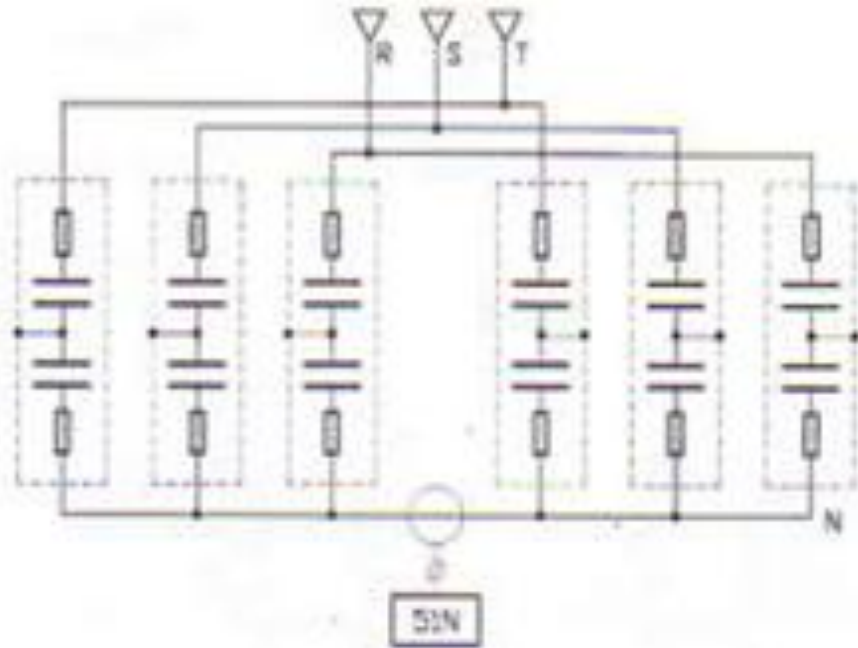
Standartlarda belirtilen 6 ila 24 tek-fazlı kondansatörler barındırabilecek çatılara gerek vardır.

Dahili ortam veya harici ortam montajları için iki versiyon, sırasıyla akım trafosunun reçinede veya yağda olması, atmalı sigortalar ile veya sigortasız, ani boşalma akım limitleme reaktörleri ile bu reaktörler olmaksızın gibi farklılık göstermektedir.

Şekil 3.13' deki istifleme çatı yapılarını kullanarak daha yüksek güç veya voltaj ile bankolar gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 3. 13 Atmalı sigortalı versiyonlu faz başına seri olarak bağlanmış 2 bölümlü kondansatör bankosu [19]

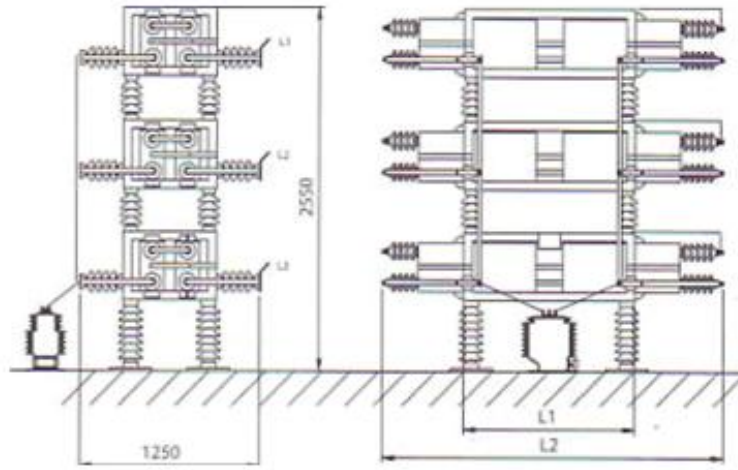


Şekil 3. 14 Atmalı sigortalı kondansatör bankosunun tek hat şeması [19]

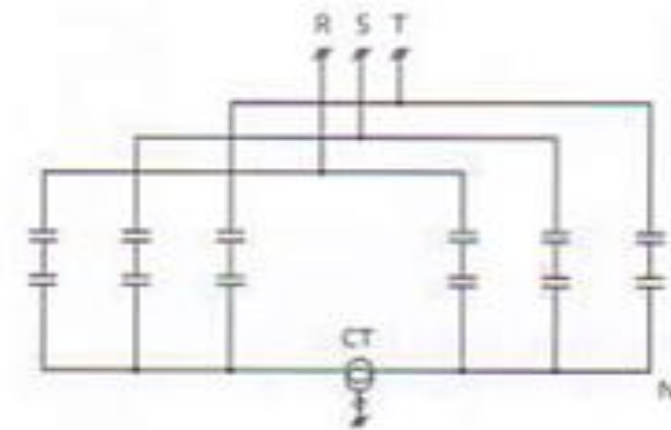
Komple banko normal olarak aşağıdaki şekilde;

- Tek fazlı kondansatörler ile
- Çatı, izolatörler, bağlantılar, vidalar ve somunlar içermekte olan kondansatör bankosu kiti
- Akım trafosun' dan ve kontrol paneli üzerine takılacak olan yerine gömmeli maksimum akım rölesinden oluşan dengesizlik koruması
- Atmalı sigortalar, ani boşalma akım limitleyici reaktörler, topraklama bıçaklı şalterler, aşırı-yük koruması, key-operated (farklı bankolar arasında anahtarla çalıştırılan bloklar arası sistemler)

dahil olmak üzere çeşitli aksesuarlardan oluşmaktadır [19].



Şekil 3. 15 Dahili sigortalı versiyonlu faz başına seri olarak bağlanmış 2 bölümlü kondansatör bankosu [19]



Şekil 3. 16 Dahili sigortalı kondansatör bankosunun tek hat şeması [19]

3.4.8 Kondansatör Bankalarının Montajı

Kondansatörler kasanın yan tarafına kaynağı yapılmış uygun yerinde bulunan tutamaçları kullanarak kaldırılabilir olup ve gerek dikey olarak veya gerekse yatay olarak monte edilebilmektedirler. Ancak kondansatörlerin geniş yan taraflarından birisinin üzerine oturtulmamasına dikkat edilmelidir.

Her iki montaj pozisyonunda kondansatörler montaj rafına cıvatalar ile sabitlenmelidir.

Bitişik iki üniteler arasındaki minimum mesafe yaklaşık olarak 8 cm' dir. Toprak terminalleri (30 Nm'lik bir torka dayanabilen) kondansatör kılıfının üzerinde yer almaktadır ve elektriksel olarak montaj rafına bağlanmış olmalıdır [22].

Her bir ünite üzerine bir atmalı sigorta monte edilebilmektedir.

Bağıl olarak alçak gerilimli hatlar üzerinde güç faktörü düzeltme bankalarında, aynı fazdaki bütün üniteler genel olarak paralel şekilde bağlanmaktadır. Sistemin yalıtımı kondansatör tarafından sağlandığından dolayı, montaj rafları topraklanabilmektedir.

Diğer durumlarda (örneğin, daha yüksek hat gerilimi durumu) iki veya daha fazla kondansatör grupları seri olarak bağlanmaktadır: montaj rafları bir diğerinden ve topraktan yalıtılmış olmalıdır ve banko için talep edilen yalıtım seviyesinin ayrık tek durumda kondansatörünkinden daha büyük olacağı şekilde iyi tanımlanmış bir potansiyel oluşturmalıdır.

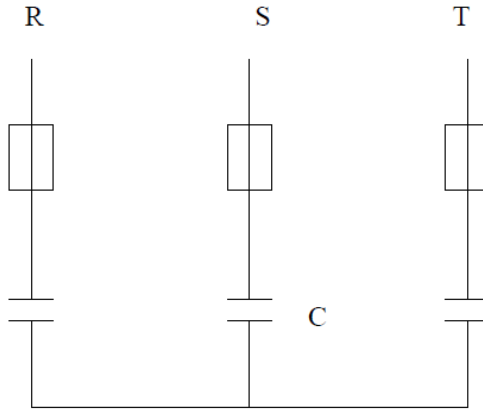
İki grup seri olarak kullanılmakta olduğunda, kondansatörleri tekli yalıtılmış kutupla, diğerini metalik kasaya bağlayarak kullanmak en uygun yöntemdir.

3.5 O.G. Kondansatör Bankalarının Yapılandırılması ve Bağlantı Şekilleri

Orta gerilim kondansatör bankalarının farklı yapılandırmalara sahiptir. Bu yapılandırmaların yapılması, kullanılan kondansatör tipine ve her şeyden önce tesisin elektrik parametrelerine bağlıdır. Örneğin 3 fazlı kondansatörler, maksimum nominal gerilimi 11kV ve daha az olan gerilim şartları altında ve maksimum gücü 1.4 MVAR olan (Piyasadaki markalara göre bu güçte çok az değişiklik olabilir.) tesislerde kullanılabilir. 11 kV üzeri nominal gerilim ve daha yüksek güçlü kompanzasyon yapmak için tek fazlı kondansatörler kullanılarak kondansatör bankaları oluşturulur. Bu oluşturulan bankolar da bağlantı şemaları için yapılan çalışmalarda tek ve çift yıldız bağlantı şekilleri oluşturulmuştur.

3.5.1 Nötrü Topraksız Yıldız Bağlantı Şekli

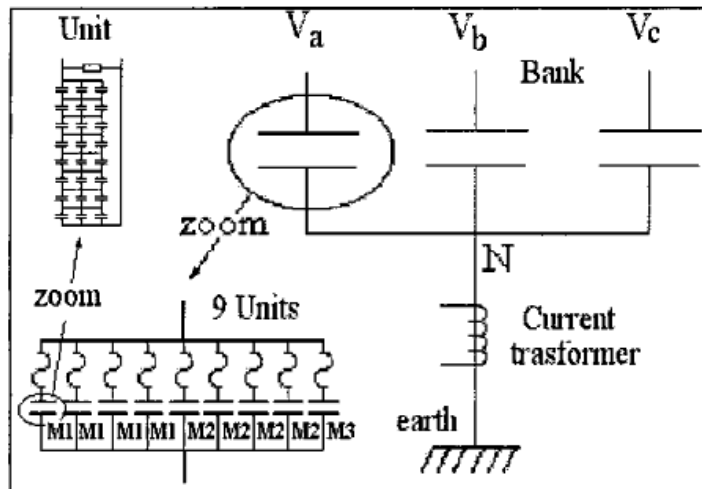
Orta büyüklükteki kondansatör gruplarında nötrü topraksız yıldız bağlantı şekli kullanılır. Tek fazlı kondansatörlerden oluşturulan bir yapılandırmadır. Bu tür bağlantı şekli ülkemizde uygulamada pek kullanılmayan bir bağlantı şeklidir. Nötrü topraksız yıldız bağlantısı Şekil 3.17’ de gösterilmiştir.



Şekil 3. 17 Nötrü topraksız tek yıldız bağlantı şekli [16]

3.5.2 Nötrü Topraklı Yıldız Bağlantı Şekli

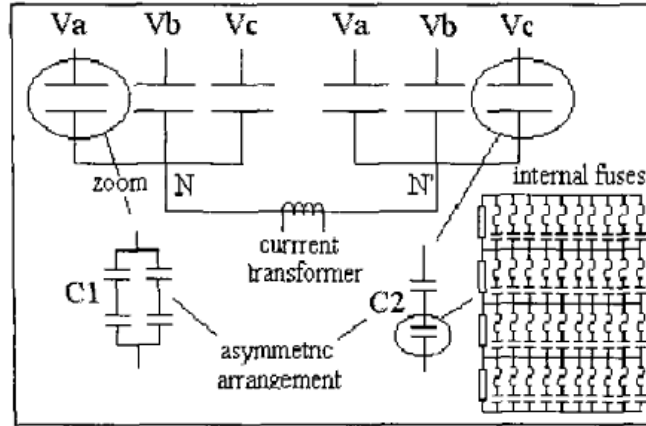
Bu bağlantı yapılandırması alçak güçlü kapasitör bankları için sınırlandırılmıştır. Tek fazlı kondansatörlerden oluşturulan bir yapılandırmadır. Yıldırım darbelerini toprağa vererek bara bağlantı noktasında korumaya yardım ederler. Nötrü topraklı yıldız bağlantısı Şekil 3.18’ de gösterilmiştir.



Şekil 3. 18 Nötrü topraklı tek yıldız bağlantı şekli [20]

3.5.3 Nötrü Topraksız Çift Yıldız Bağlantı Şekli

Büyük güçlü banklarda ve en yüksek gerilimlerde en güvenli bağlantı şeklidir. Ülkemizde TEİAŞ' a ait bir çok indirici merkezlerde uygulanan kompanzasyon sistemidir. Burada iki yıldız şeklinde düzenlenen kondansatör gruplarının yıldız noktaları topraktan yalıtılmıştır. Akım trafosu ile dengesizlik koruması sağlanmıştır. Nötrü topraksız çift yıldız bağlantısı Şekil 3.19' da gösterilmiştir.



Şekil 3. 19 Nötrü topraksız çift yıldız bağlantı şekli [20]

3.6 O.G.' de Reaktif Güç Kompanzasyon Teknikleri

Orta gerilim' de reaktif güç kompanzasyonu uygulamada, sabit kompanzasyon, otomatik (kademeli) kompanzasyon ve statik kompanzasyon olmak üzere 3 farklı şekilde gerçekleştirilmektedir.

3.6.1 Sabit Kompanzasyon

Devamlı olarak işletmede bulunan indirici trafoların beslediği baralarda, baraların reaktif güç ihtiyacını karşılamak amacıyla sabit kompanzasyon yapılır. Genellikle ülkemizde indirici merkezlerde karşılaştığımız bu kompanzasyon tipi nötrü topraktan yalıtılmış akım trafosu ile dengesizlik koruması yapılan çift yıldız bağlı kondansatörlerden oluşan kondansatör bankaları ile yapılmaktadır. Bu kondansatör bankosu, bir orta gerilim kesicisi yardımı ile genellikle manuel olarak devreye alınır veya devreden çıkartılır.

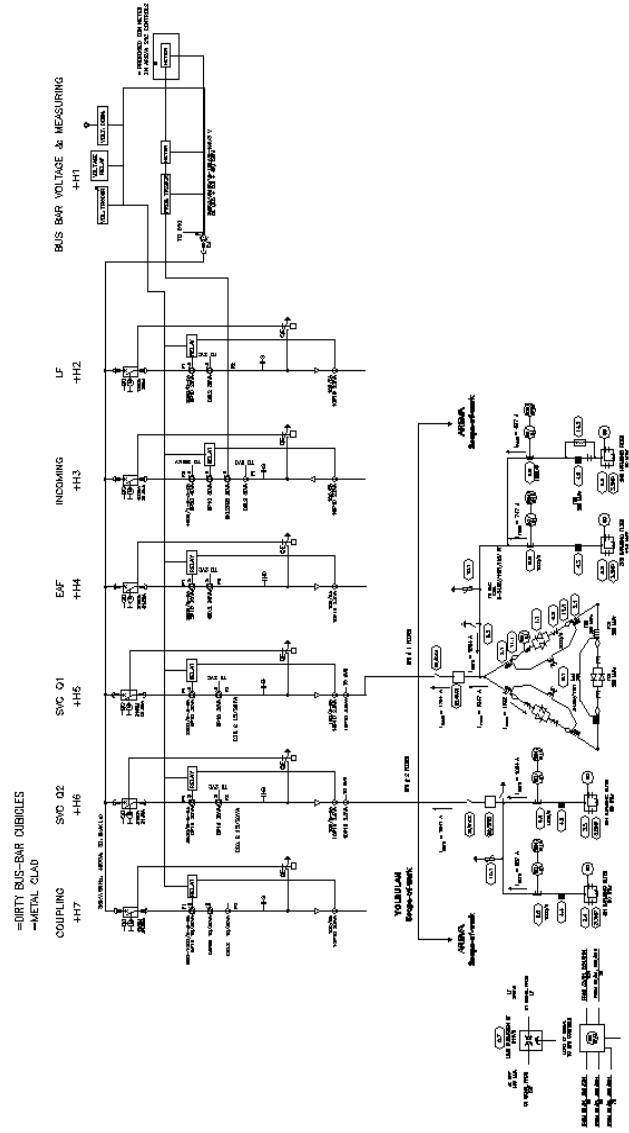
3.6.2 Otomatik Kompanzasyon

Orta gerilim seviyesinde çalışan makinelerin belli periyotlar da devreye girip çıkarak yük değişim dalgalanmalarının olduğu endüstriyel tesislerde çoğunlukla yapılmaktadır. Ülkemizde özellikle demir, çelik sektöründeki firmalarımızın çoğunda 6,3 kV nominal gerilim seviyelerinde 3 fazlı kondansatörler kullanılarak uygulanmaktadır.

34,5 kV nominal gerilim seviyesinde de hem sanayi bölgesi hem de konut, yerleşim bölgesi olan bir çok yerde TEİAŞ' a ait ana indirici merkezlerde puant yükleri karşılamak amacıyla bir çok kademeli olarak uygulandığı görülmektedir. Ama bu kademe geçişleri endüstriyel tesislerdeki gibi ani yük değişimleri olmadığından gün içerisinde uzun zaman aralıklarında bir veya iki defa 2. veya 3.kademelerin devreye girip çıkışı olur. Endüstriyel tesisler de bu gibi kademe geçişleri düşük gerilim seviyelerinde gün içerisinde bir çok defa tekrarlanmaktadır.

3.6.3 Statik Kompanzasyon

Orta gerilim seviyelerinde çoğunlukla demir çelik fabrikalarında sabit kondansatörlü veya filtreli tristör kontrollü reaktör VAR kompanzatör (FC-TCR) uygulaması görülmektedir. Yüksek güçlü ve yüksek işletme gerilimli çalışma şartlarında demir çelik endüstrisinde kullanılan makinelerin ürettiği harmonikleri sönmölemek ve güç faktörünü düzenlemek amacıyla kullanılır. Şekil 3.20' de (EK-A) bir demir çelik fabrikasında uygulanan sabit kondansatörlü tristör kontrollü reaktör VAR kompanzatörü devre şeması görülmektedir.



Şekil 3. 20 Bir demir çelik fabrikasında uygulanan 34,5 kV, 200 MVar' lık FC-TCR kompanzatör devre şeması

Ülkemizde statik kompanzasyonun diğ er bir tipi olan tristör anahtarlama ı kondansatör kompanzatörü orta gerilim seviyesinde reaktif güç kontrolü için demir yolu tesislerinde bir indirici transformatör üzerinden sisteme bağlanmaktadır. Örneğin; TCDD’ de nominal gerilimi 25 kV olan demiryolu katener hattını besleyen 27,5 kV çıkış gerilimli transformatör merkezinin O.G. reaktif güç kompanzasyonu 27,5 kV / 0,69 kV gerilimli bir indirici transformatör üzerinden sisteme bağlanan 690 V gerilimli tristör anahtarlama ı statik kompanzasyon sistemi ile gerçekleştirilmiştir.

O.G. TESİSLERİNDE REAKTİF GÜÇ KOMPAZASYONU İLE İLGİLİ SAYISAL UYGULAMA ve TASARIMLAR

4.1 Giriş

Bu tez çalışmasının önceki bölümlerinde O.G. tesislerinde yaygın olarak kullanılan reaktif güç kompanzasyon teknikleri ile ilgili olarak verilen teorik bilgilerin uygulamaya dönüştürülmesine yönelik sayısal uygulama ve tasarım çalışmalarına bu bölümde yer verilmiştir.

Bölüm 4.2’ de işletme gerilimi 34,5 kV olan bir O.G. tesisine ait tek fazlı kondansatörlerden oluşan çift yıldız bağlı kondansatör grupları şeklinde dizayn edilmiş O.G. reaktif güç kompanzasyon tesisi ile ilgili sayısal uygulama ve tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

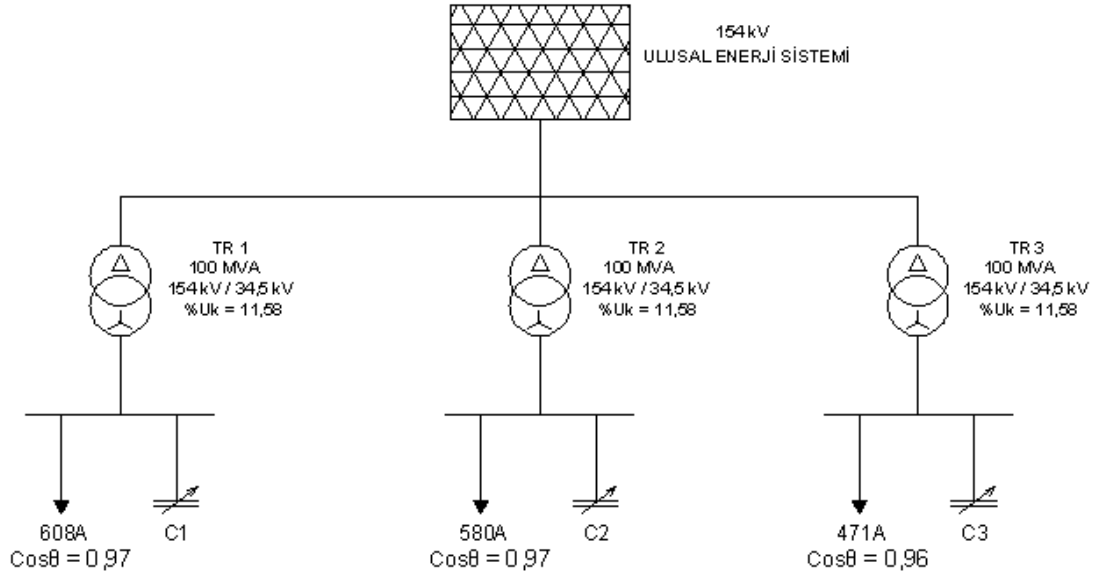
Bölüm 4.3’ de benzer çalışmalar bir demir çelik tesisine ait işletme gerilimi 6,3 kV olan ve üç fazlı kondansatörlerden oluşan O.G. reaktif güç kompanzasyon tesisi örneği için gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 4.4’ de ise nominal gerilimi 25 kV olan bir demiryolu katener hattını besleyen 27,5 kV gerilimli TCDD transformatör merkezine ait tristör anahtarlama O.G. statik kompanzasyon sistemi incelenmiştir.

4.2 İşletme Gerilimi 34,5 kV’ luk Bir Tesiste Tek Fazlı Kondansatörlerden Oluşan Çift Yıldız Kondansatör Bankolu Kompanzasyon Uygulama Örneği

Orta gerilim dağıtımı 34,5 kV nominal gerilimi ile yapılan sanayi ve konut bölgesi olan bir yerleşim alanını besleyen indirici merkezin 3 adet 100 MVA gücü ve 154 / 34,5 kV

çevirme oranına sahip indirici trafolarının beslediği 34,5 kV gerilime sahip baraların 0,97 olan güç faktörünün 0,994 çıkartmak amacı ile 3 adet 4800 kVAr' lık nötrü topraktan yalıtılmış çift yıldız kondansatör bankalarından oluşana kompanzasyon sistemi kurulmuştur. Bu kurulan sistemin teknik hesapları ve çizimleri ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 4. 1 3 adet 100 MVA' lık 154 kV / 34,5 kV çevirme oranına sahip indirici transformatörlerin tek hat şeması

4.2.1 Kompanzasyon Gücü Hesabı

4.2.1.1 Trafo-1' e Tesis Edilecek Kondansatör Gücü

Nominal Gücü 100 MVA, çevirme Oranı 154 / 34,5 kV, % $U_k = \% 11,58$ ve nominal akımı 1675 A olan indirici trafo' nun sekonderinin beslediği 34,5 kV gerilim değerine sahip bara' dan çekilen akım 608 A ve güç faktörü $\cos \theta_1 = 0,97$ ' dir. 2007 yılında yayınlanan ortalama aktif ve reaktif güç oranlarına göre, 0,97 olan güç faktörü değerini kompanzasyon sistemi kurularak 0,993 değerine çıkartmak için yapılan hesaplar aşağıda verilmiştir;

$$P_1 = \sqrt{3} \times U \times I_1 \times \cos \theta_1 = \sqrt{3} \times 34,5 \times 608 \times 0,97 = 35241,55 \text{ kW} \quad (4.1)$$

$$S_1 = \sqrt{3} \times U \times I_1 = \sqrt{3} \times 34,5 \times 608 = 36331,5 \text{ kVA} \quad (4.2)$$

trafo-1' den çekilen aktif ve görünür güç değerleridir. Kompanzasyon öncesi güç faktörü;

$$\cos \theta_1 = 0,97 \text{ ve } \tan \theta_1 = 0,25 \quad (4.3)$$

değerine sahiptir. Kompanzasyon sonrası istenen güç faktörü;

$$\cos \theta_2 = 0,993 \text{ ve } \tan \theta_2 = 0,1189 \quad (4.4)$$

değerine sahiptir. Gerekli olan kondansatör gücü;

$$Q_C = P_1(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = 35241,55(0,25 - 0,1189) = 4620 \text{ kVAr} \quad (4.5)$$

değerine sahiptir. Bu değere göre 400 kVAr'lık kondansatörler kullanılarak kurulması gereken kondansatör bankosu gücü $2 \times 6 \times 400 = 4800 \text{ kVAr}$ olarak belirlenmiştir.

4.2.1.2 Trafo-2' e Tesis Edilecek Kondansatör Gücü

Nominal Gücü 100 MVA, çevirme Oranı 154 / 34,5 kV, % $U_k = \% 11,58$ ve nominal akımı 1675 A olan indirici trafo' nun sekonderinin beslediği 34,5 kV gerilim değerine sahip bara' dan çekilen akım 580 A ve güç faktörü $\cos \theta_1 = 0,97$ ' dir. 2007 yılında yayınlanan ortalama aktif ve reaktif güç oranlarına göre, 0,97 olan güç faktörü değerini kompanzasyon sistemi kurularak 0,994 değerine çıkartmak için yapılan hesaplar aşağıda verilmiştir;

$$P_1 = \sqrt{3} \times U \times I_1 \times \cos \theta_1 = \sqrt{3} \times 34,5 \times 580 \times 0,97 = 33618,58 \text{ kW} \quad (4.6)$$

$$S_1 = \sqrt{3} \times U \times I_1 = \sqrt{3} \times 34,5 \times 580 = 34658,33 \text{ kVA} \quad (4.7)$$

trafo-2' den çekilen aktif ve görünür güç değerleridir. Kompanzasyon öncesi güç faktörü;

$$\cos \theta_1 = 0,97 \text{ ve } \tan \theta_1 = 0,25 \quad (4.8)$$

değerine sahiptir. Kompanzasyon sonrası istenen güç faktörü;

$$\cos \theta_2 = 0,994 \text{ ve } \tan \theta_2 = 0,11 \quad (4.9)$$

değerine sahiptir. Gerekli olan kondansatör gücü;

$$Q_C = P_1(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = 33618,58(0,25 - 0,11) = 4706 \text{ kVAr} \quad (4.10)$$

değerine sahiptir. Bu değere göre 400 kVAr'lık kondansatörler kullanılarak kurulması gereken kondansatör bankosu gücü $2 \times 6 \times 400 = 4800 \text{ kVAr}$ olarak belirlenmiştir.

4.2.1.3 Trafo-3' e Tesis Edilecek Kondansatör Gücü

Nominal Gücü 100 MVA, çevirme Oranı 154 / 34,5 kV, % $U_k = \% 11,58$ ve nominal akımı 1675 A olan indirici trafo' nun sekonderinin beslediği 34,5 kV gerilim değerine sahip bara' dan çekilen akım 471 A ve güç faktörü $\cos \theta_1 = 0,96$ ' dir. 2007 yılında yayınlanan ortalama aktif ve reaktif güç oranlarına göre, 0,96 olan güç faktörü değerini kompanzasyon sistemi kurularak 0,993 değerine çıkartmak için yapılan hesaplar aşağıda verilmiştir;

$$P_1 = \sqrt{3} \times U \times I_1 \times \cos \theta_1 = \sqrt{3} \times 34,5 \times 471 \times 0,96 = 27019,16 \text{ kW} \quad (4.11)$$

$$S_1 = \sqrt{3} \times U \times I_1 = \sqrt{3} \times 34,5 \times 471 = 28144,95 \text{ kVA} \quad (4.12)$$

trafo-1' den çekilen aktif ve görünür güç değerleridir. Kompanzasyon öncesi güç faktörü;

$$\cos \theta_1 = 0,96 \text{ ve } \tan \theta_1 = 0,29 \quad (4.13)$$

değerine sahiptir. Kompanzasyon sonrası istenen güç faktörü;

$$\cos \theta_2 = 0,993 \text{ ve } \tan \theta_2 = 0,1189 \quad (4.14)$$

değerine sahiptir. Gerekli olan kondansatör gücü;

$$Q_C = P_1 \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = 27019,16 \times (0,29 - 0,1189) = 4623 \text{ kVAr} \quad (4.15)$$

değerine sahiptir. Bu değere göre 400 kVAr' lık kondansatörler kullanılarak kurulması gereken kondansatör bankosu gücü $2 \times 6 \times 400 = 4800 \text{ kVAr}$ olarak belirlenmiştir.

4.2.2 Aşırı Akım Sınırlama Reaktör Değeri Hesabı

$$\text{Frekans} = 50 \text{ Hz} \quad (4.16)$$

$$V_{\text{faz-nötr}} = 34,5 \text{ kV} / \sqrt{3} = 19,92 \text{ kV} \quad (4.17)$$

$$I_n = 4800 \text{ kVAr} / (\sqrt{3} \times 34,5 \text{ kV}) = 80,33 \text{ A} \quad (4.18)$$

$$\text{Maksimum peak akımı (I}_{\text{max}}) = I_n \times 100 = 80,33 \times 100 = 8033 \text{ A} \quad (4.19)$$

$$\text{Faz başına kondansatör gücü} = 4800 \text{ kVAr} / 3 = 1600 \text{ kVAr} \quad (4.20)$$

$$C_Y = \frac{Q_{\text{faz}}}{2\pi f V_{\text{faz-nötr}}^2} = \frac{1600 \cdot 10^3}{2\pi \cdot 50 \cdot (19,92 \cdot 10^3)^2} = 12,84 \mu\text{F} \quad (4.21)$$

60871-1 IEC standartının göre;

$$L = \frac{2}{3} \times \frac{U_{\text{faz-faz}}^2}{I_{\text{max}}^2} \times C_Y = \frac{2}{3} \times \frac{(34,5 \cdot 10^3)^2}{8033^2} \times 12,84 \cdot 10^{-6} = 157,89 \mu\text{H} \quad (4.22)$$

$$\text{Reaktör tasarım akımı} = 1,5 \times I_n = 1,5 \times 80,33 = 120,49 \text{ A} \quad (4.23)$$

Her fazın başına 150 μH ve 120 A etiket değerlerine sahip akım sınırlama reaktörleri konulacaktır.

4.2.3 O.G. Kablo Hesabı

154 / 34,5 kV indirici trafoların sekonderlerinin beslediği bara ile kondansatör bankoları arasında döşenecek olan 35 kV XLPE kablo' nun kesiti;

$$I_n = 4800 \text{ kVAr} / \sqrt{3} \times 34,5 \text{ kV} = 80,33 \text{ A} \quad (4.24)$$

$$\text{Kablo tasarım akımı} = 1,5 \times I_n = 1,5 \times 80,33 = 120,49 \text{ A} \quad (4.25)$$

Çizelge 4.1' e göre 35 kV 3x(1x35) mm² kesitli XLPE kablo seçilmiştir. Bu seçilen kablo' nun taşıma kapasitesi, toprakta yan yana döşenmesi halinde 214 A' dir.

Çizelge 4. 1 XLPE kabloların akım taşıma kapasiteleri [23]

Gerilim	3,6 / 6 kV						6 / 10 kV						8,7 / 15 kV						20,3 / 35 kV					
Kablo Tipi	YE ₃ SV / YE ₃ SHŞV						YE ₃ SV / YE ₃ SHŞV						YE ₃ SV / YE ₃ SHŞV						YE ₃ SV / YE ₃ SŞV					
Damar Sayısı	● ● ●		● ● ●		● ● ●		● ● ●		● ● ●		● ● ●		● ● ●		● ● ●		● ● ●		● ● ●		● ● ●		● ● ●	
Döşeme Şekli	Havada	Toprakta	Havada	Toprakta	Havada	Toprakta	Havada	Toprakta	Havada	Toprakta	Havada	Toprakta	Havada	Toprakta	Havada	Toprakta	Havada	Toprakta	Havada	Toprakta	Havada	Toprakta	Havada	Toprakta
Kesit																								
25	180	185	167	154	141	149	194	179	163	157	147	151	191	179	162	157	143	148	-	-	-	-	-	-
35	238	201	199	191	171	176	235	212	197	187	178	181	235	213	200	189	173	178	233	214	202	192	176	181
50	285	241	241	227	196	208	282	249	236	220	213	213	282	250	239	222	206	210	282	251	241	225	210	214
70	356	301	301	277	249	255	350	302	294	268	265	261	351	303	297	271	257	256	350	304	299	274	262	261
95	435	364	365	331	307	307	426	359	358	320	322	312	426	360	361	323	313	307	425	362	363	327	319	313
120	496	424	419	379	353	353	491	405	413	363	370	355	491	407	416	367	360	349	488	409	418	371	364	356
150	554	479	479	422	406	396	549	442	468	405	420	399	549	445	470	409	410	392	548	449	472	414	418	400
185	637	549	543	476	464	447	625	493	535	456	481	451	625	498	538	461	469	443	624	502	539	466	478	441
240	746	595	640	550	548	523	731	563	631	526	566	523	731	568	634	532	553	513	728	574	635	539	562	510
300	-	-	-	-	-	-	831	626	722	591	648	590	830	633	724	599	633	578	828	640	725	606	643	575
400	-	-	-	-	-	-	920	675	827	662	-	-	923	685	829	671	-	-	922	695	831	680	-	-
500	-	-	-	-	-	-	1043	748	949	744	-	-	1045	760	953	754	-	-	1045	773	953	765	-	-

4.2.4 Akım Trafosu Seçimi

Metal muhafazalı modüler kesicili fider çıkış hücrelerin de koruma amaçlı kullanılacak akım trafoları akım değeri, 1x35 mm² kesitli XLPE kablonun taşıma kapasitesi değerine göre 2 adet 300 / 5 A, 1 adet 300 / 5-5 A seçilmiştir. 1 adet çift çekirdekli akım trafosu ayrıca akım değeri okumak için bir ampermetre bağlantısı yapılacağından seçilmiştir. Akım trafolarının koruma sınıfı cl: 1, gücü ise 15 VA' dir. 34,5 kV baranın kısa devre gücü 7256 MVA' dır.

$$S_k = 7256 \text{ MVA}$$

$$N_{\text{trafo}} = 100 \text{ MVA}$$

$$\% U_k = 11,58$$

$$N_{\text{baz}} = 100 \text{ MVA}$$

$$U_{\text{baz}} = 34,5 \text{ kV}$$

$$Z_{\text{baz}} = U_{\text{baz}} / N_{\text{baz}} = 34,5^2 \text{ kV} / 100 \text{ MVA} = 11,9025 \text{ ohm} \quad (4.26)$$

$$I_{\text{baz}} = N_{\text{baz}} / \sqrt{3} \times U_{\text{baz}} = 100 \text{ MVA} / \sqrt{3} \times 34,5 \text{ kV} = 1675 \text{ A} \quad (4.27)$$

100 metre uzunluğundaki 1x35 kesitli XLPE kablonun etiket değerleri Çizelge 4.2'e göre, $r = 0,524 \text{ ohm/km}$, $x = 0,2198 \text{ ohm/km}$, $Z_0 = 0,568 \text{ ohm/km}$, $Z_{\text{baz}} = 11,9025 \text{ ohm}$ ' dur.

$$Z_{hat} = (Z_{0xL}) / Z_{baz} = (0,568 \times 0,1) / 11,9025 = 0,004772 \text{ pu} \quad (4.28)$$

$$Z_{\text{şebeke}} = N_{baz} / S_k = 100 / 7256 = 0,01378 \text{ pu} \quad (4.29)$$

$$Z_{trafo} = (N_{baz} \times \% U_k) / N_{trafo} = (100 \times 0,1158) / 100 = 0,1158 \text{ pu} \quad (4.30)$$

Sistemin toplam empedansı;

$$Z_{top} = Z_{hat} + Z_{\text{şebeke}} + Z_{trafo} = 0,004772 + 0,01378 + 0,1158 = 0,134352 \text{ pu} \quad (4.31)$$

Kısa devre gücü hesabı;

$$N_k = (1,2 \times N_{baz}) / Z_{top} = (1,2 \times 100) / 0,134352 = 893,176 \text{ MVA} \quad (4.32)$$

Kısa devre akımı hesabı;

$$I_k = N_k / (1,2 \times \sqrt{3} \times U) = 893,176 \text{ MVA} / 1,2 \times \sqrt{3} \times 34,5 = 12,456 \text{ kA} \quad (4.33)$$

Akım trafolarının kısa süreli termik akımı;

$$I_{th} = I_k \times I_n / 300 \text{ A} = 12700 \times I_n / 300 = 42,33 \text{ In} \quad (4.34)$$

100 I_n seçilecektir.

Dengesizlik akım trafosu değerleri ise [19];

25 / 5 A çevirme oranı, koruma sınıfı cl: 0,5, gücü: 10 VA, $I_{th} = 100 I_n$ etiket değerlerin de olacaktır.

Çizelge 4. 2 35 kV tek damarlı XLPE kablunun döşeme şekline göre empedansları

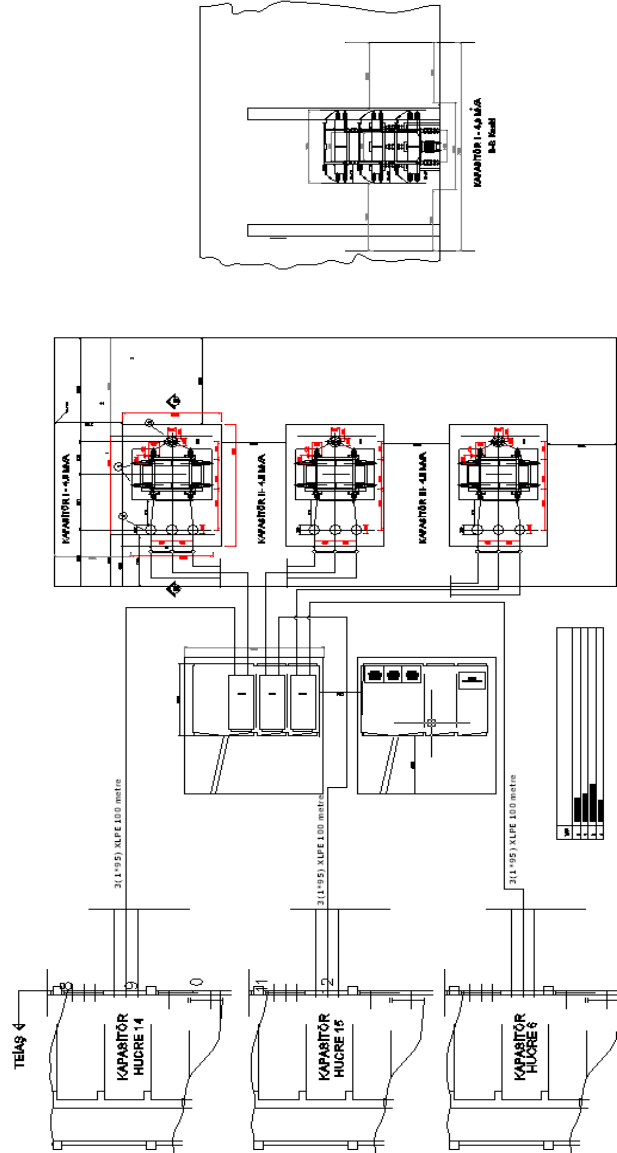
KESİT	R	X	X	Z	Z
1X35/16	0.524	0.2198	0.16014	0.568	0.547
1X50/16	0.378	0.21	0.15386	0.44	0.416
1X70/16	0.268	0.2046	0.1444	0.336	0.304
1X95/16	0.193	0.1945	0.3816	0.274	0.237
1X120/16	0.153	0.19154	0.13188	0.245	0.202
1X150/25	0.124	0.18526	0.12874	0.222	0.178
1X185/25	0.099	0.18212	0.12246	0.207	0.157
1X240/25	0.075	0.17584	0.11618	0.191	0.138

4.2.5 Kondansatör Sisteminin O.G. Tek Hat Şeması

4800 kVAr' lık kondansatör bankosunun O.G. tek hat projesi, önceki bölümlerde yapılan hesaplara göre çizilmiş olup, Şekil 4.1' de (EK-B) gösterilmiştir.

4.2.6 Kondansatör Bankalarının Yerleşim Planı

4800 kVAr'lık kondansatör bankalarının yerleşim planları, Şekil 4.3' de (EK-B) gösterilmiştir.



Şekil 4. 4 4800 kVAR'lık kondansatör bankalarının yerleşim planları



Şekil 4. 5 4800 kVAR' lık kondansatör bankosunun görünümü

4.3 İşletme Gerilimi 6,3 kV' luk Bir Tesiste Üç Faz Kondansatörlü Kompanzasyon Uygulama Örneği

Bir demir çelik fabrikasının 31,5 kV / 6,3 kV, 8 MVA etiket değerlerine sahip bir indirici trafo ile beslenen oksijen bölümünün 0,83 olan güç faktörünün 0,99 değerine çıkartılması amacı ile 6,6 kV 3 fazlı kondansatörler ile 3 kademeli 3750 kVAr' lık kompanzasyon sistemi kurulmuştur. Kondansatörler metal mahfazalı paneller için de bulunmaktadır. Bu kurulan sistemin teknik hesapları ve çizimleri ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir.

4.3.1 Kompanzasyon Gücü Hesabı

Nominal Gücü 8 MVA, çevirme Oranı 31,5 / 6,3 kV ve $\% U_k = \% 7,08$ olan indirici trafo' nun sekonderinin beslediği 6,3 kV gerilim değerine sahip bara' dan çekilen aktif güç 6810 kW ve güç faktörü $\cos \theta_1 = 0,83$ ' dür. 2007 yılında yayınlanan ortalama aktif ve reaktif güç oranlarına göre, 0,83 olan güç faktörü değerini kompanzasyon sistemi kurularak 0,99 değerine çıkartmak için yapılan hesaplar aşağıda verilmiştir; (Yüklenme durumunda tesisin sürekli gerilimi 6 kV olmaktadır.)

$$P_1 = 6810 \text{ kW}$$

Kompanzasyon öncesi güç faktörü;

$$\cos \theta_1 = 0,83 \text{ ve } \tan \theta_1 = 0,672 \quad (4.35)$$

değerine sahiptir. Kompanzasyon sonrası istenen güç faktörü;

$$\cos \theta_2 = 0,99 \text{ ve } \tan \theta_2 = 0,142 \quad (4.36)$$

değerine sahiptir. Gerekli olan kondansatör gücü;

$$Q_C = P_1(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = 6810(0,672 - 0,142) = 3609,30 \text{ kVAr} \quad (4.37)$$

değerine sahiptir. Bu değere göre 3 adet 6,6 kV, 500 kVAr'lık kondansatörler kullanılarak 1500 kVAr'lık (6 kV gerilimde 1250 kVAr nominal güç' de çalışıyor.) kademe değerine sahip 3 kademeli toplamda 4500 kVAr'lık (6 kV gerilim de 3750 kVAr nominal güç' de çalışıyor.) kompanzasyon sistemi kurulması gerekmektedir.

4.3.2 Aşırı Akım Sınırlama Reaktör Değeri Hesabı

$$\text{Frekans} = 50 \text{ Hz} \quad (4.38)$$

$$I_n = 1250 \text{ kVAr} / (\sqrt{3} \times 6 \text{ kV}) = 120,28 \text{ A} \quad (4.39)$$

$$\text{Maksimum peak akımı } (I_{\max}) = I_n \times 100 = 120,28 \times 100 = 12028 \text{ A} \quad (4.40)$$

$$C_{\Delta} = Q_{\text{kademe}} / 2\pi f \cdot U_{\text{faz-faz}}^2 = 1250 \text{ kVAr} / (2\pi \cdot 50) \cdot (6 \text{ kV})^2 = 110,52 \mu\text{F} \quad (4.41)$$

60871-1 IEC standartının göre;

$$L = (2/3 \times U_{\text{faz-faz}}^2 \times C_{\Delta}) / I_{\max}^2 = (2/3 \times (6)^2 \times 110,52 \times 10^{-6}) / 12028^2 = 18,34 \mu\text{H} \quad (4.42)$$

$$\text{Reaktör tasarım akımı} = 1,5 \times I_n = 1,5 \times 120,28 = 180,42 \text{ A} \quad (4.43)$$

Her fazın başına 7,2 kV nominal gerilime sahip 20 μH ve 200 A etiket değerlerine sahip akım sınırlama reaktörleri konulacaktır.

4.3.3 O.G. Kablo Hesabı

31,5 / 6,3 kV indirici trafonun sekonderinin beslediği bara ile kondansatör bankoları arasında döşenecek olan 6 kV XLPE kablo' nun kesiti;

$$I_n = 3750 \text{ kVAr} / \sqrt{3} \times 6 \text{ kV} = 360,84 \text{ A} \quad (4.44)$$

$$\text{Kablo tasarım akımı} = 1,5 \times I_n = 1,5 \times 360,84 = 541,26 \text{ A} \quad (4.45)$$

Çizelge 4. 3' e göre 6 kV 3x(1x240) mm² kesitli XLPE kablo seçilmiştir. Bu seçilen kablo' nun taşıma kapasitesi, toprakta yan yana döşenmesi halinde 595 A' dir.

Çizelge 4. 3 Tek damarlı 6 kV XLPE kablunun döşeme şekline göre empedans ve akım taşıma kapasiteleri [23]

YE ₃ SV / N2XSY / 2XSY								3,6/6 kV				
Nominal Kesit	Bakır Faktörü	Kablo Dış Çapı (Yaklaşık)	Net Ağırlık (Yaklaşık)	20 °C'de İletken DA Direnci	Çalışma İndüktansı (Yaklaşık)	Çalışma Kapasitesi (Yaklaşık)	Akım Taşıma Kapasitesi				Sevk Uzunluğu (Yaklaşık)	
Rated Cross-section	Cu Factor 1000 m	Overall Diameter of Cable (Approx.)	Net Weight (Approx.)	Conductor DC Resistance at 20 °C	Operating Inductance (Approx.)	Operating Capacity (Approx.)	Current Carrying Capacity in				Delivery Length (Approx.)	
							Toprakta		Havada			
							Ground		Air			
mm ²		mm	kg/km	Ω/km	mH/km	µF/km	A	A	A	A	m	
1 Damarlı / 1 Core												
1x25g/16	422	19,1	637	0,727	0,778	0,425	0,255	185	154	180	167	1000
1x35g/16	518	20,1	740	0,524	0,746	0,402	0,285	201	191	238	199	1000
1x50g/16	662	21,3	870	0,387	0,719	0,383	0,312	241	227	285	241	1000
1x70g/16	854	22,9	1082	0,268	0,688	0,363	0,358	301	277	356	301	1000
1x95g/16	1094	24,5	1344	0,193	0,658	0,344	0,404	364	331	435	365	1000
1x120g/16	1334	26,0	1591	0,153	0,639	0,334	0,441	424	379	496	419	1000
1x150g/25	1723	27,3	1937	0,124	0,621	0,324	0,479	479	422	554	479	1000
1x185g/25	2059	29,1	2290	0,0991	0,601	0,313	0,525	549	476	637	543	1000
1x240g/25	2587	31,8	2861	0,0754	0,577	0,301	0,574	595	550	746	640	1000
1x300g/25	3163	35,1	3500	0,0601	0,553	0,300	0,578	626	591	831	722	1000
1x400g/35	4234	39,5	4530	0,0470	0,523	0,298	0,613	675	662	920	827	1000
1x500g/35	5194	43,3	5595	0,0366	0,508	0,291	0,644	748	744	1043	949	1000

4.3.4 Akım Trafosu Seçimi

Metal Clad kesicili fider çıkış hücrelerin de koruma amaçlı kullanılacak akım trafoları akım değeri;

$$I_{AT} = 1250 \text{ kVAr} / \sqrt{3} \times 6 \text{ kV} = 120,28 \text{ A} \quad (4.46)$$

Yapılan akım hesabının sonucu çıkan değere göre 3 adet 125 / 5 A seçilmiştir. Akım trafolarının koruma sınıfı cl: 1, gücü ise 15 VA' dir. Ana indirici trafo merkezinin kısa devre gücü ve 380 kV / 31,5 kV indirici trafonun değerleri;

$$S_k = 2700 \text{ MVA}$$

$$N_{\text{trafo}} = 125 \text{ MVA}$$

$$\% U_k = 18,6$$

$$N_{\text{baz}} = 125 \text{ MVA}$$

$$U_{\text{baz}} = 31,5 \text{ kV}$$

$$Z_{baz} = U_{baz} / N_{baz} = 31,5^2 \text{ kV} / 125 \text{ MVA} = 7,938 \text{ ohm} \quad (4.47)$$

$$I_{baz} = N_{baz} / \sqrt{3} \times U_{baz} = 125 \text{ MVA} / \sqrt{3} \times 31,5 \text{ kV} = 2291 \text{ A} \quad (4.48)$$

İndirici merkez ile 31,5 kV / 6,3 kV transformatör arasına çekilen 350 metre uzunluğundaki 35 kV 1x150 mm² kesitli XLPE kablonun etiket değerleri Çizelge 4. 2' e göre, r = 0,124 ohm/km, x = 0,18526 ohm/km, Z₀ = 0,222 ohm/km' dir.

$$Z_{hat-1} = (Z_0 \times L) / Z_{baz} = (0,124 \times 0,35) / 9,9225 = 4,4092 \times 10^{-3} \text{ pu} \quad (4.49)$$

31,5 kV / 6,3 kV transformatör ile kondansatör bankoları arasına çekilen 650 metre uzunluğundaki 6 kV 1x240 mm² kesitli XLPE kablonun etiket değerleri Çizelge 4. 3' e göre, r = 0,0754 ohm/km, x = 0,1812 ohm/km, Z₀ = 0,196 ohm/km' dir.

$$Z_{hat-2} = (Z_0 \times L) / Z_{baz} = (0,196 \times 0,65) / 9,9225 = 0,01284 \text{ pu} \quad (4.50)$$

$$Z_{şebeke} = N_{baz} / S_k = 125 / 2700 = 0,0463 \text{ pu} \quad (4.51)$$

$$Z_{trafo} = (N_{baz} \times \% U_k) / N_{trafo} = (125 \times 0,186) / 125 = 0,186 \text{ pu} \quad (4.52)$$

Sistemin toplam empedansı;

$$Z_{top} = Z_{hat-1} + Z_{hat-2} + Z_{şebeke} + Z_{trafo} = 4,4092 \times 10^{-3} + 0,01284 + 0,0463 + 0,2325 = 0,296 \text{ pu} \quad (4.53)$$

Kısa devre gücü hesabı;

$$N_k = (1,2 \times N_{baz}) / Z_{top} = (1,2 \times 125) / 0,296 = 506,756 \text{ MVA} \quad (4.54)$$

Kısa devre akımı hesabı;

$$I_k = N_k / (1,2 \times \sqrt{3} \times U) = 506,756 \text{ MVA} / 1,2 \times \sqrt{3} \times 31,5 = 7,74 \text{ kA} \quad (4.55)$$

Akım trafolarının kısa süreli termik akımı;

$$I_{th} = I_k \times I_n / 150 \text{ A} = 7740 \times I_n / 150 = 51,60 I_n \quad (4.56)$$

100 I_n seçilecektir.

4.3.5 Kondansatör Sisteminin O.G. Tek Hat Şeması

3750 kVAr' lık 3 kademeli üç fazlı kondansatörlerden oluşan kompanzasyon sisteminin O.G. tek hat projesi, önceki bölümlerde yapılan hesaplara göre çizilmiş olup, Şekil 4. 6' de (EK-C) gösterilmiştir.

4.3.5.1 Sistemin Otomatik Çalışması

O.G. akım ve gerilim trafoların' dan alınan 1 faz akımı ve 2 faz gerilimi (100V) bilgisine göre çalışacak olan RVT-6 reaktif güç kontrol rölesi, hücre üzerinde bulunan oto-el seçici şalteri oto konumunda ise, set edilen güç faktörü, açma-kapama ve tekrar devreye alma süreleri, çalışma gerilimi aralığı ve diğer parametreleri ile SPAJ-160C rölesinde set edilen gecikme süresine bağlı olarak vakum kontaktörleri kontrol edecektir.

4.3.5.2 Sistemin Manuel Çalışması

Hücre üzerinde bulunan oto-el seçici şalteri el konumuna alındığında, vakum kontaktör SPAJ-160C rölesinde set edilen gecikme süresine de bağlı olarak devreye girecektir.

Her iki çalışma modunda da hücredeki sigortalı bara ayırıcısının kapalı konumda ve sigortalarının takılı olması gerekmektedir.

4.3.5.3 Aşırı Akım ve Kısa Devre Koruma

Kondansatör banklarının aşırı akım ve kısa devre korumaları sigortalı ayırıcılarda bulunan yüksek kesme kapasiteli sigortalar ile yapılacaktır. Sigortalardan herhangi birinin atması halinde vakum kontaktörün kumanda sinyali kesilecektir.

4.3.5.4 Aşırı Yük Koruma ve Deşarj Süresi Kontrolü

Kondansatör banklarının aşırı yük korumaları ve devreden çıkarıldıktan sonra tekrar devreye almak için gerekli deşarj süresinin kontrolü SPAJ-160C rölesi ile gerçekleştirilecektir.

4.3.5.5 Aşırı Gerilim ve Düşük Gerilim Koruma

Kondansatör banklarının aşırı ve düşük gerilim korumaları giriş hücresinde bulunan SPAU-130C rölesi ile gerçekleştirilecektir. SPAU-130C korumaya geçtiğinde vakum kontaktörlerin kumanda sinyali kesilecektir.

RVT-6 reaktif güç kontrol rölesi, aşırı ve düşük gerilim korumaları ile THDV (toplam harmonik gerilim distorsiyonları) korumalarını yapacaktır. Söz konusu değerlerin ayarlanmış değerlerin dışına çıkması halinde vakum kontaktörlerin kumanda sinyali kesilecektir.

4.3.5.6 Hücreselerde Bulunan Kilitlemeler

Bara Ayırıcısı - Vakum Kontaktör Arası Elektriksel Kilit

Ayırıcının yük altında anahtarlmasını engellemek amacıyla ayırıcı ile vakum kontaktör arasında elektriksel kilit sistemi mevcuttur. 110 V DC bobinli ayırıcı kumanda mekanizması ile ancak vakum kontaktör açık pozisyonda iken manevra yapılabilmektedir.

Sigorta Tertibatı – Vakum Kontaktör Arası Elektriksel Kilit

Sigortalardan herhangi biri attığında sigorta attı uyarı sistemi ile vakum kontaktör devreden çıkarılmaktadır.

Bara Ayırıcısı – Toprak Ayırıcısı Arası Elektriksel Kilit

Toprak ayırıcısının kapatılabilmesi için bara ayırıcısının açık pozisyonda olması gereklidir. 110 V DC bobinli toprak ayırıcısı kumanda mekanizması ile ancak bara ayırıcısı açık pozisyonda iken manevra yapılabilmektedir.

Toprak Ayırıcısı – Kapı Arası Elektriksel Kilit

Hücre kapısının açılabilmesi için toprak ayırıcısının kapalı pozisyonda olması gereklidir. 110 V DC bobinli kapı kilidi ancak toprak ayırıcısı kapalı pozisyonda iken manevra yapılabilmektedir. Toprak ayırıcısının açılabilmesi ve hücrenin tekrar enerjilendirilebilmesi için de hücre kapısının kapalı pozisyon da olması gerekmektedir.

Kompanzasyon Beslem Kesicisi – Vakum Kontaktörler Arası Elektriksel Kilit

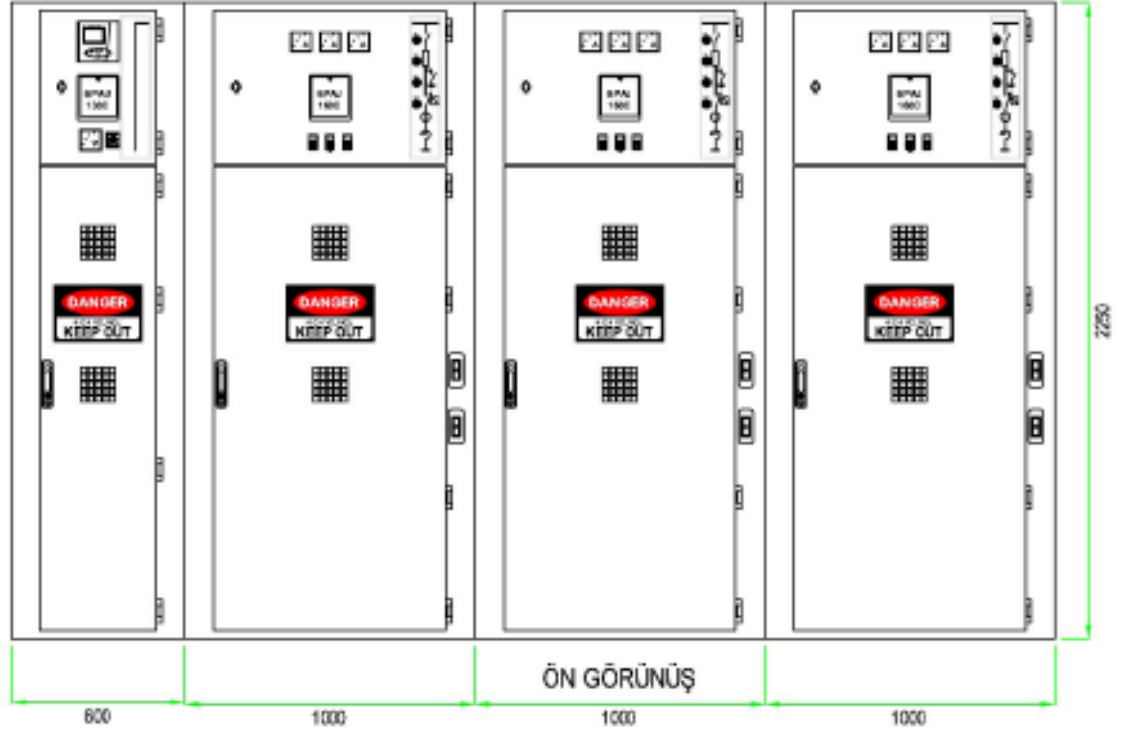
Kontaktörlerin anahtarlabilmesi için kompanzasyon besleme kesicisinin kapalı pozisyonda olması gereklidir.

Toprak Ayırıcısı – Vakum Kontaktör Arası Elektriksel Kilit

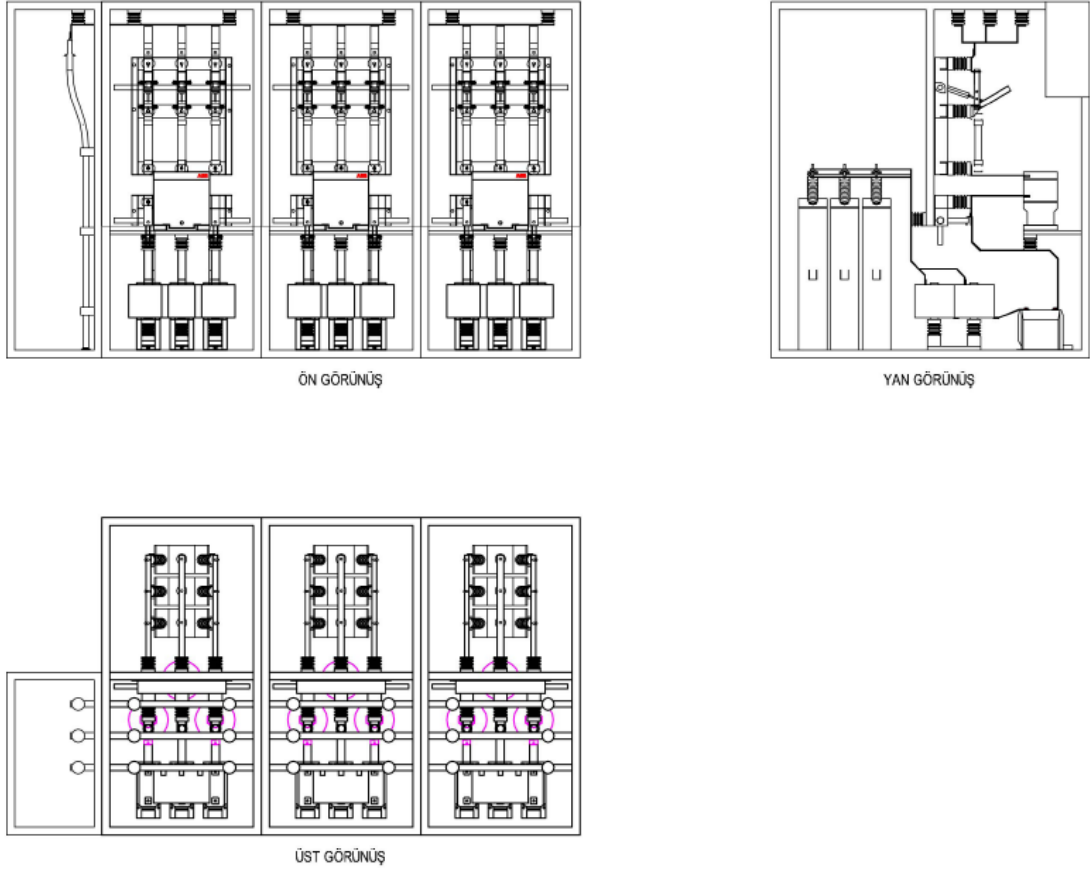
Toprak ayırıcısının kapatılabilmesi için vakum kontaktörün açık pozisyonuna alınması ile devreye girecek olan zaman rölesinde ayarlanan (5...10 dakika) sürenin geçmesi gerekmektedir.

4.3.6 Metal Mahfazalı Kondasatör Hücrelerinin Yerleşim Planı

1250 kVar' lık 3 adet metal mahfazalı kondansatör hücrelerinin yerleşim planları ve kesit görünüşleri, Şekil 4. 7 ve 4. 8' de (EK-C) gösterilmiştir.



Şekil 4. 7 1250 kVar' lık 3 adet metal mahfazalı kondansatör hücrelerinin yerleşim planları



Şekil 4. 8 Metal mahfazalı kondansatör hücrelerinin kesit görünüşleri



Şekil 4. 9 1250 kVAr' lık 3 adet metal mahfazalı kondansatör hücrelerinin görünümü

4.4 İşletme Gerilimi 27,5 kV Olan Tek Fazlı Demiryoluna Ait Kompanzasyon Uygulama Örneğinin İncelenmesi

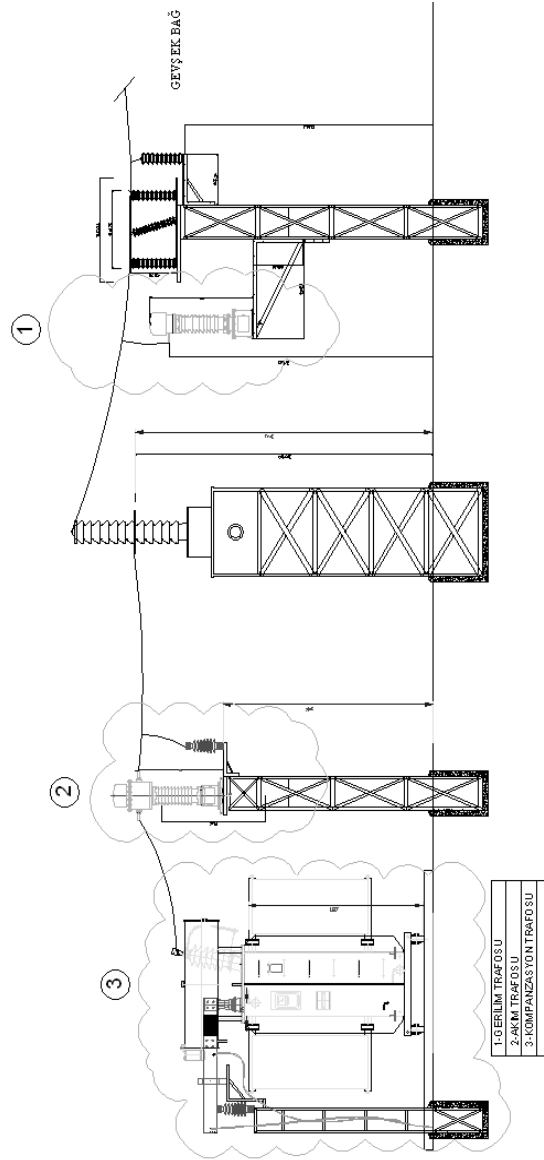
157 kV / 27,5 kV çevirme oranlı, 7,5 MVA güç değerine sahip 2 adet indirici trafo' nun beslemekte olduğu tek fazlı demiryolu elektrifikasyon sabit tesislerinin, orta gerilim' de reaktif güç kompanzasyonu ihtiyacı, 27,5 kV/0,69 kV çevirme oranına, 3500 kVA güç değerine sahip bir indirici trafo kullanarak alçak gerilim tarafında kurulan bir tristör anahtarlama kondansatör tipi statik VAR kompanzasyon sistemi ile sağlanmaktadır. Bu tesisle ilgili tüm teknik çizimler ileriki bölümlerde detaylı olarak verilecektir.

4.4.1 Kondansatör Sisteminin A.G. ve O.G. Tek Hat Şeması

Kompanzasyon sistemi, şartnameler doğrultusunda statik kompanzasyon, gerçek zaman' da otomatik olarak 20 ms' lik süre içinde grupları devreye alacak şekilde tasarlanmıştır. EPDK kuralları göz önüne alınarak aylık bazda endüktif reaktif ve kapasitif reaktif enerjinin aktif enerjiye oranlarını aşmayacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca yürürlükteki mevzuata uygun olarak güç faktörünü doğrultan kondansatörler her zaman bütün harmoniklerde empedansı değiştirir. Empedans direkt olarak devreye alınan kondansatör gruplarının sayılarına ve reaktörlerin devreye alınmasına bağlıdır. Doğru empedans eğrisi seçimi harmonik problemlerden, rezonanstan ve fliklerden kaçınmayı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Bu sistem de kullanılan kondansatör üniteleri özel olarak imal edilmiş olup, otomatik grupların tasarımı, 62,5 kVAr, 125 kVAr, 250 kVAr ilk kabindeki gruplar ve 2 adet 250 kVAr toplamda 500 kVAr' lık kondansatör ünitesi diğer kabinde olacak şekilde tasarlanmıştır. Kondansatör kabinlerin kesit görünümüleri Şekil 4. 12' de (EK-D) detaylı olarak görünmektedir.

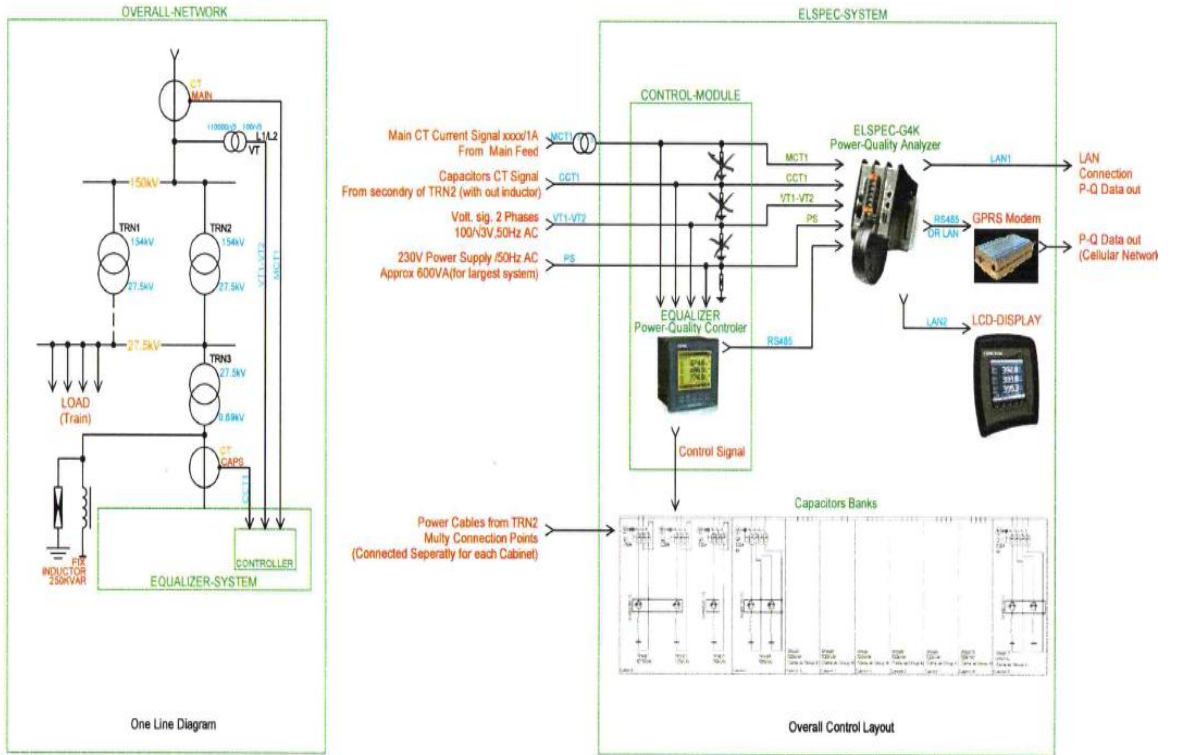
Kompanzasyon sistemini besleyecek trafo 27,5 kV / 0,69 kV çevirme oranlı, 3500 kVA güç değerine sahip olarak belirlenmiştir. Trafo 5 kademeli olarak tasarlanmıştır. Şekil 4. 10' daki (EK-D) tek hat projeden görüleceği gibi harici sabit reaktör müstakil pano içerisinde, ihtiyaca göre devreye alınacak şekilde 75 kVAr olarak tasarlanarak işletme, bakım ve onarım işleri kolaylaştırılmış ve teçhizat güvenliği sağlanmıştır.



Şekil 4. 11 TCDD' ye kurulan o.g. tesisinin kesit görünümü

Tüm Kompanzasyon sisteminin izlenmesi için çeşitli olanaklar geliştirilmiştir. Otomatik kompanzasyon rölesi yanındaki ölçü panoları olay kaydediciler ve tüm olayların lokal izlenebilirliği sağlamak amacı ile LCD ekran ile donatılmıştır.

Haberleşme kabiliyeti açısından, zaman senkronizasyonu için GPS donanımı kurulmuştur. Kabinlerde kullanılan ana şalterler uzaktan ve yakından kumanda edilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Oluşturulan kumanda merkezinden bu şalterlere müdahale edilebilecektir.



Şekil 4. 14 Kompanzasyon sisteminin kumanda şeması

SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

5.1 Giriş

Bu bölümde, 154 kV/34,5 kV gerilimli indirici merkezden enerji alan 34,5 kV/0,4 kV gerilimli 1600 kVA gücündeki bir dağıtım transformatörü üzerinden beslenen bir sanayi tesisi örnek sistem olarak göz önüne alınmış ve bu tesisin alçak gerilim barasına ve orta gerilim barasına bağlı olmak üzere beş farklı durum için reaktif güç kompanzasyon sistemlerinin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Örnek sistem ve sistemdeki eleman değerleri şekil 5.1’de gösterilmiştir. Bu kompanzasyon sistemlerinin simülasyonları MATLAB –SIMULINK paket programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan 5 farklı kompanzasyon sistemi 2 ana başlık altında incelenmiştir. Bunlar;

- Kompanzasyon kademesi devreye girdiğinde oluşan transient akımların incelenmesi
- Kompanzasyon kademesi devrede iken sistemin akım ve gerilim harmonikleri yönünden incelenmesi

Simülasyon çalışmasının sonucunda, $\cos \theta$, $I_{p_{tepe}}$ ve $I_{n_{tepe}}$ gibi değerlerin karşılaştırılması yapılarak kompanzasyon sisteminin orta gerilim barasına veya alçak gerilim barasına bağlı olması halinde sistemden ilk anda çekilen transient akım değerleri ve harmonikler incelenmiştir. Burada;

- $I_{p_{tepe}}$ – Kondansatör kademesi devreye girdiği anda çekilen darbe akımının tepe değeri
- $I_{n_{tepe}}$ – Kondansatör kademesi devreye girip geçici olay bittikten sonra kararlı halde çekilen nominal akımın tepe değeridir.

Bu simülasyon çalışmalarında yükler ile kompanzasyon kademeleri arasında senkronizasyonu sağlamak için zamana bağlı olarak çalışma durumları göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışma durumları aşağıdaki Çizelge 5.1’ de belirtilmiştir.

Çizelge 5.1Yüklerin ve kondansatör kademelerinin zamana göre devreye girme(1) ve devreden çıkma(0) durumları

	t=1 s	t=1,5 s	t=2 s	t=2,5 s	t=2,75 s	t=3 s
Yük-1	1	1	1	1	1	1
Yük-2	0	1	1	1	1	1
Yük-3	0	0	0	0	0	1
Kademe-1	1	1	0	1	0	1
Kademe-2	0	1	0	1	0	1
Kademe-3	0	0	0	0	0	1

Simülasyonların toplam çalışma süreleri 3,2 saniyedir ve çizelgedeki çalışma durumları 2 ana başlık altında toplam 5 farklı MOD için yapılan simülasyonların tümü için geçerlidir. Çizelgedeki çalışma durumlarına göre yükler ve kademeler şu şekilde devreye girip çıkmaktadır.

İlk olarak, simülasyont=0 anında çalışmaya başladığı andan itibaren Yük-1 simülasyon bitme süresi olan t=3,2 saniye boyunca devamlı devrededir. Yük-1’ i kompanze etmek için Kademe-1, t=1saniye de devreye girmektedir. t=1,5 saniye zamanında, Yük-2 ve Kademe-2 devreye girmektedir.t=2 saniyede, devrede olan kondansatör kademelerinin tümü (Kademe-1 ve Kademe-2) devreden çıkmaktadır. t=2,5 saniye de ise, t=2 saniye de devreden çıkan kondansatör kademelerinin ikisi (Kademe-1 ve Kademe-2) tekrar devreye girmektedir. t=2,75 saniye de tekrar kondansatör kademeleri (Kademe-1 ve Kademe-2) devreden çıkmakta ve son olarak t=3 saniye de tüm yükler (Yük-1, Yük-2 ve Yük-3) ve tüm kademeler (Kademe-1, Kademe-2 ve Kademe-3) devreye alınıp bu çalışma durumu simülasyonun bitme süresi olan t=3,2 saniyeye kadar devam etmektedir.

Simülasyonlarda, oluşturulan işletme durumları ile farklı kademe ve yükleri aynı anda veya farklı zamanlarda devreye alarak gerilim ve akımdaki değişiklikler incelenmiştir.

5.2 Kompanzasyon Kademesi Devreye Girdiğinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi

Bu bölümde, örnek alınan sanayi tesisi yüklerinin harmonik üretmediği, sistemde gerilim ve akımın sinüsoidal olduğu düşünülerek hem alçak gerilim tarafında hem de orta gerilim tarafında kompanzasyon sistemi kurularak oluşturulan simülasyonların sonuçları incelenip karşılaştırılması yapılmıştır. Simülasyonu gerçekleştirilen işletme durumları;

- MOD 1 : A.G.barasında klasik kademeli kompanzasyon
- MOD 2 : O.G.barasında klasik kademeli kompanzasyon

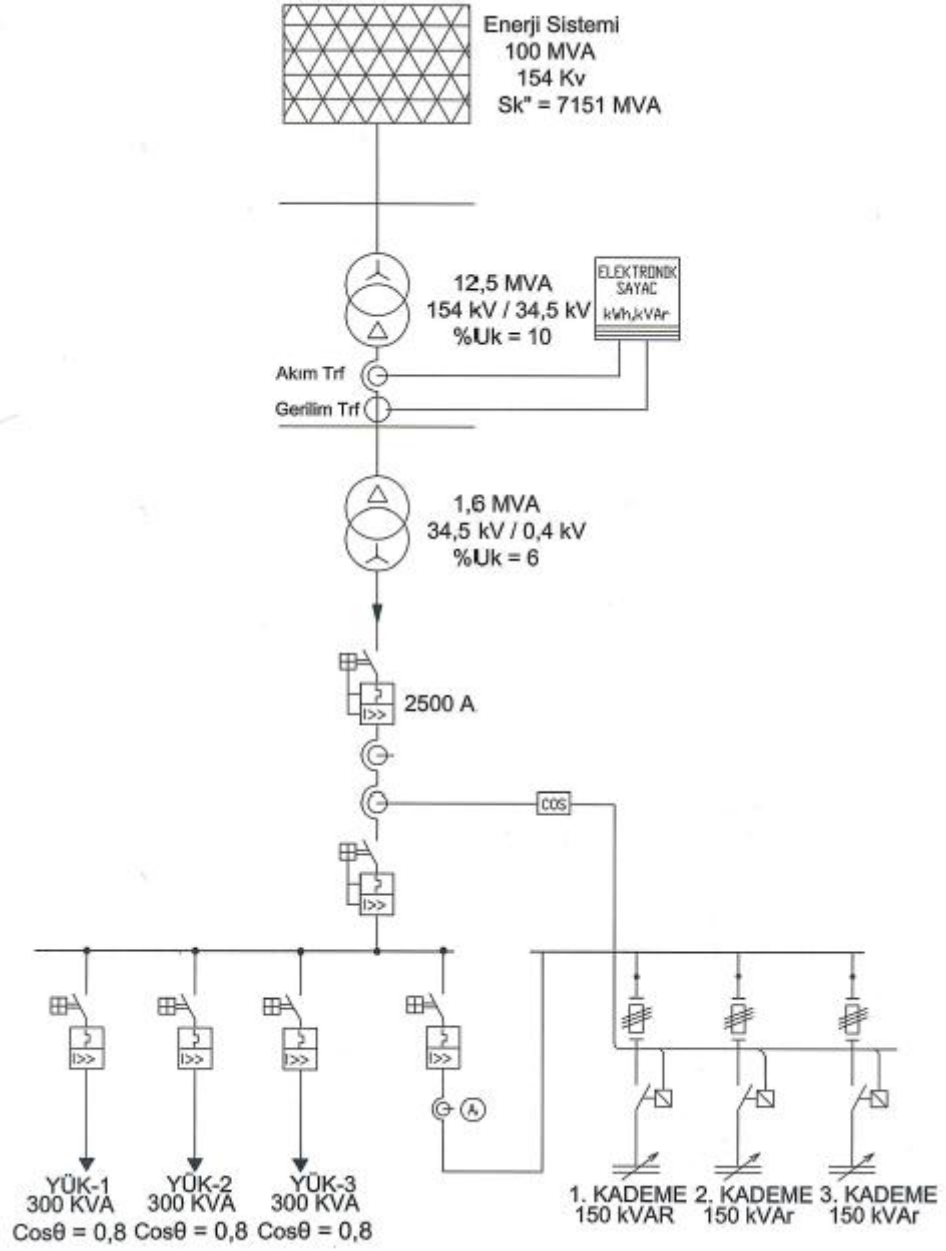
Sistemlerini kapsamaktadır. Harmonik bileşenlerini içermeyen, sinüsoidal şartları göz önüne alan 2 farklı işletme durumu (MOD 1 ve MOD2) ile ilgili bilgi aşağıdaki Çizelge 5.2’ de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Simülasyonlarda göz önüne alınan işletme durumları

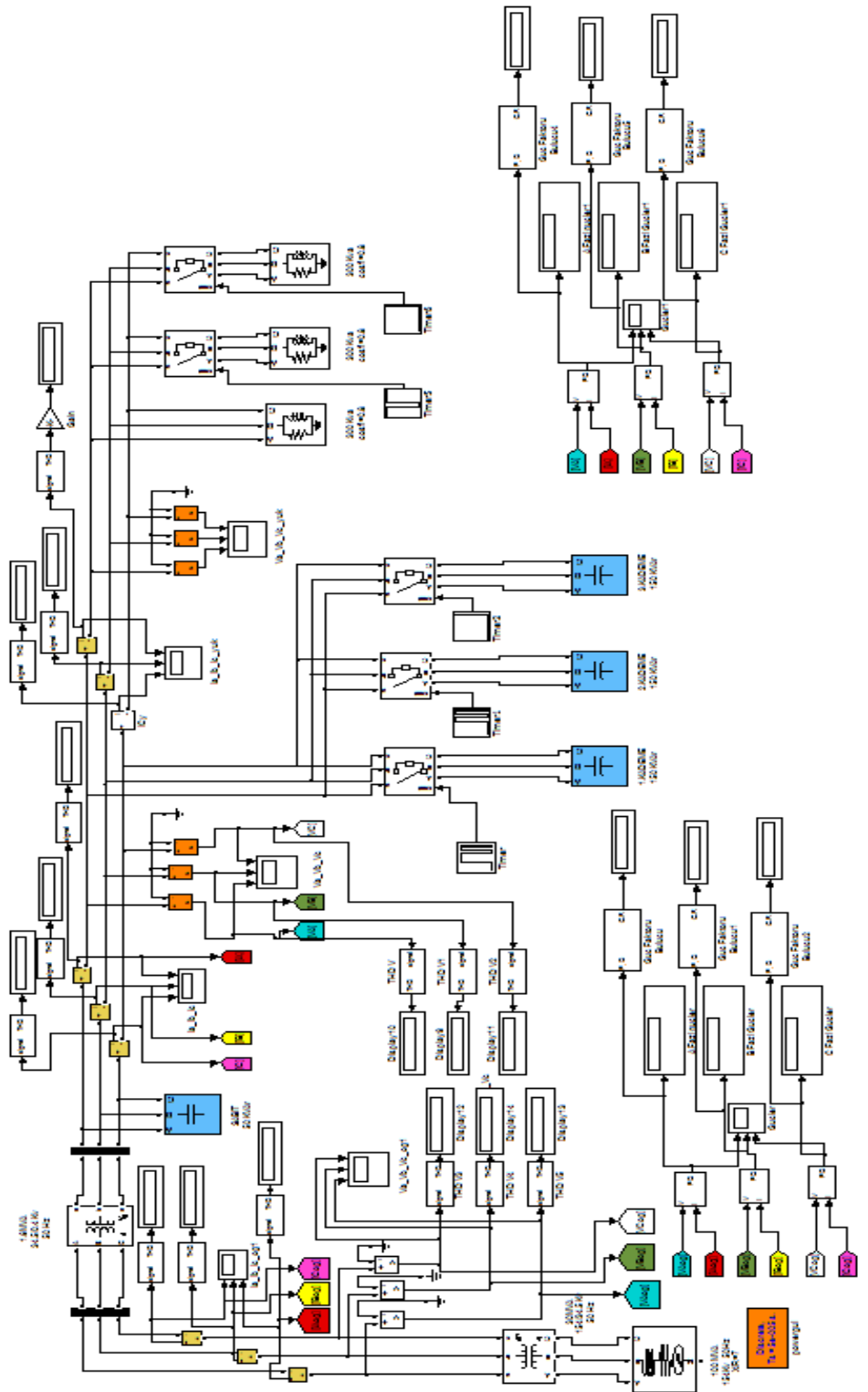
İşletme Kodu	Kompanzasyon Sisteminin Yeri		Kompanzasyon Türü	
	O.G. Barası	A.G. Barası	Klasik Filtresiz	Klasik Filtreli
MOD 1		✓	✓	
MOD 2	✓		✓	

5.2.1 Alçak Gerilim Barasında Klasik Kademeli Kompanzasyon (MOD 1)

Bu simülasyon çalışmasında, işletme gerilimi 0,4 kV, kurulu gücü 300 kVA ve $\cos \theta = 0,8$ değerindeki 3 adet yükten oluşan bir sanayi tesisinin güç faktörünü düzeltmek için alçak gerilim tarafında filtresiz olarak kademeli kompanzasyon yapılmıştır. Kurulan kompanzasyon sistemi; 150kVAr’ lık 3 kademedan oluşmaktadır. Şekil 5.1’ de sistemin tek hat şeması ve Şekil 5.2’ de sisteminin MATLAB Simulink programındaki devre şeması gösterilmiştir. Simülasyonda kompanzasyon sisteminin bulunduğu 0,4 kVbarasında güç katsayısının 0,98 ve üzerinde olması hedeflenmiştir.



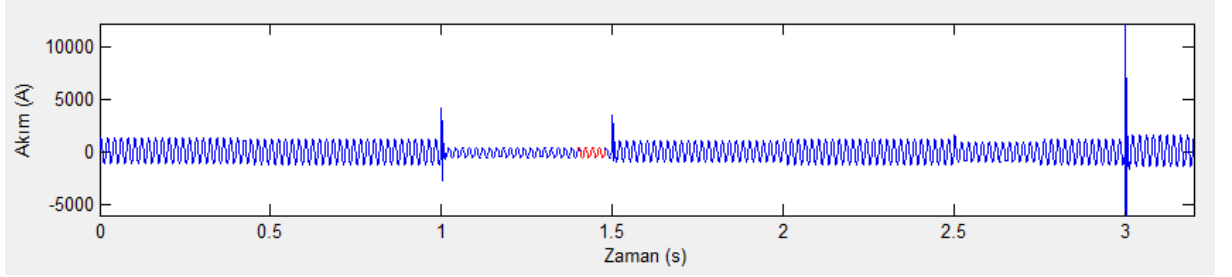
Şekil 5.1 Sistemin tek hat şeması (MOD 1)



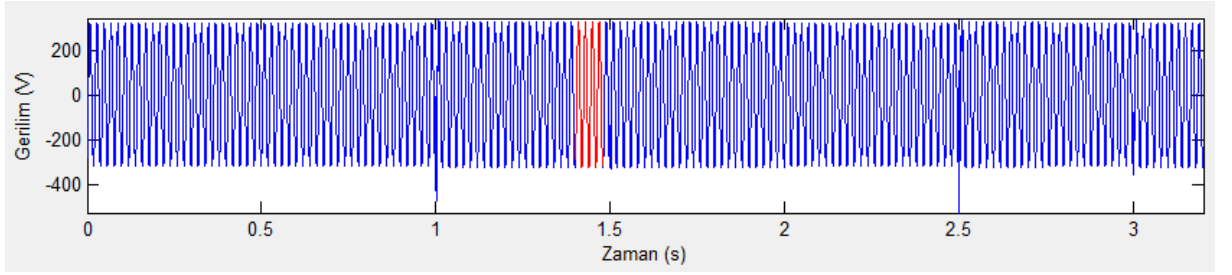
Şekil 5.2 Sistemin devre şeması (MOD 1)

Simülasyon sonucunda 0,4 kV ve 34,5 kVbaralarındaki akımın ve gerilimin dalga şekilleri, kademelerin devreye girdiği zamanlara göre aşağıdaki gibi verilmiştir.

0,4 kVbarasında;

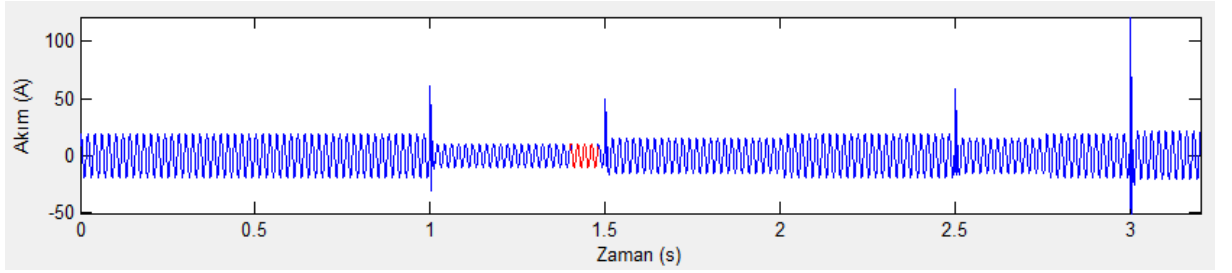


Şekil 5.3 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli

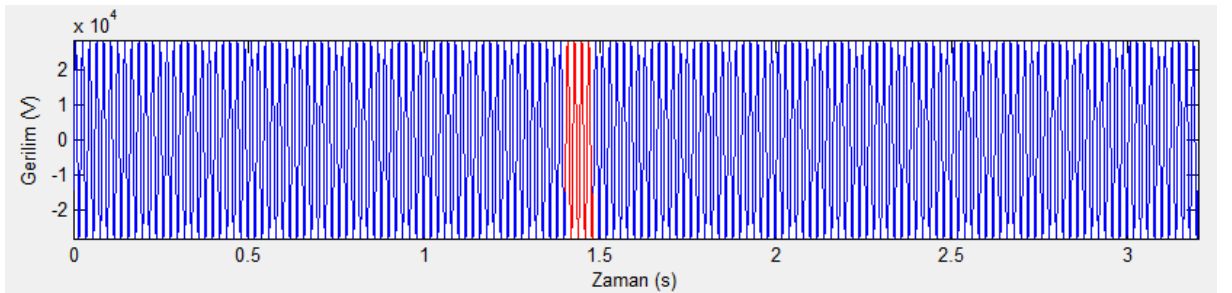


Şekil 5.4 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

34,5 kVbarasında;



Şekil 5.5 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.6 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

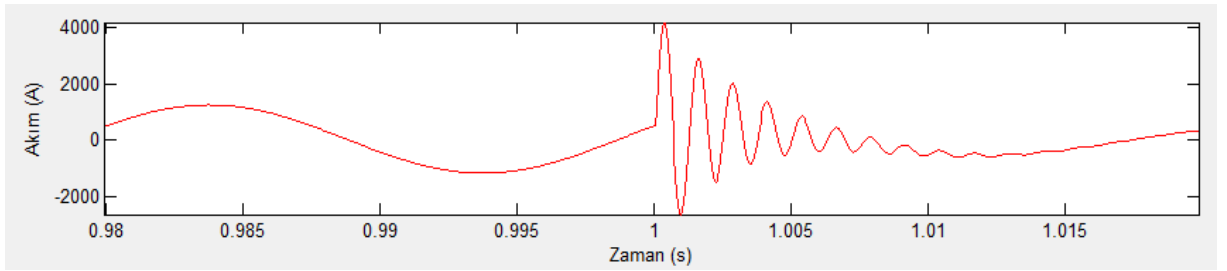
5.2.1.1 Simülasyonun $t= 1$ Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi

Simülasyonun $t=1$ saniyesi süresinde 1. Kondansatör kademesinin devreye girmesi ile hem alçak gerilim hem de orta gerilim barasındaki akım ve gerilimdeki dalga değişim şekilleri ve değerlerinin tablosu aşağıda verilmiştir.

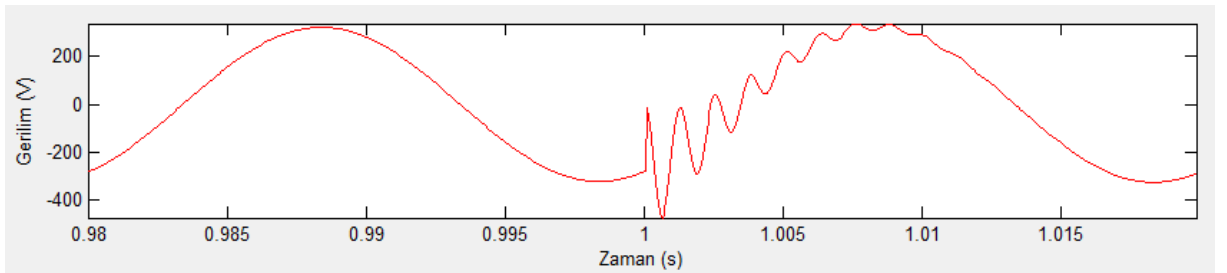
Çizelge 5.3 A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler

ÖLÇÜM NOKTASI	$\cos \theta$	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}} / I_{n_{tepe}}$
34,5 kV BARASI	0,96	60 A	14,24 A	4,21
0,4 kV BARASI	0,9925	4000 A	693 A	5,77

0,4 kVbarasında;

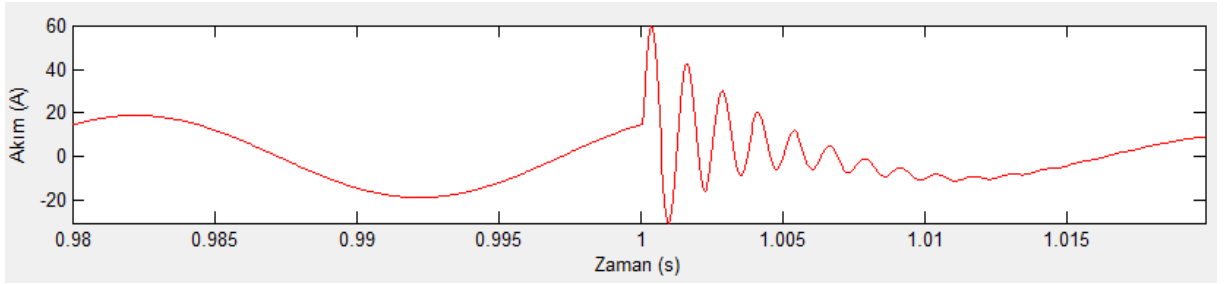


Şekil 5.7 Simülasyonun $t=1$ süresinde 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli

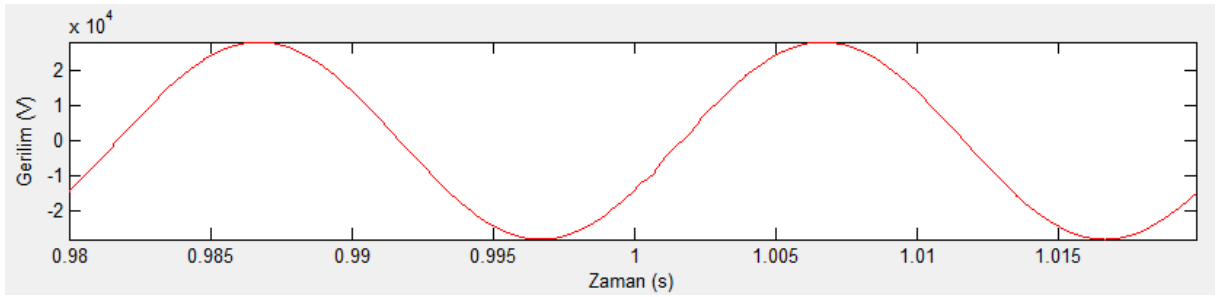


Şekil 5.8 Simülasyonun $t=1$ süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

34,5 kVbarasında;



Şekil 5.9 Simülasyonun t=1 süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.10 Simülasyonun t=1 süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

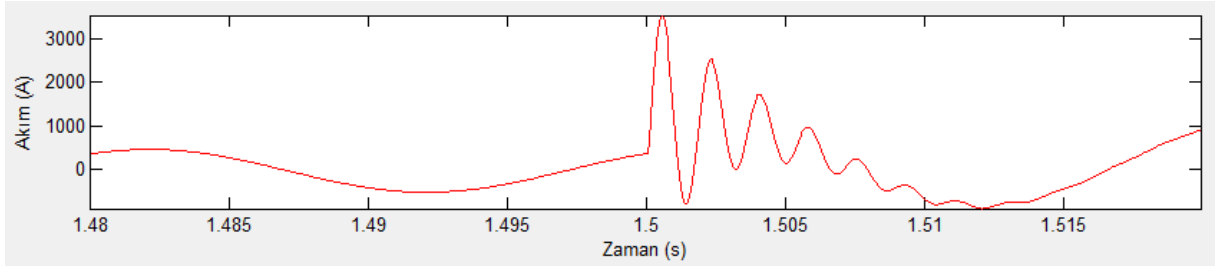
5.2.1.2 Simülasyonun t= 1,5Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi

Simülasyonun t=1,5 saniyesi süresinde 2. Kondansatör kademesinin devreye girmesi ile hem alçak gerilim hem de orta gerilim barasındaki akım ve gerilimdeki dalga değişim şekilleri ve değerlerinin tablosu aşağıda verilmiştir.

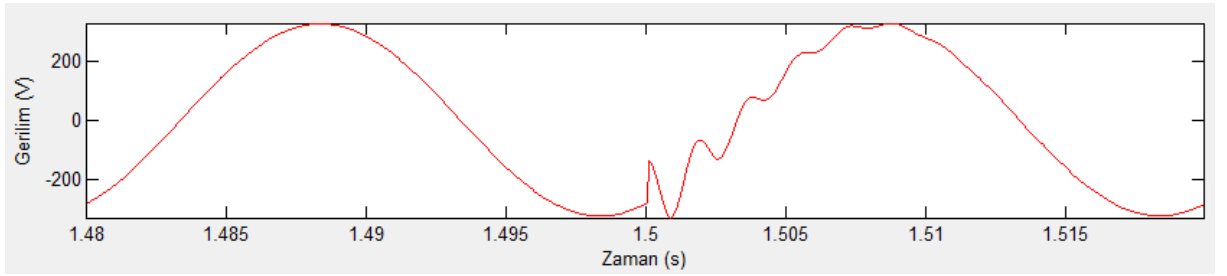
Çizelge 5.4 A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler

ÖLÇÜM NOKTASI	COS θ	$I_{p\text{tepe}}$	$I_{n\text{tepe}}$	$I_{p\text{tepe}} / I_{n\text{tepe}}$
34,5 kV BARASI	0,96	50 A	22,13 A	2,25
0,4 kV BARASI	0,9925	3200 A	1387,06 A	2,3

0,4 kVbarasında;

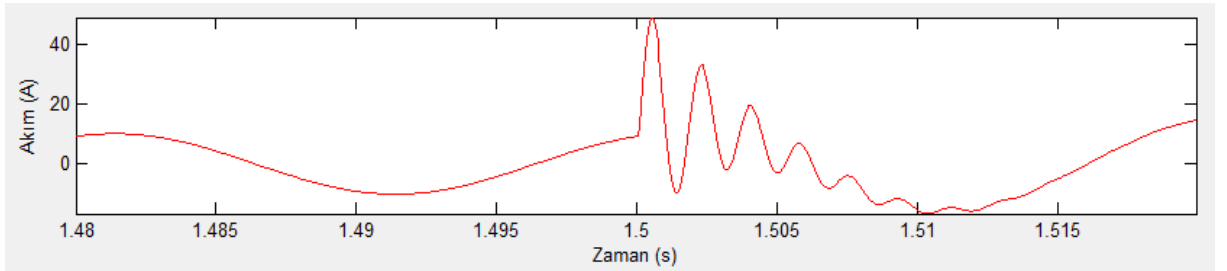


Şekil 5.11 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli

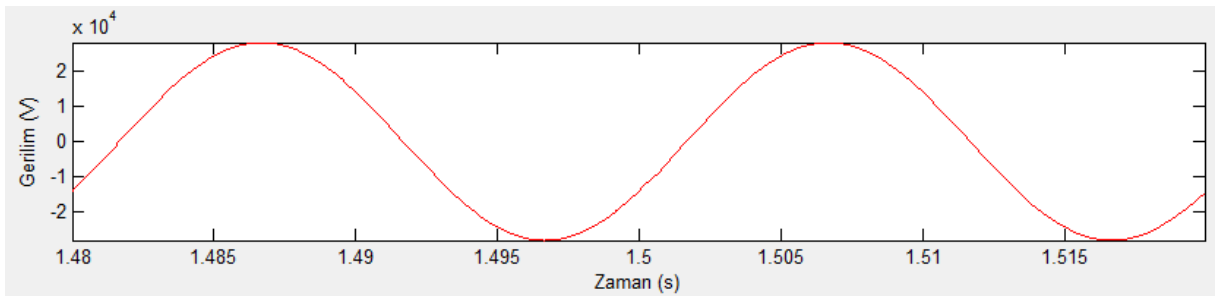


Şekil 5.12 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

34,5 kVbarasında;



Şekil 5.13 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.14 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

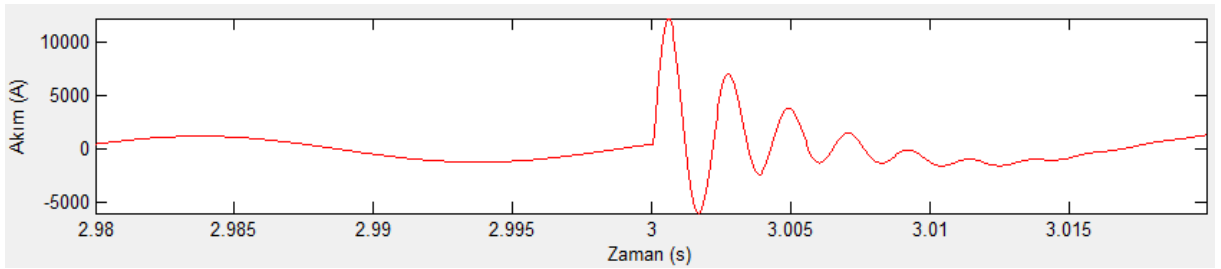
5.2.1.3 Simülasyonun $t=3$ Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi

Simülasyonun $t=3$ saniyesi süresinde 3. Kondansatör kademesinin devreye girmesi ile hem alçak gerilim hem de orta gerilim barasındaki akım ve gerilimdeki dalga değişim şekilleri ve değerlerinin tablosu aşağıda verilmiştir.

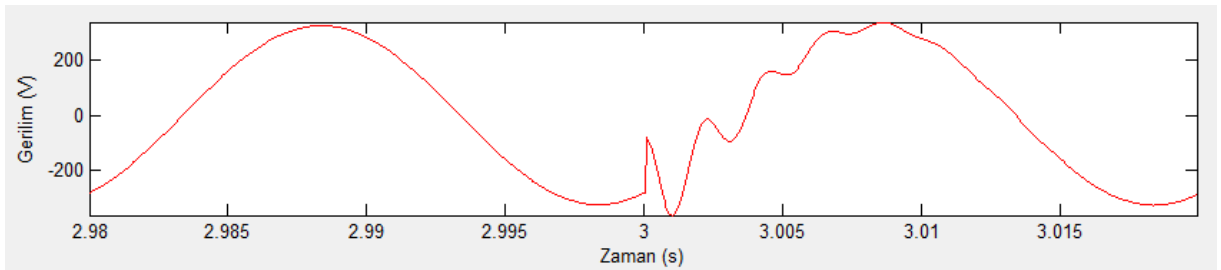
Çizelge 5.5 A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler

ÖLÇÜM NOKTASI	COS θ	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}} / I_{n_{tepe}}$
34,5 kV BARASI	0,96	125 A	29,96 A	4,17
0,4 kV BARASI	0,9925	12000 A	2074,65 A	5,78

0,4 kVbarasında;

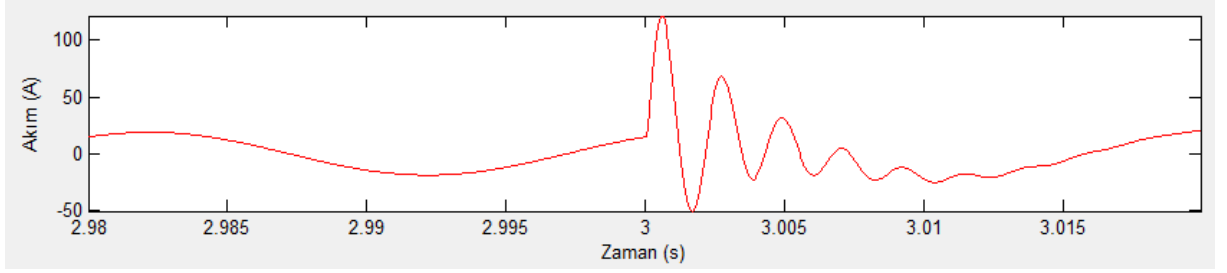


Şekil 5.15 Simülasyonun $t=3$ süresinde 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli

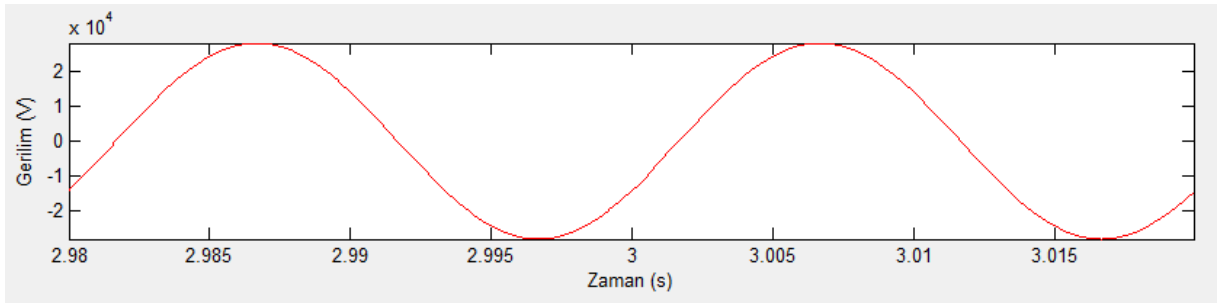


Şekil 5.16 Simülasyonun $t=3$ süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

34,5 kVbarasında;



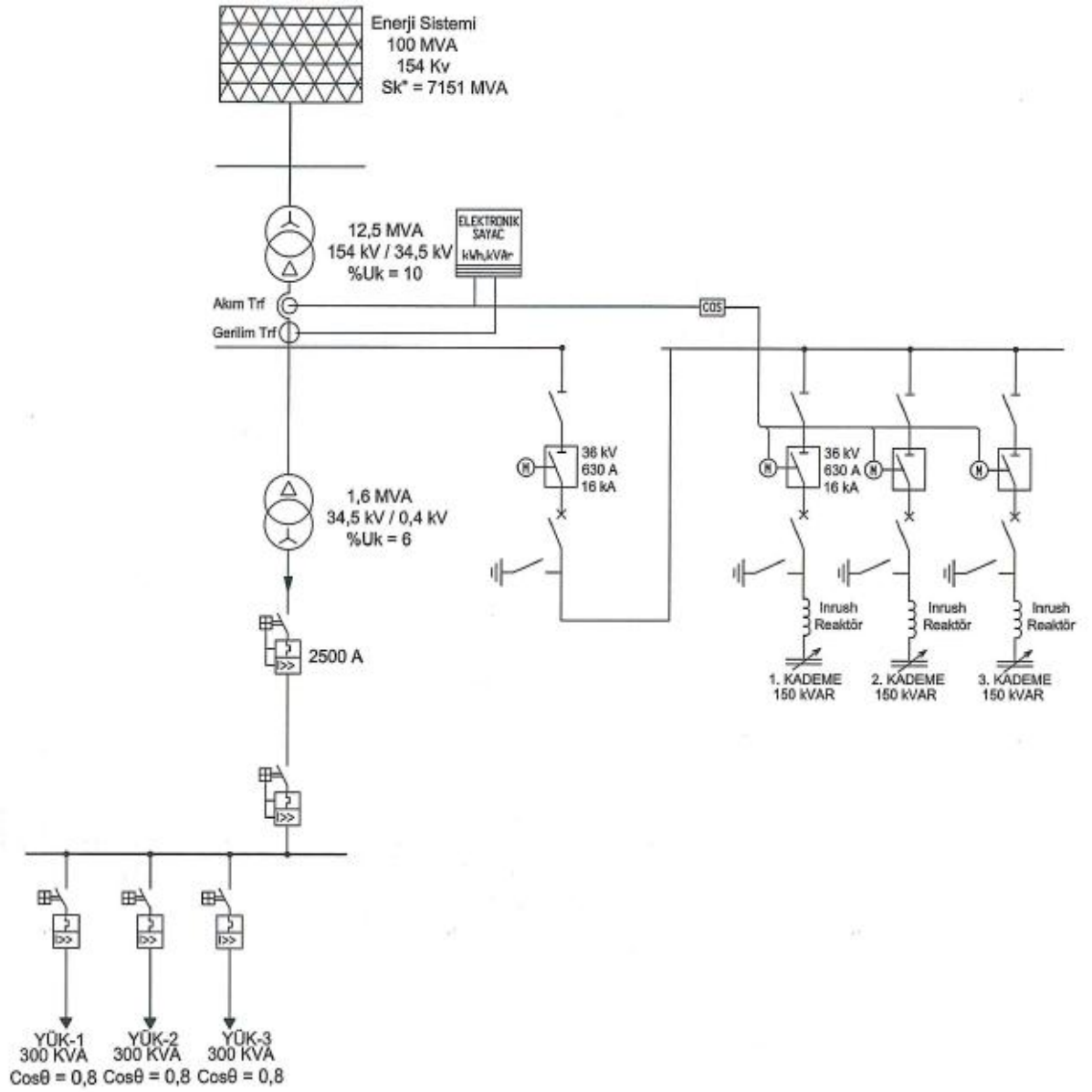
Şekil 5.17 Simülasyonun t=3 süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



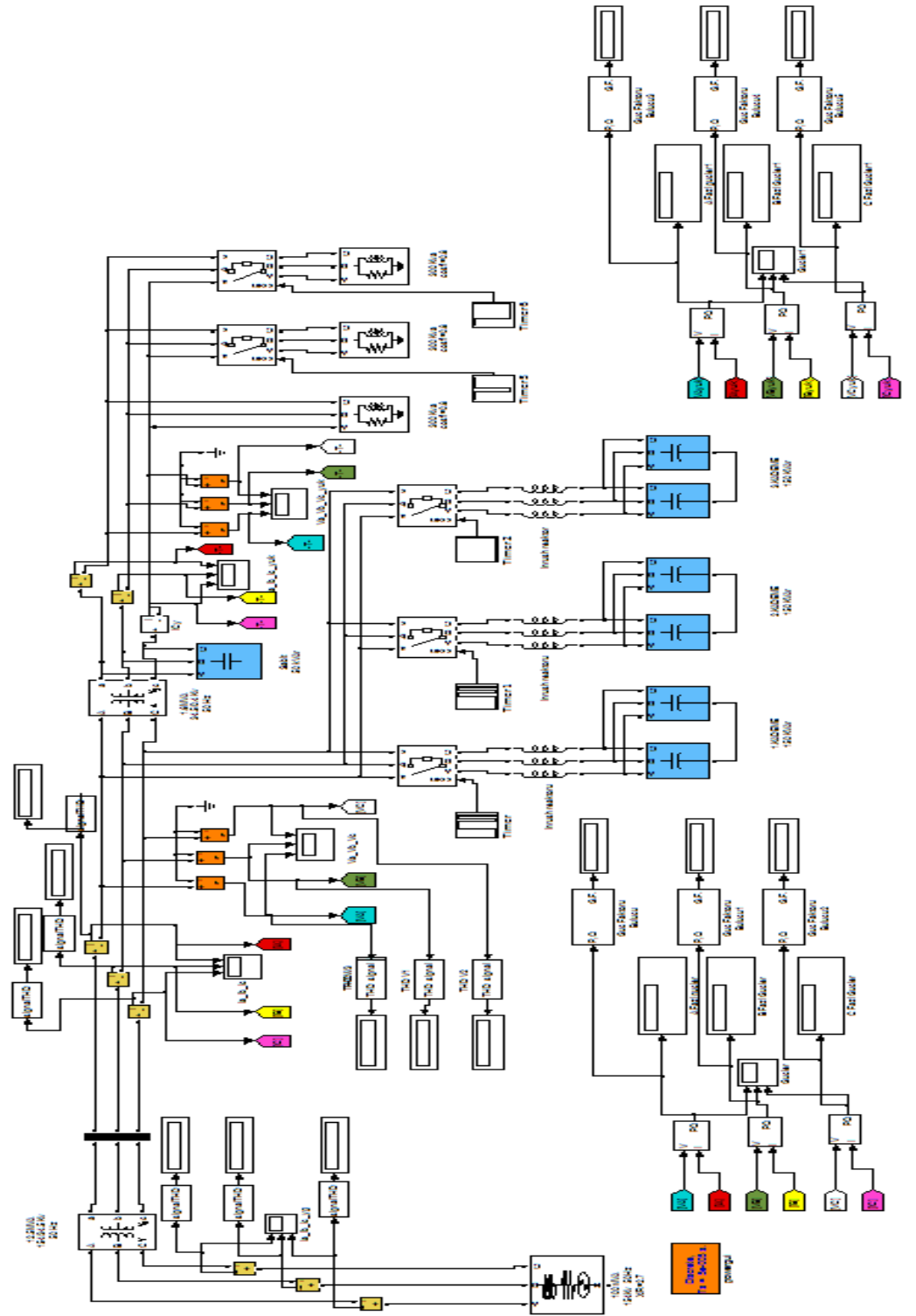
Şekil 5.18 Simülasyonun t=3 süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

5.2.2 Orta GerilimBarasındaKlasik Kademeli Kompanzasyon (MOD 2)

Bu simülasyon çalışmasında, işletme gerilimi 34,5 kV, kurulu gücü 300 kVA ve $\cos \theta = 0,8$ değerindeki 3 adet yükten oluşan bir sanayi tesisin güç faktörünü düzeltmek için orta gerilim tarafında filtresiz olarak kademeli kompanzasyon yapılmıştır. Sistemde akım ve gerilim harmonik bileşenlerinin olmadığı, sinüsoidal durum için simülasyon yapılmıştır. Kurulan kompanzasyon sistemi; her biri 150 kVAr'lık çift yıldız bağlı kondansatör ünitelerinden oluşan 3 adet kademededen ve ilk çalışma (inrush) akımlarını sönmölemek için her kademenin her fazına yerleştirilen inrush reaktörlerinden oluşmaktadır. Şekil 5.19' da sistemin tek hat şeması ve Şekil 5.20' de sisteminin MATLAB Simulink programındaki devre şeması gösterilmiştir. Simülasyonda kompanzasyon sisteminin bulunduğu 34,5 kVbarasında güç katsayısının 0,97 ve üzerinde olması hedeflenmiştir.



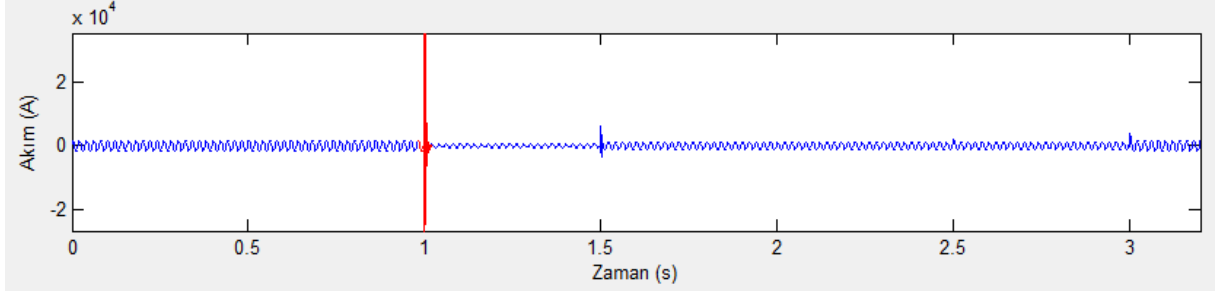
Şekil 5.19 Sistemin tek hat şeması(MOD 2)



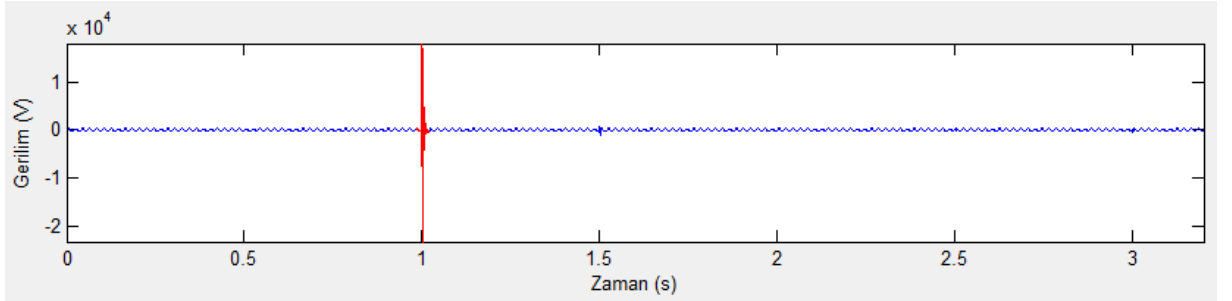
Şekil 5.20 Sistemin devre şeması (MOD 2)

Simülasyon sonucunda 0,4 kV ve 34,5 kVbaralarındaki akımın ve gerilimin dalga şekilleri, kademelerin devreye girdiği zamanlara göre aşağıdaki gibi verilmiştir.

0,4 kVbarasında;

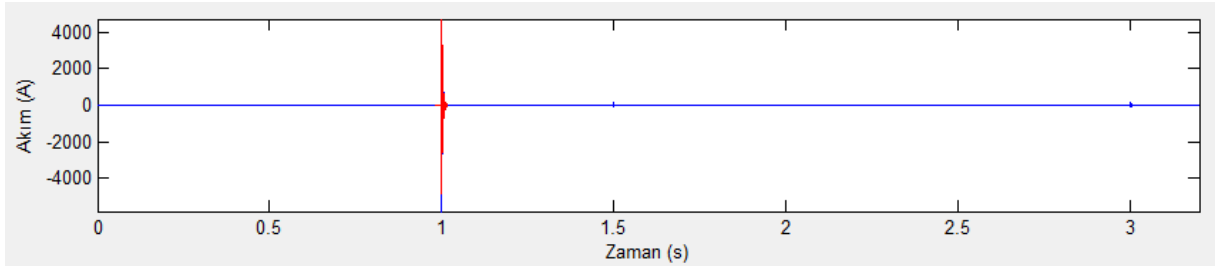


Şekil 5.21 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli

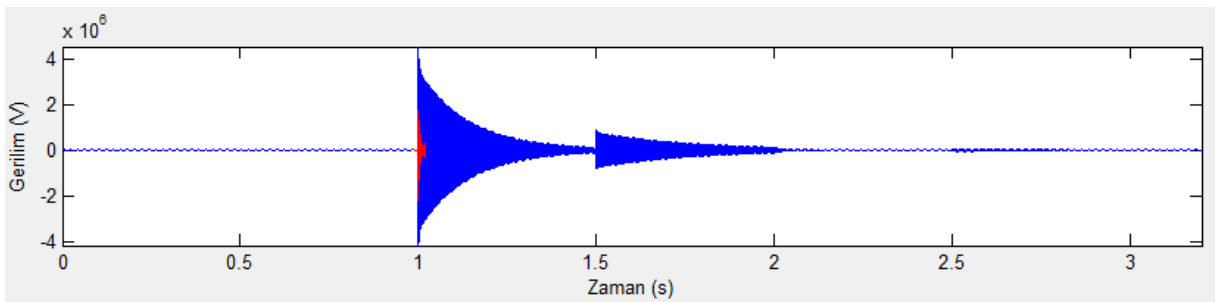


Şekil 5.22 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

34,5 kVbarasında;



Şekil 5.23 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.24 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

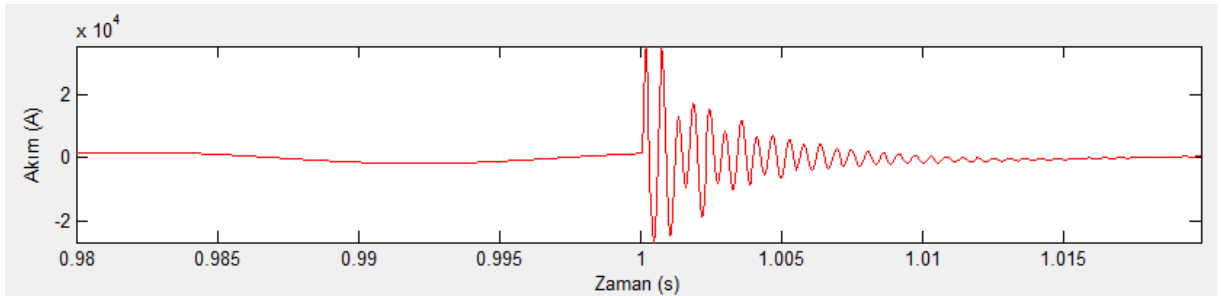
5.2.2.1 Simülasyonun $t=1$ Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi

Simülasyonun $t=1$ saniyesi süresinde 1. Kondansatör kademesinin devreye girmesi ile hem alçak gerilim hem de orta gerilim barasındakitransient akım değerleri Çizelge 5.6’da gösterilmiştir. Çizelge 5.6’da görüldüğü gibi simülasyon sonuçlarına göre 34.5 kVbarasından yapılan kompanzasyonda kondansatörler devreye girdiği anda çekilen transient akım sürekli akımın yaklaşık 350 katıdır. 0,4 kVbarasından yapılan kompanzasyonda aynı oran (Çizelge 5.3) 5,77’dir. Simülasyon sonuçları, orta gerilim barasında yapılan kompanzasyonun ilk anda şebekeye verdiği zararı da ortaya koymuştur. 34,5 kVbarasından yapılan kompanzasyonda için $t=1$ s işletme durumu için güç katsayısı değerleri ve kompanzasyon kademesi devreye girdiği anda oluşan transient akım değerleri aşağıda Çizelge 4.6’da, akım ve gerilim dalga şekilleri ise Şekil 5.25 - Şekil 5.28’de verilmiştir.

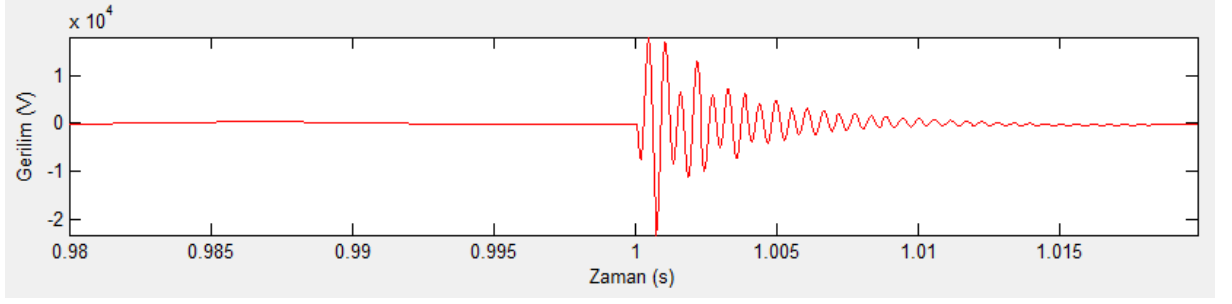
Çizelge 5.6 A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler

ÖLÇÜM NOKTASI	COS θ	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}} / I_{n_{tepe}}$
34,5 kV BARASI	0,976	5000 A	14,31 A	349,4
0,4 kV BARASI	0,8	30000 A	2528,61 A	11,86

0,4 kVbarasında;

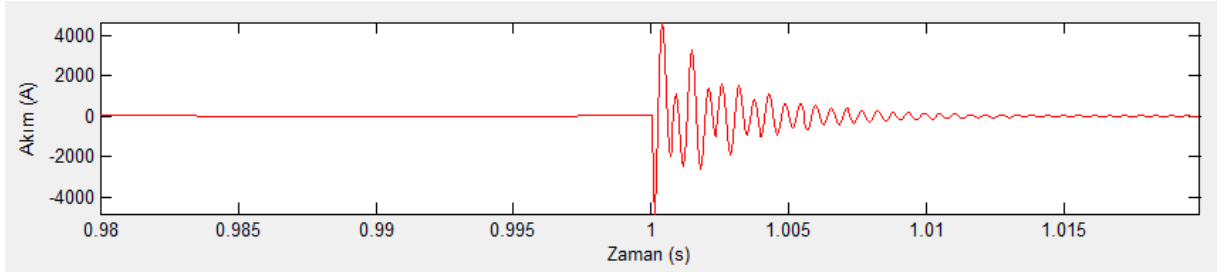


Şekil 5.25 Simülasyonun $t=1$ süresinde 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli

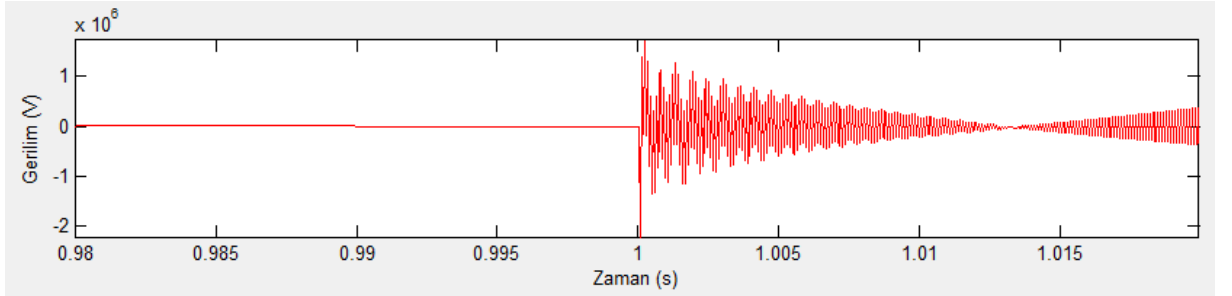


Şekil 5.26 Simülasyonun t=1 süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

34,5 kVbarasında;



Şekil 5.27 Simülasyonun t=1 süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.28 Simülasyonun t=1 süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

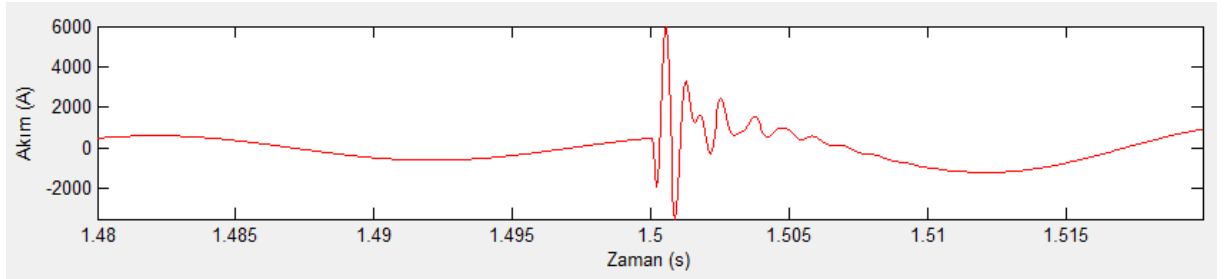
5.2.2.2 Simülasyonun t= 1,5Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi

Simülasyonun t=1,5 saniyesi süresinde 2. Kondansatör kademesinin devreye girmesi ile hem alçak gerilim hem de orta gerilim barasındaki akım ve gerilimdeki dalga değişim şekilleri ve transient akım değerleri aşağıda verilmiştir.

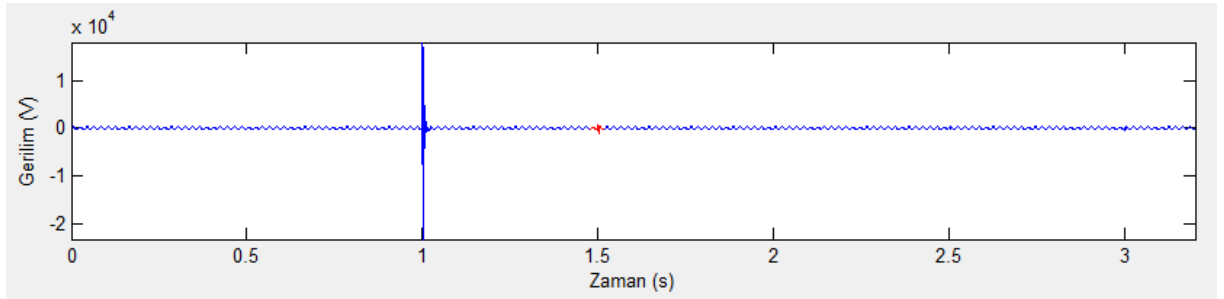
Çizelge 5.7 A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler

ÖLÇÜM NOKTASI	COS θ	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}} / I_{n_{tepe}}$
34,5 kV BARASI	0,976	125 A	21,41 A	5,83
0,4 kV BARASI	0,8	6000 A	1704.12 A	3,52

0,4kV barasında;

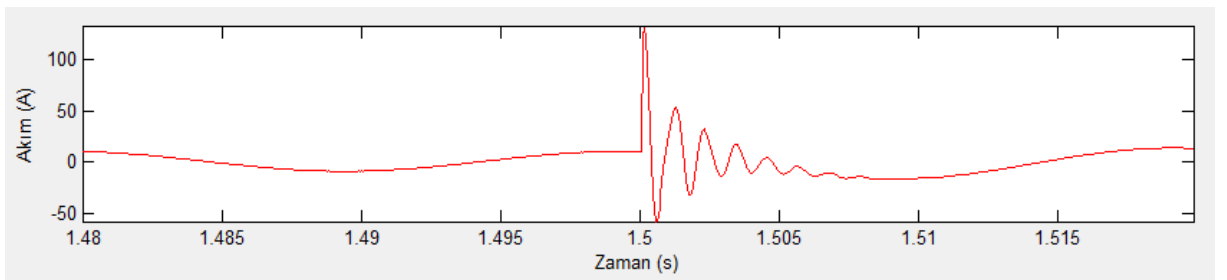


Şekil 5.29 Simülasyonun t=1,5 süresinde 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli

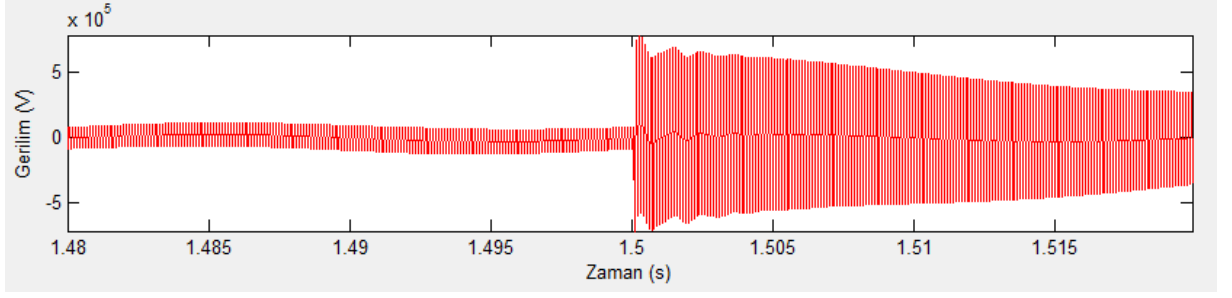


Şekil 5.30 Simülasyonun t=1,5 süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

34,5kVbarasında;



Şekil 5.31 Simülasyonun t=1,5 süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.32 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

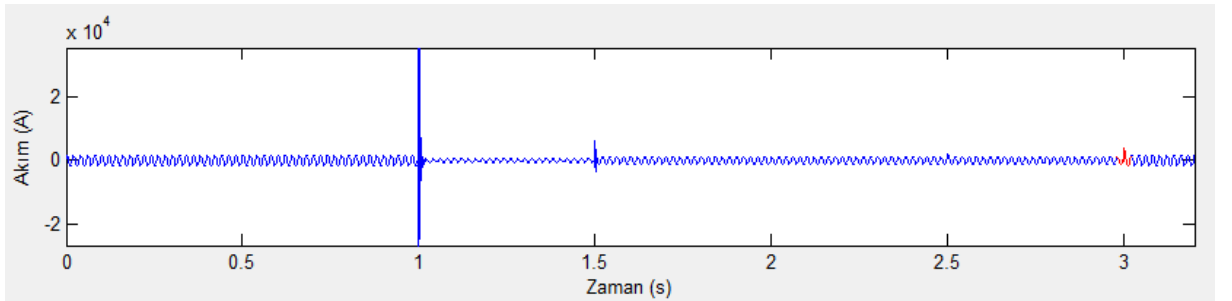
5.2.2.3 Simülasyonun $t= 3$ Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi

Simülasyonun $t=3$ saniyesi süresinde 3. Kondansatör kademesinin devreye girmesi ile hem alçak gerilim hem de orta gerilim barasındaki akım ve gerilimdeki dalga değişim şekilleri ve transient akım değerleri aşağıda verilmiştir.

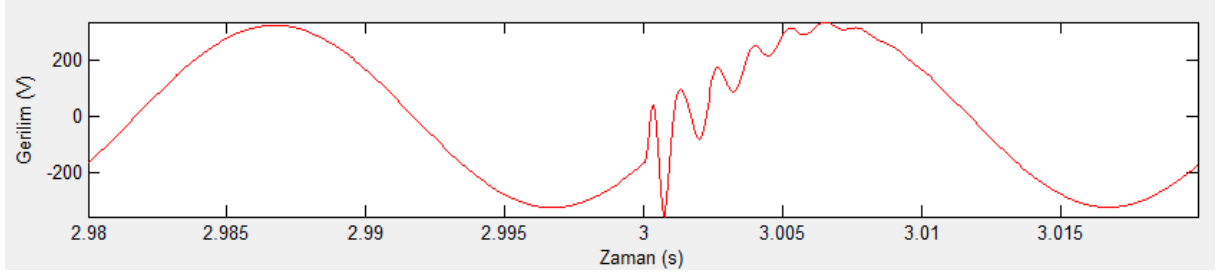
Çizelge 5.8 A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler

ÖLÇÜM NOKTASI	$\cos\theta$	$I_{p\text{tepe}}$	$I_{n\text{tepe}}$	$I_{p\text{tepe}} / I_{n\text{tepe}}$
34,5 kV BARASI	0,976	200 A	28,97 A	6,9
0,4 kV BARASI	0,8	30000 A	2538,51 A	11,81

0,4kVbarasında;

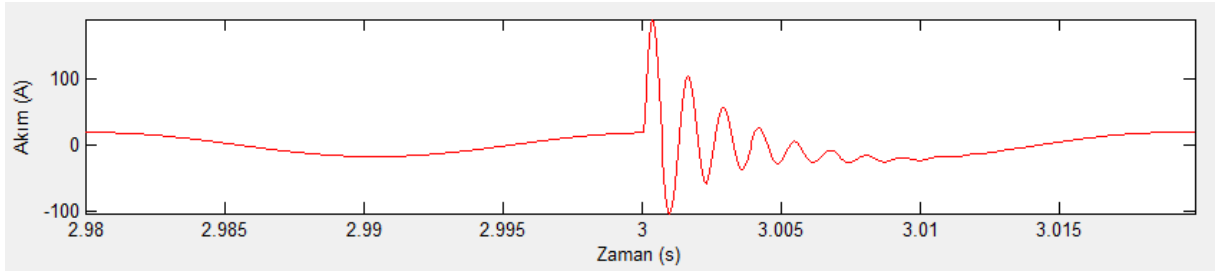


Şekil 5.33 Simülasyonun $t=3$ süresinde 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli

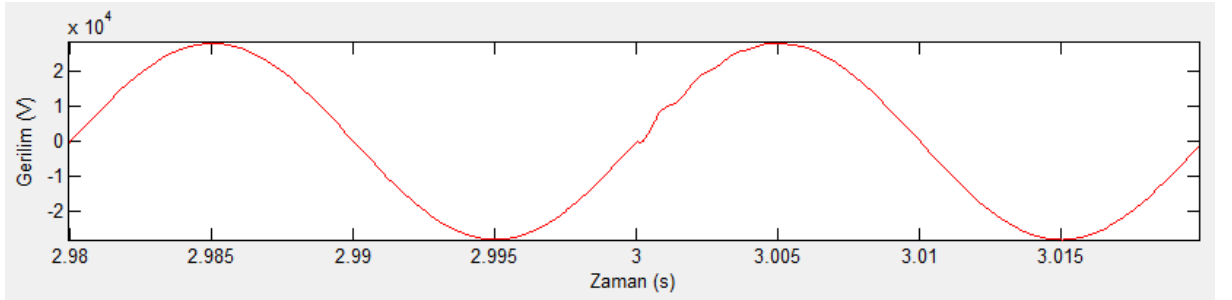


Şekil 5.34 Simülasyonun t=3 süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

34,5kVbarasında;



Şekil 5.35 Simülasyonun t=3 süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.36 Simülasyonun t=3 süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

5.2.3 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çizelge 5.9’ daki değerlere göre, simülasyonların t=1 saniyesi süresinde kademelerin devreye girmesiyle 34.5 kV O.G. barasındaoluşan tepe değer akımının, nominal akımın tepe değerine oranı yani I_{ptepe} / I_{ntepe} değerlerinin karşılaştırılması sonucu; MOD 2’ de bu oran 349,4 iken MOD 1’ de aynı değer 4,21’ dir. O.G.barasındayapılan kompanzasyonda kesici kapatıldığı anda (kompanzasyon devreye girdiği anda) A.G.barasındakikompanzasyon kademesinin devreye girdiği ana göre çok yüksek transient akımı çekilmektedir. Bunun sebebi O.G. barasının kısa devre gücününçok yüksek (kısa devre empedansının çok düşük) olmasıdır. Simülasyon sonuçları orta gerilim barasında yapılan kompanzasyonun ilk anda şebekeye verdiği zararı da ortaya

koymuştur. Simülasyon sonuçlarından hedeflenen güç katsayısı değerlerine başarılı bir şekilde ulaşıldığı görölmektedir.

Çizelge 5. 9 Simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

A.G. tarafında Klasik Kademeli Kompanzasyon (MOD 1)	t=1 Saniye	ÖLÇÜM NOKTASI	Cos θ	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}} / I_{n_{tepe}}$
		34,5 kV BARASI	0,96	60 A	14,24 A	4,21
		0,4 kV BARASI	0,9925	4000 A	693 A	5,77
	t=1,5Saniye	ÖLÇÜM NOKTASI	Cos θ	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}} / I_{n_{tepe}}$
		34,5 kV BARASI	0,96	50 A	22,13 A	2,25
		0,4 kV BARASI	0,9925	3200 A	1387,06 A	2,3
	t=3 Saniye	ÖLÇÜM NOKTASI	Cos θ	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}} / I_{n_{tepe}}$
		34,5 kV BARASI	0,96	125 A	29,96 A	4,17
		0,4 kV BARASI	0,9925	12000 A	2074,65 A	5,78

Çizelge 5.9 Simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması (Devamı)

O.G.tarafında Klasik Kademeli Kompanzasyon (MOD 2)	t=1 Saniye	ÖLÇÜM NOKTASI	$\cos \theta$	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$\frac{I_{p_{tepe}}}{I_{n_{tepe}}}$
		34,5 kV BARASI	0,976	5000 A	14,31 A	349,4
		0,4 kV BARASI	0,8	30000 A	2528,61 A	11,86
	t=1,5Saniye	ÖLÇÜM NOKTASI	$\cos \theta$	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$\frac{I_{p_{tepe}}}{I_{n_{tepe}}}$
		34,5 kV BARASI	0,976	125 A	21,41 A	5,83
		0,4 kV BARASI	0,8	6000 A	1704,12 A	3,52
	t=3 Saniye	ÖLÇÜM NOKTASI	$\cos \theta$	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$\frac{I_{p_{tepe}}}{I_{n_{tepe}}}$
		34,5 kV BARASI	0,976	200 A	28,97 A	6,9
		0,4kV BARASI	0,8	30000 A	2538,51 A	11,81

5.30.G. Barasında, A.G. Barasında Reaktif Güç Kompanzasyonu Yapıldığında Sistemdeki Akım ve Gerilim Harmoniklerinin İncelenmesi

Bu bölümde, örnek alınan sanayi tesisi yüklerinin harmonik ürettiği göz önüne alınarak alçak gerilim tarafında filtresiz, orta gerilim tarafında hem filtresiz hem de pasif filtreli kompanzasyon sistemi kurularak oluşturulan simülasyonların sonuçları incelenip karşılaştırılması yapılmıştır. Simülasyonu gerçekleştirilen işletme durumları;

- MOD 1 : A.G.barasında filtresiz klasik kademeli kompanzasyon
- MOD 2 : O.G.barasında filtresiz klasik kademeli kompanzasyon
- MOD 3 : O.G.barasında pasif filtreli klasik kademeli kompanzasyon

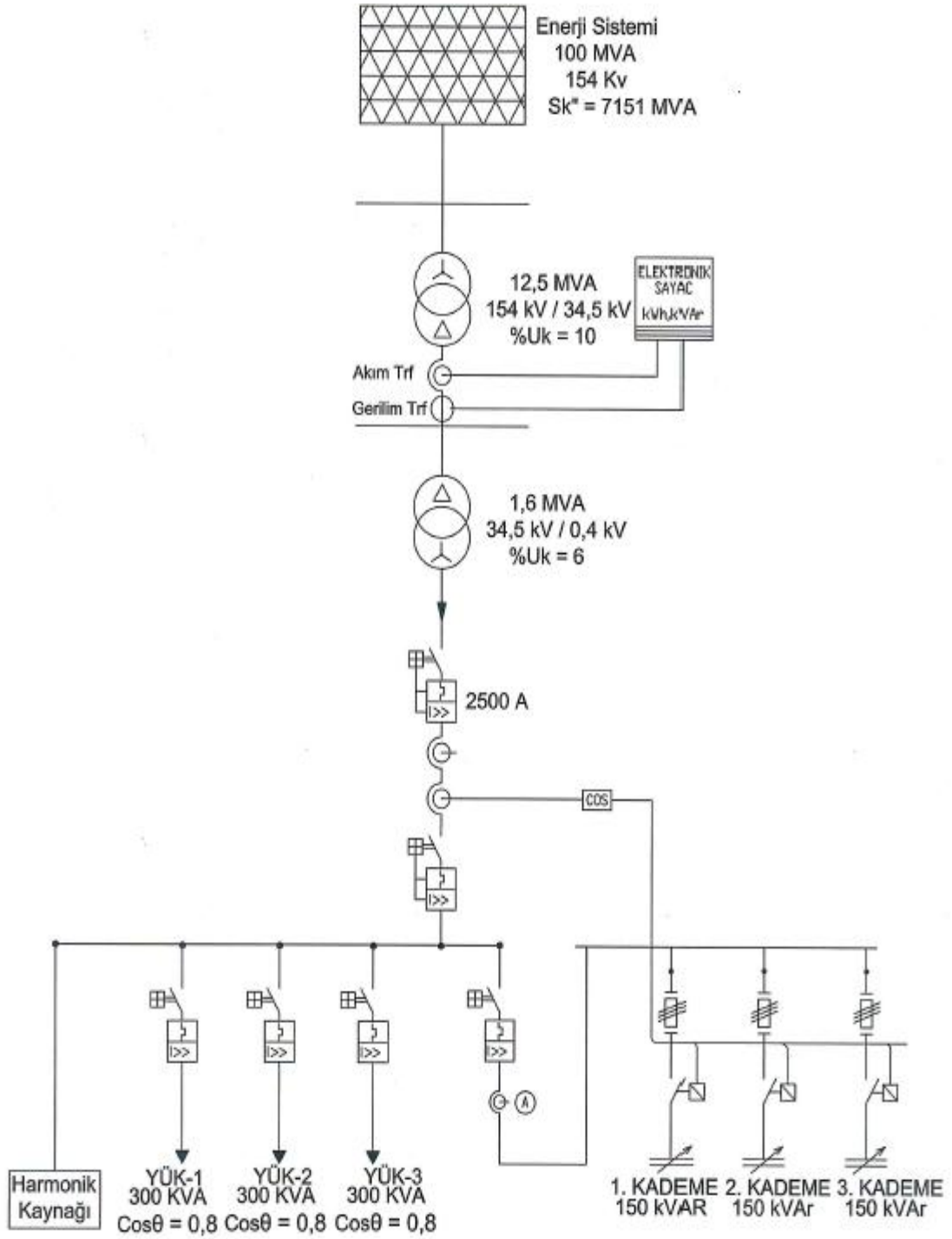
Olarak göz önüne alınmıştır. Reaktif güç kompanzasyonu sistemi farklı olan 3 adet MOD için yapılan simülasyonlar hakkında bilgi aşağıdaki Çizelge 4.9' da olarak verilmiştir.

Çizelge 5.10 Simülasyonlarda göz önüne alınan işletme durumları

İşletme Kodu	Kompanzasyon Sisteminin Yeri		Kompanzasyon Türü	
	O.G. Barası	A.G. Barası	Klasik Filtresiz	Klasik Filtreli
MOD 1		✓	✓	
MOD 2	✓		✓	
MOD 3	✓			✓

5.3.1 Alçak Gerilim Barasında Filtresiz Klasik Kademeli Kompanzasyon (MOD 1)

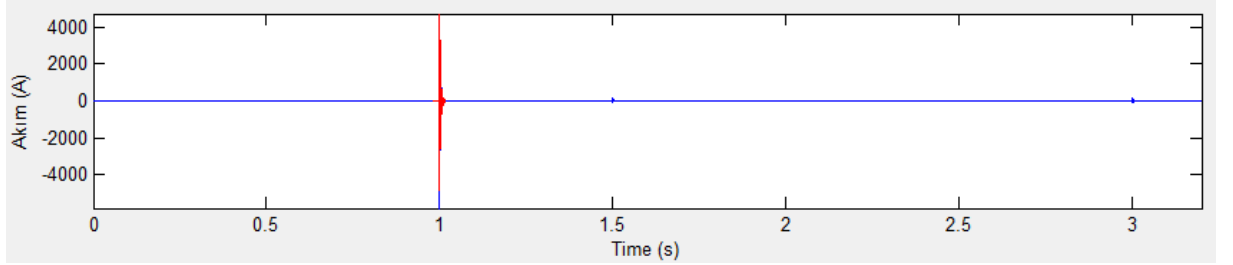
Bu simülasyon çalışmasında, işletme gerilimi 0,4 kV, kurulu gücü 300 kVA ve $\cos \theta = 0,8$ değerindeki 3 adet yükten ve harmonik kaynağından oluşan bir sanayi tesisinin güç faktörünü düzeltmek için alçak gerilim tarafında filtresiz olarak kademeli kompanzasyon yapılmıştır. Kurulan kompanzasyon sistemi; 150kVAr' lık 3 kademedden oluşmaktadır. Şekil 5.37' de sistemin tek hat şeması ve Şekil 5.38' de sisteminin MATLAB Simulink programındaki devre şeması gösterilmiştir.



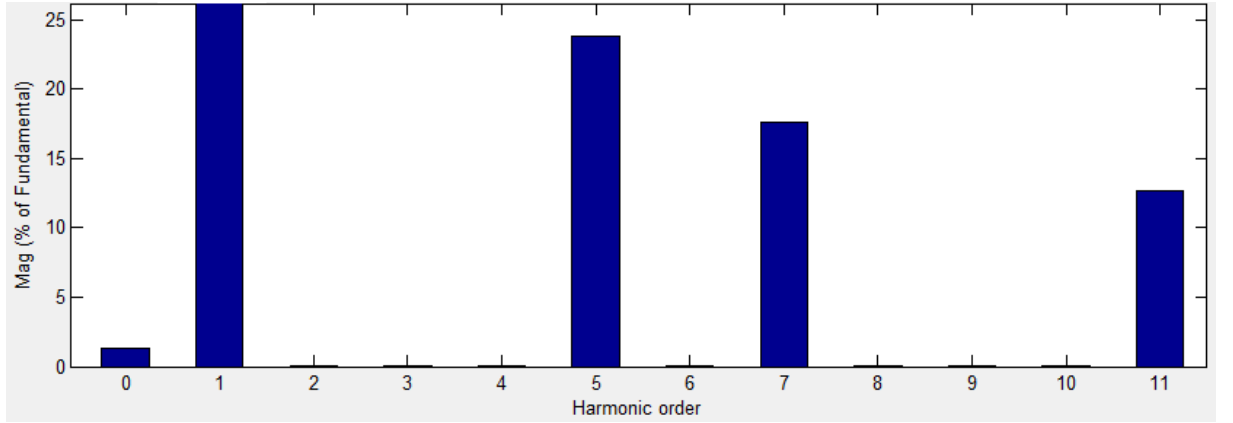
Şekil 5.37 Sistemin tek hat şeması (MOD 1)

Simülasyon sonucunda kademelerin devreye girdiği zamanlara göre 0,4 kV ve 34,5 kVbaralarındaki akım ve gerilim dalga şekilleri, akım ve gerilimlere ait harmonik spektrumları aşağıdaki verilmiştir.

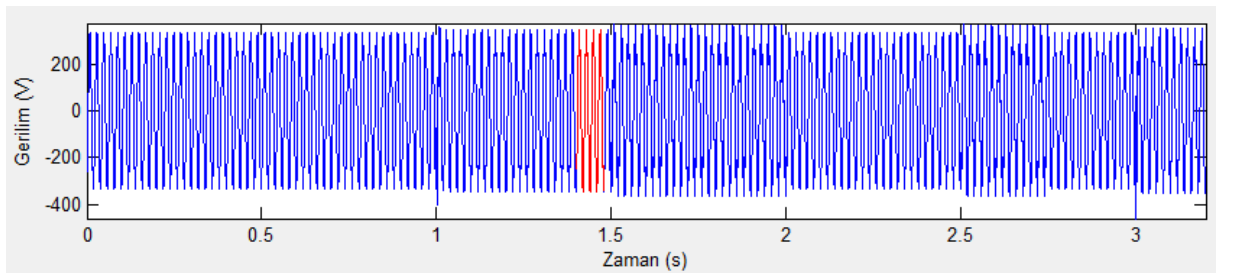
0,4 kVbarasında;



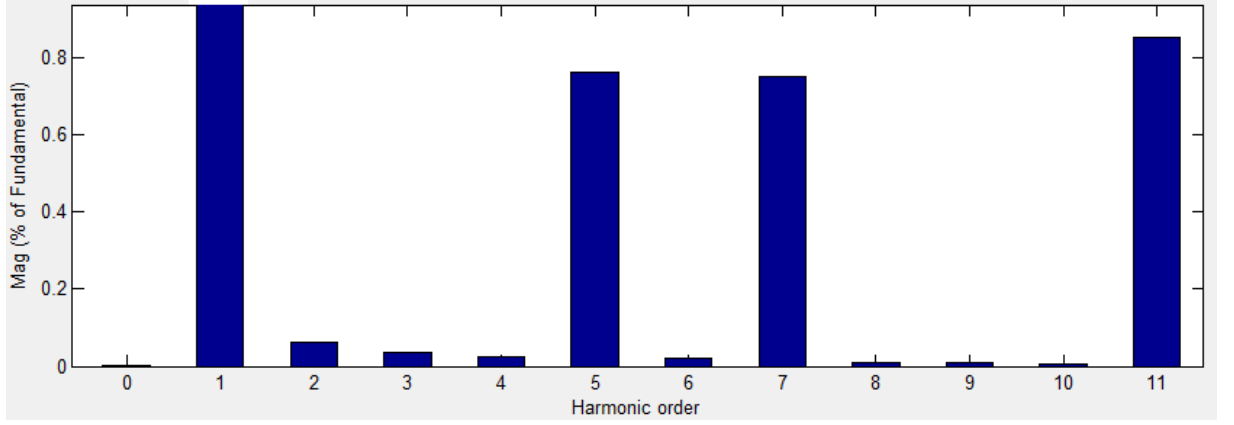
Şekil 5.39 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli (transient akım oluşumu)



Şekil 5.40 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu

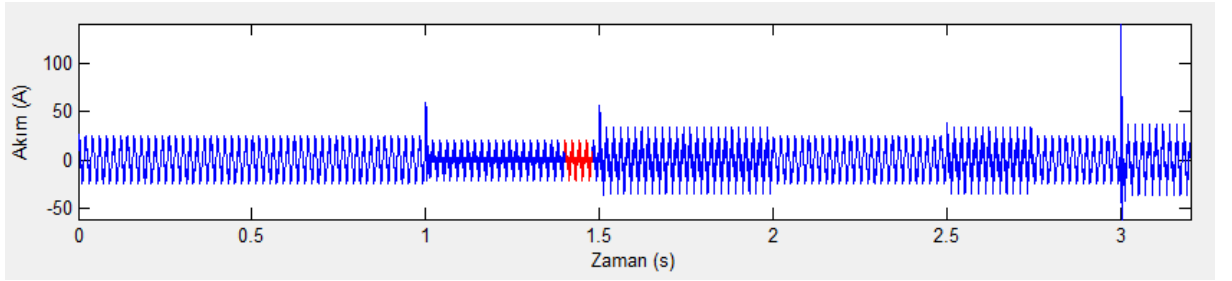


Şekil 5.41 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

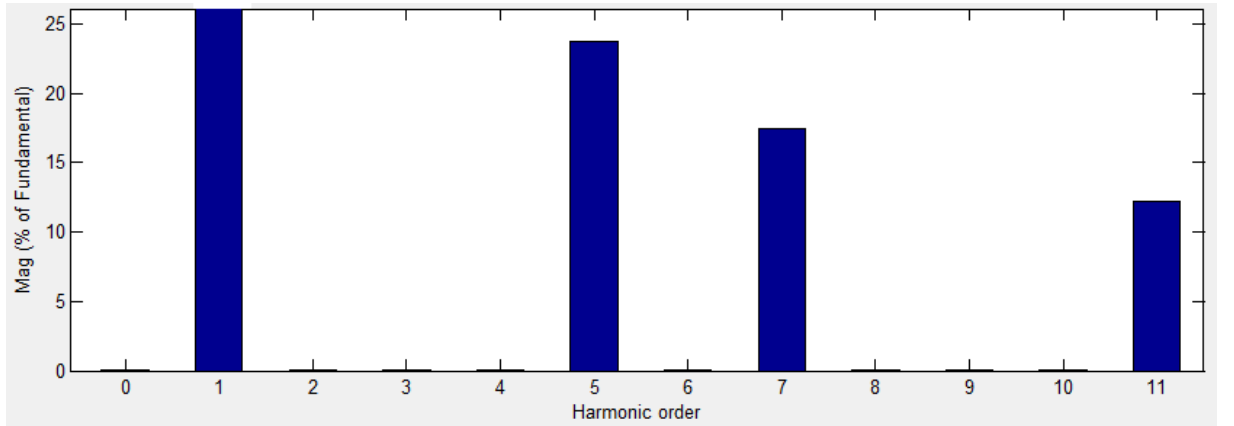


Şekil 5.42 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

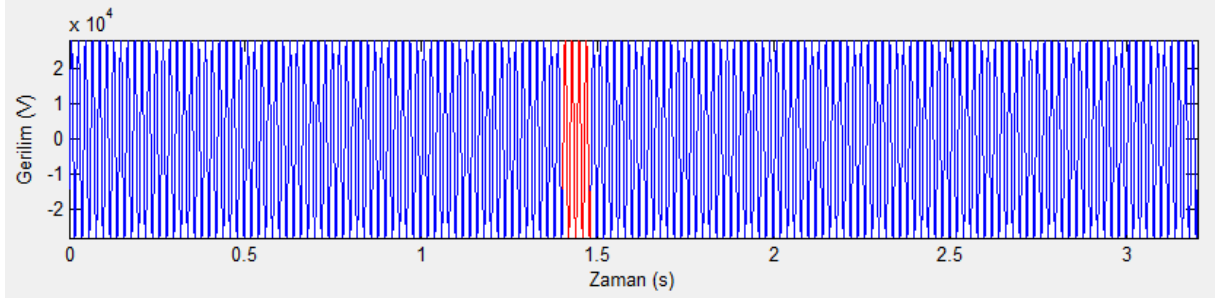
34,5kVbarasında;



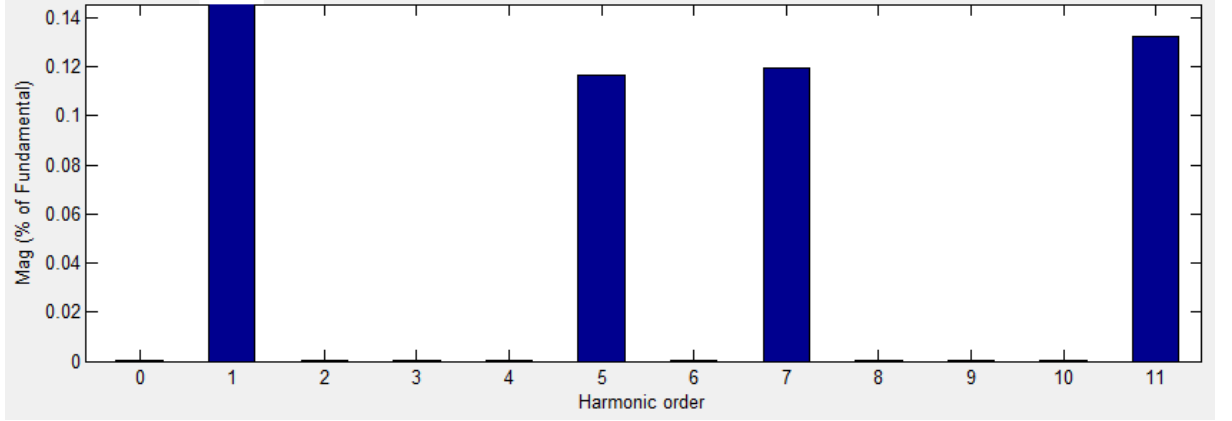
Şekil 5.43 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.44 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu



Şekil 5.45 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli



Şekil 5.46 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

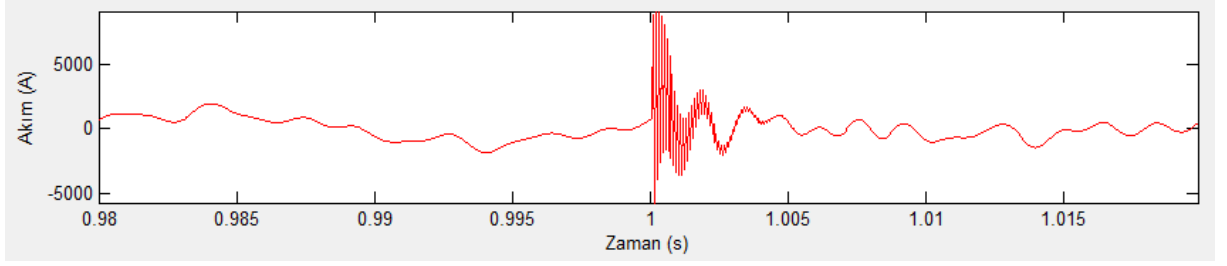
5.3.1.1 Simülasyonun $t=1$ Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi

Simülasyonun $t=1$ saniyesi süresinde 1. Kondansatör kademesinin devreye girmesi ile hem alçak gerilim hem de orta gerilim barasındaki akım ve gerilimdeki dalga değişim şekilleri ve değerlerinin tablosu aşağıda verilmiştir.

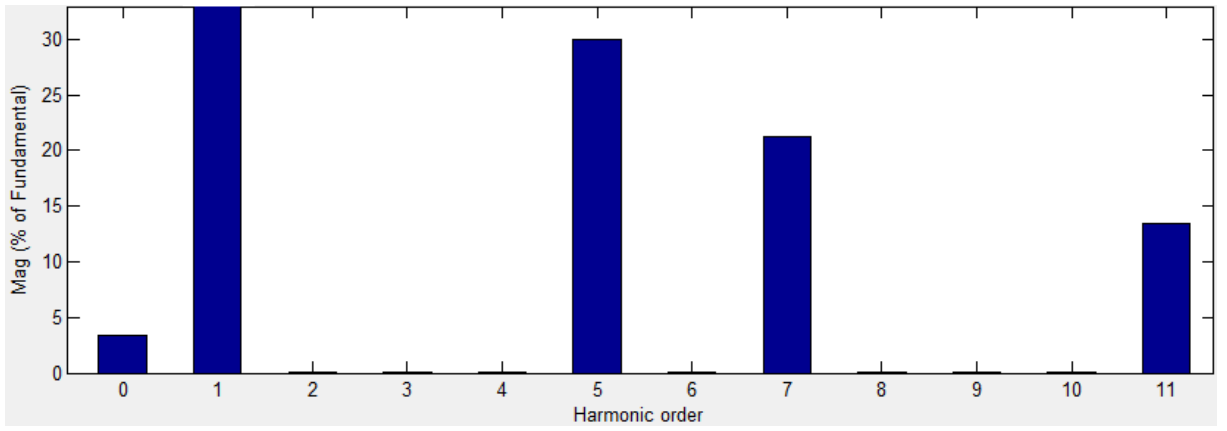
Çizelge 5.11 A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler

ÖLÇÜM NOKTASI	$\cos\theta$	$I_{p\text{tepe}}$	$I_{n\text{tepe}}$	$I_{p\text{tepe}} / I_{n\text{tepe}}$
34,5 kV BARASI	0,9738	60 A	13,71 A	4,37
0,4 kV BARASI	0,9925	8000 A	695,79 A	11,49

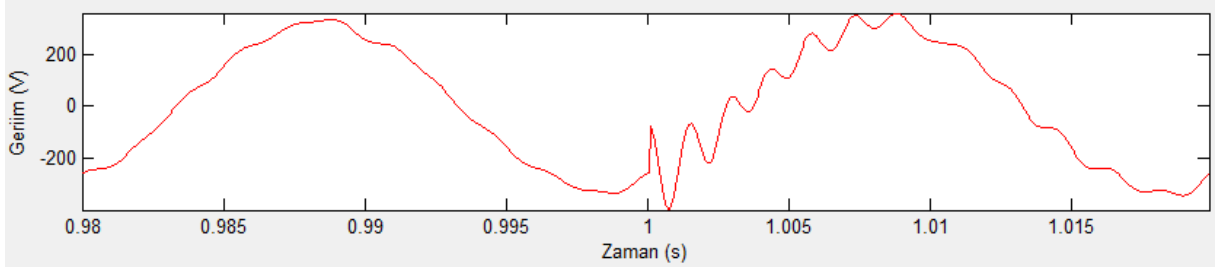
0,4 kVbarasında;



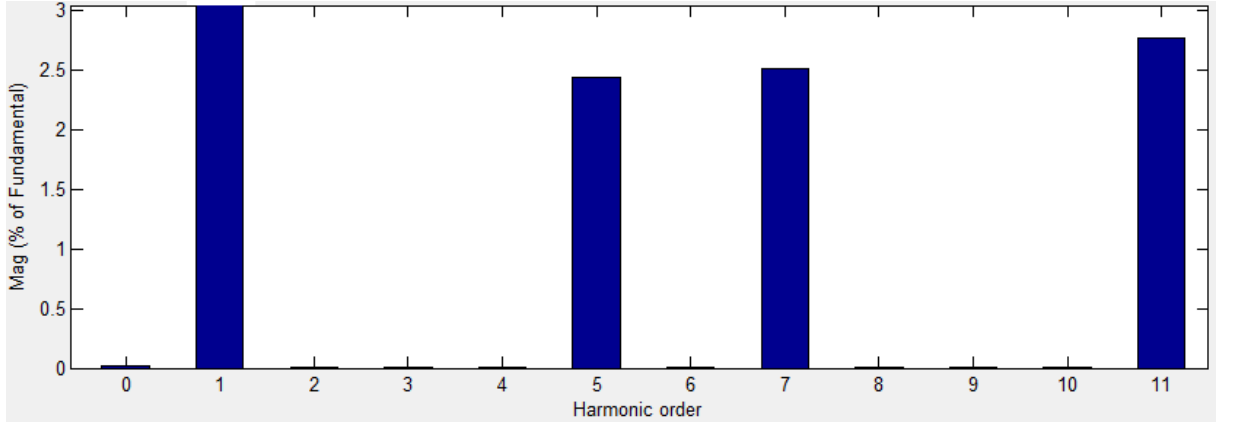
Şekil 5.47 Simülasyonun t=1 süresinde 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.48 Simülasyonun t=1 süresinde 0,4 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu

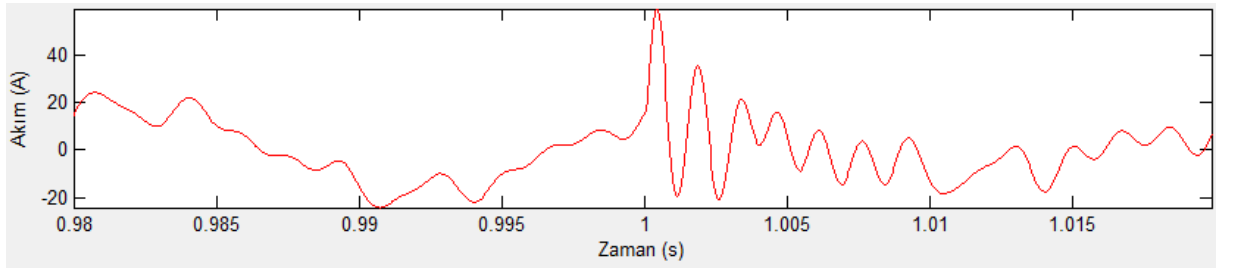


Şekil 5.49 Simülasyonun t=1 süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

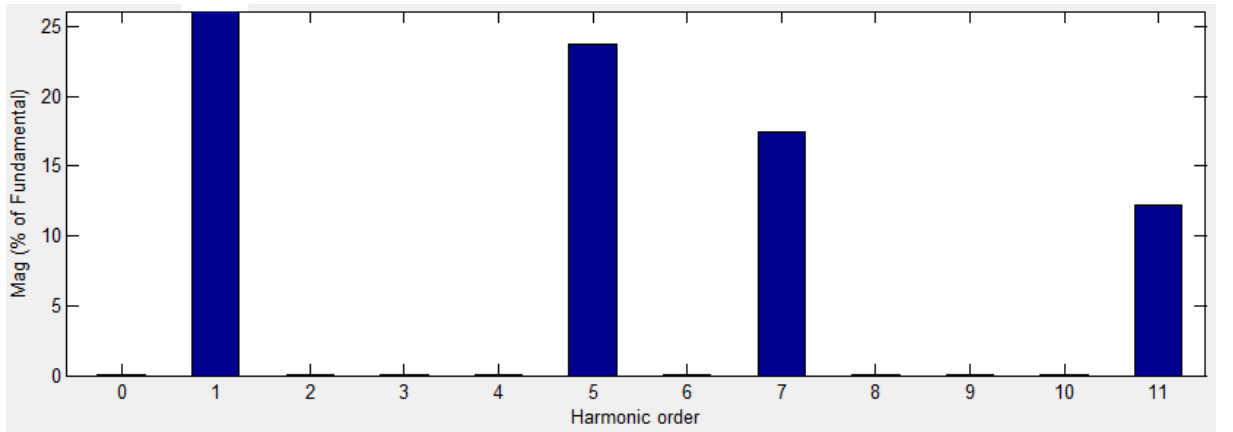


Şekil 5.50 Simülasyonun t=1 süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

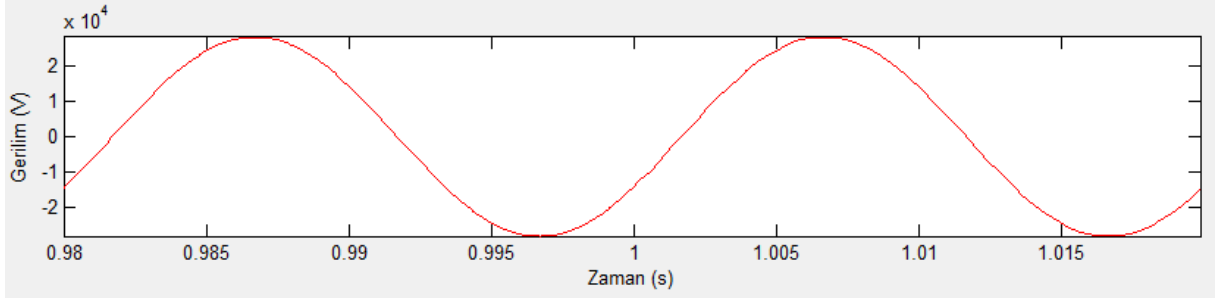
34,5kVbarasında;



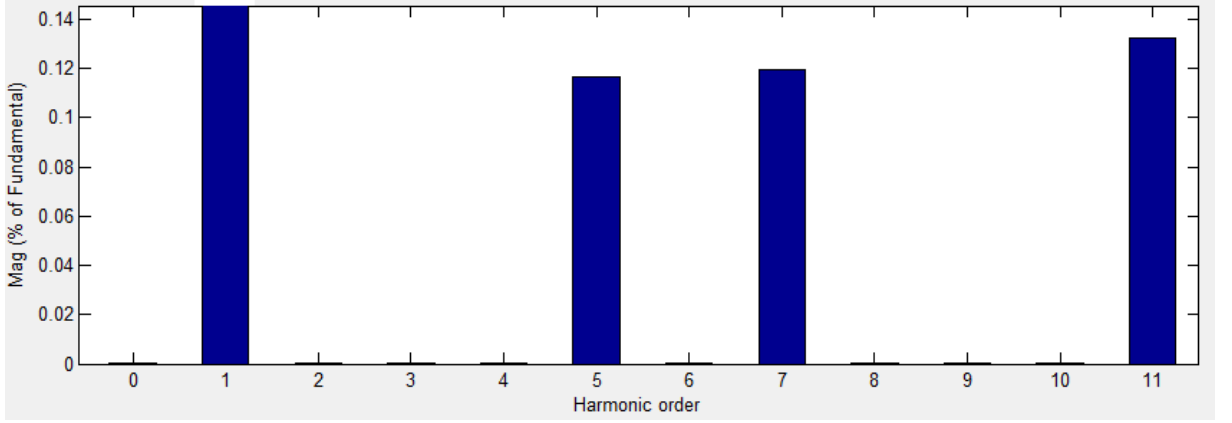
Şekil 5.51 Simülasyonun t=1 süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.52 Simülasyonun t=1 süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın harmonikspektrumu



Şekil 5.53 Simülasyonun t=1 süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli



Şekil 5.54 Simülasyonun t=1 süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

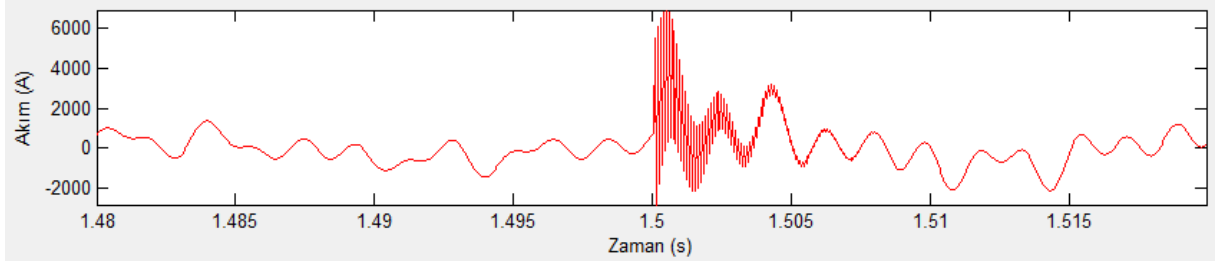
5.3.1.2 Simülasyonun t= 1,5Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi

Simülasyonun t=1,5 saniyesi süresinde 2. Kondansatör kademesinin devreye girmesi ile hem alçak gerilim hem de orta gerilim barasındaki akım ve gerilimdeki dalga değişim şekilleri ve değerlerinin tablosu aşağıda verilmiştir.

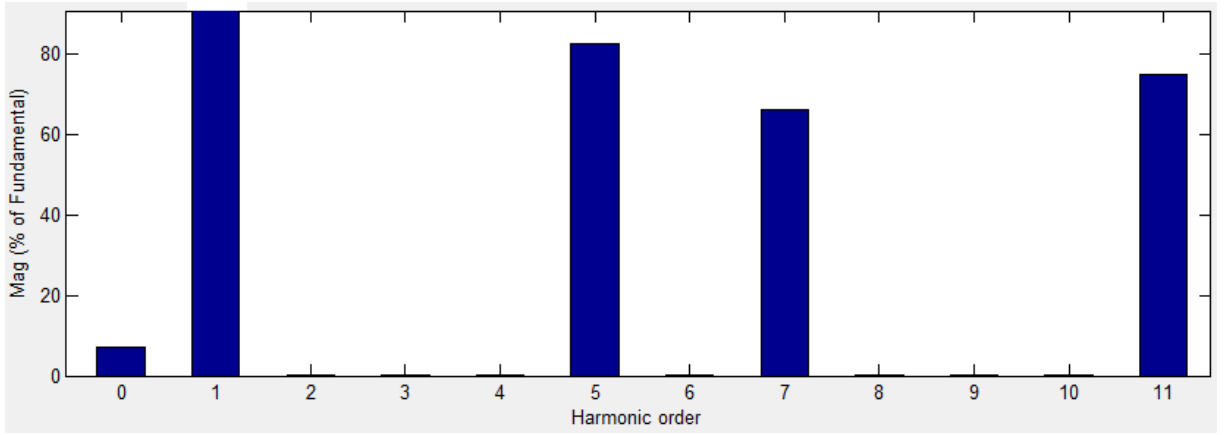
Çizelge 5.12 A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler

ÖLÇÜM NOKTASI	COS θ	$I_{p\text{tepe}}$	$I_{n\text{tepe}}$	$I_{p\text{tepe}} / I_{n\text{tepe}}$
34,5 kV BARASI	0,9738	60 A	21,66 A	2,77
0,4 kV BARASI	0,9925	6200 A	1388,61 A	4,46

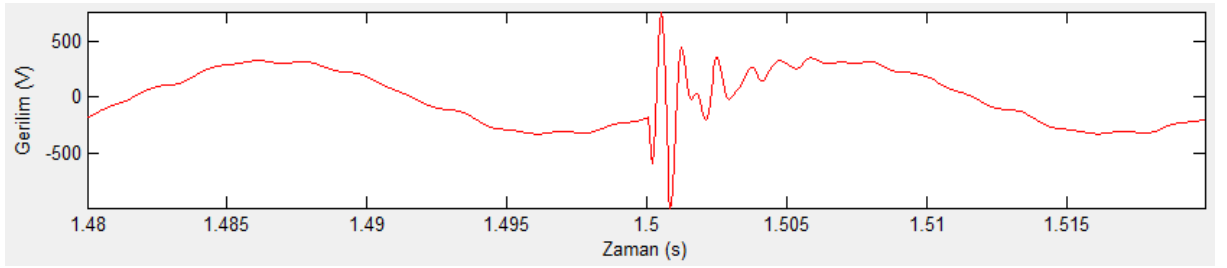
0,4 kVbarasında;



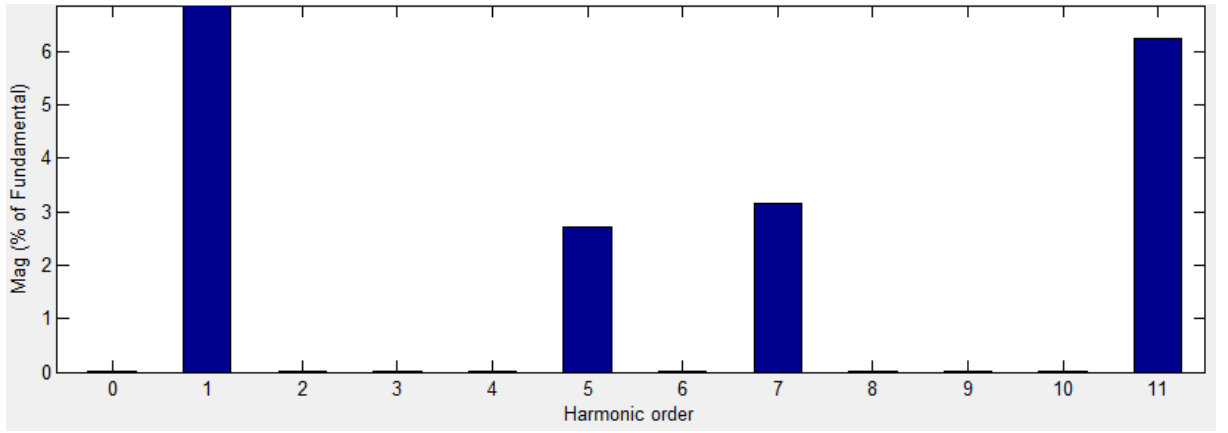
Şekil 5.55 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.56 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu

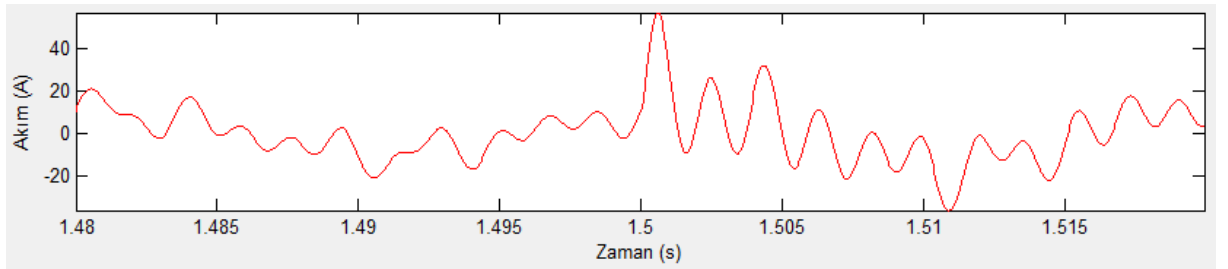


Şekil 5.57 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

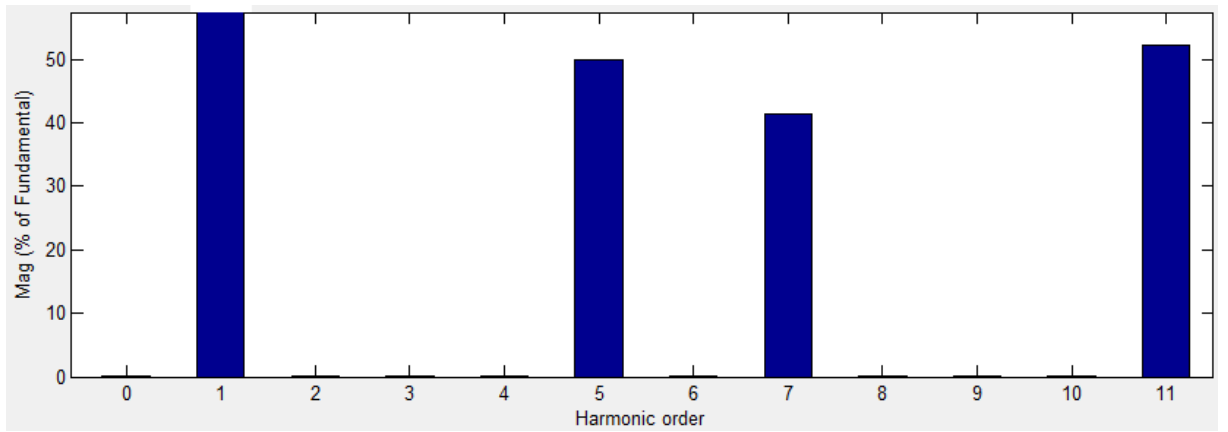


Şekil 5.58 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

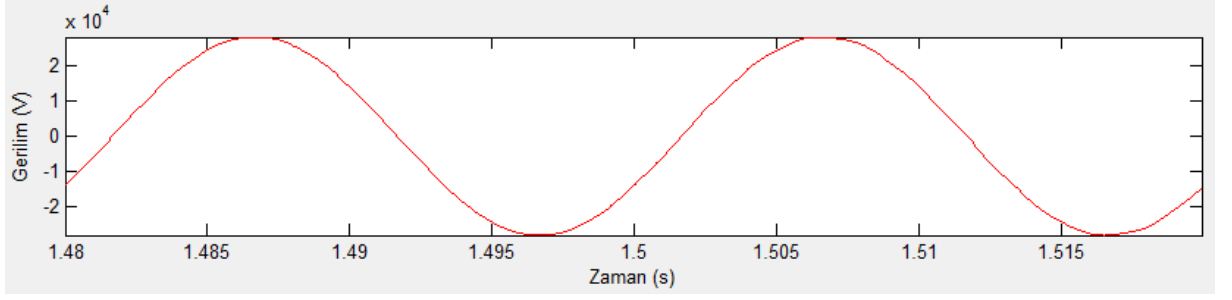
34,5kVbarasında;



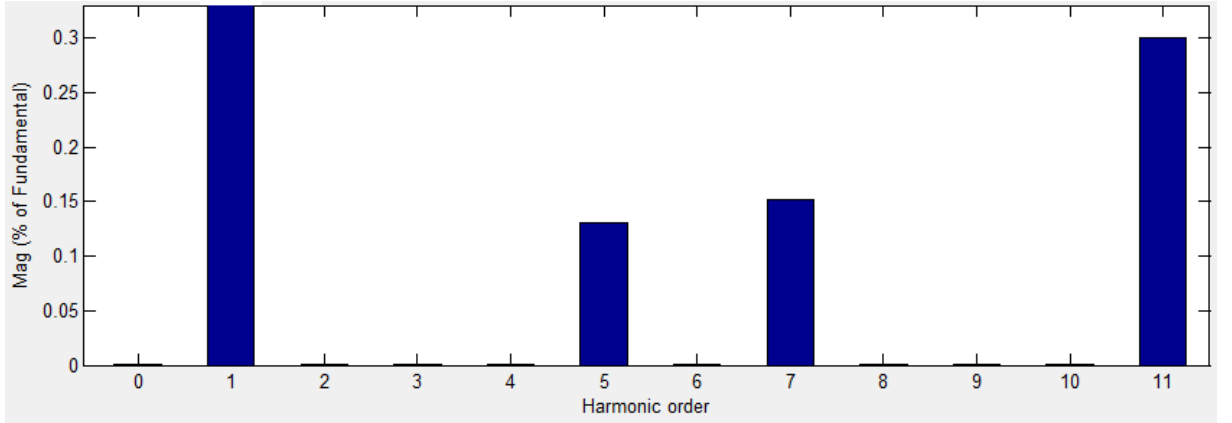
Şekil 5.59 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.60 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın harmonikspektrumu



Şekil 5.61 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli



Şekil 5.62 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın harmonikspektrumu

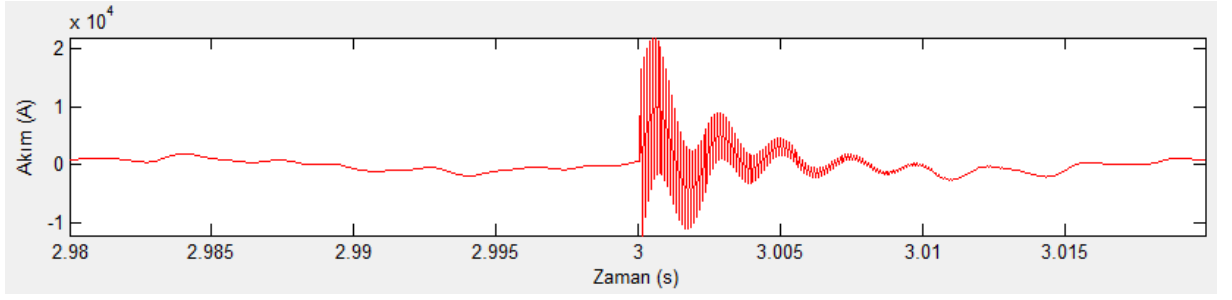
5.3.1.3 Simülasyonun $t= 3$ Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi

Simülasyonun $t=3$ saniyesi süresinde 3. Kondansatör kademesinin devreye girmesi ile hem alçak gerilim hem de orta gerilim barasındaki akım ve gerilimdeki dalga değişim şekilleri ve değerlerinin tablosu aşağıda verilmiştir.

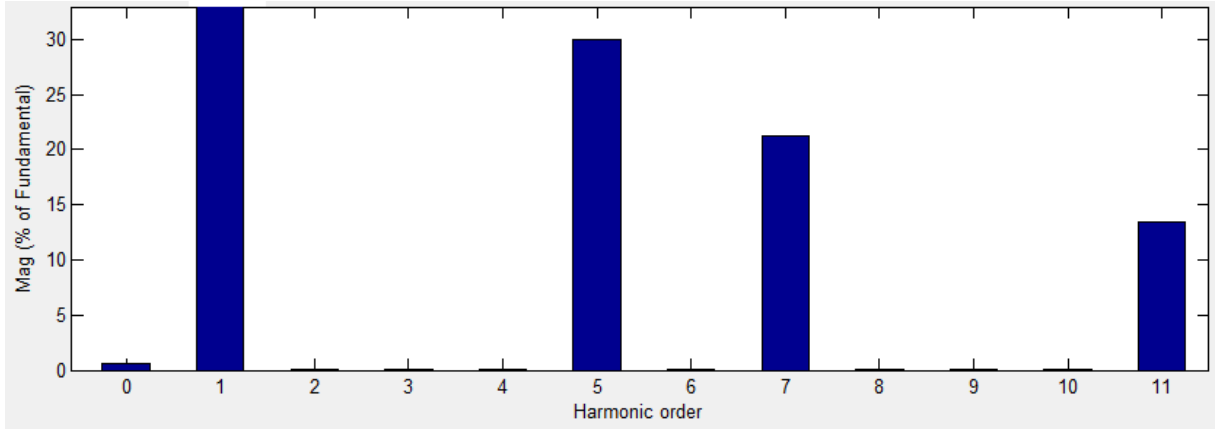
Çizelge 5.13 A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler

ÖLÇÜM NOKTASI	$\cos\theta$	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}} / I_{n_{tepe}}$
34,5 kV BARASI	0,9738	130 A	29,61 A	4,39
0,4 kV BARASI	0,9925	20000 A	2076,06 A	9,63

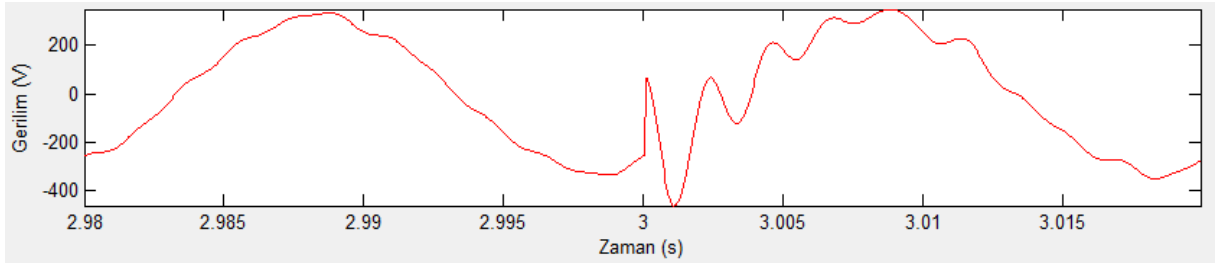
0,4 kVbarasında;



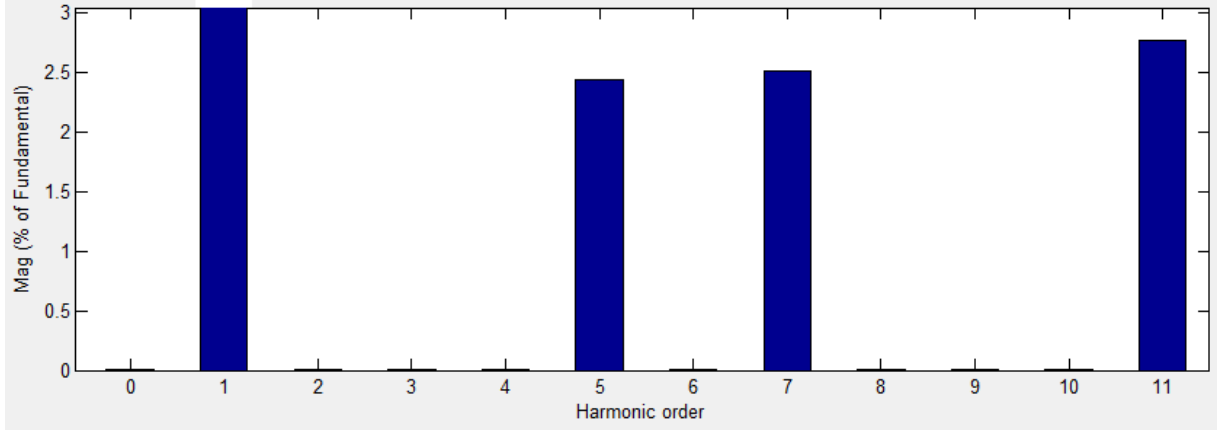
Şekil 5.63 Simülasyonun t=3 süresinde 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.64 Simülasyonun t=3 süresinde 0,4 kVbarasındaki akımın harmonikspektrumu

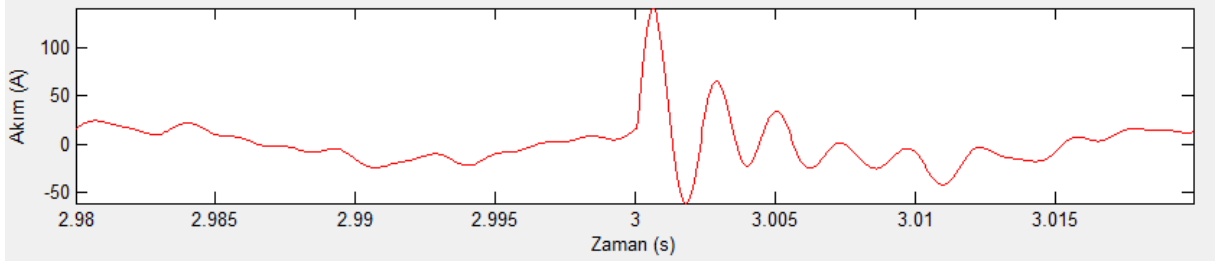


Şekil 5.65 Simülasyonun t=3 süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

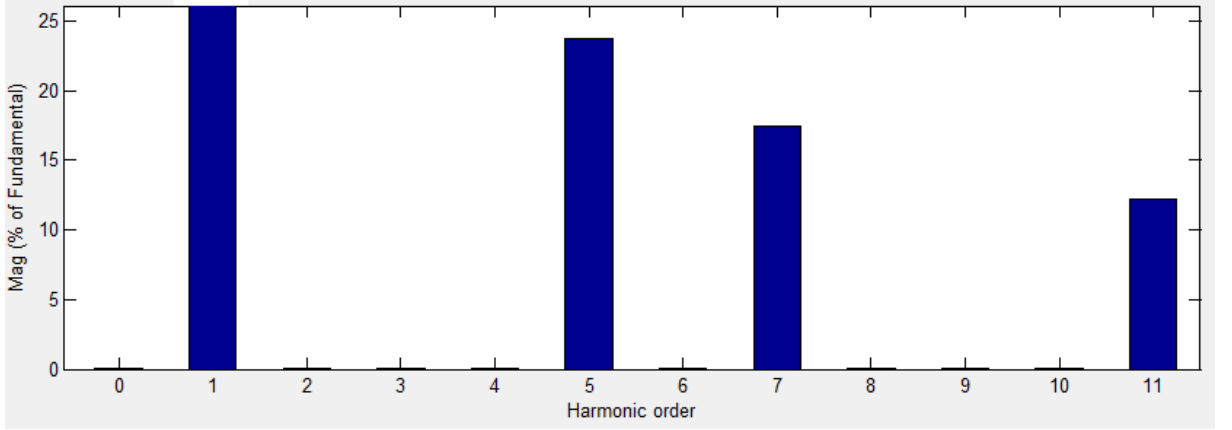


Şekil 5.66 Simülasyonun $t=3$ süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilimin harmonikspektrumu

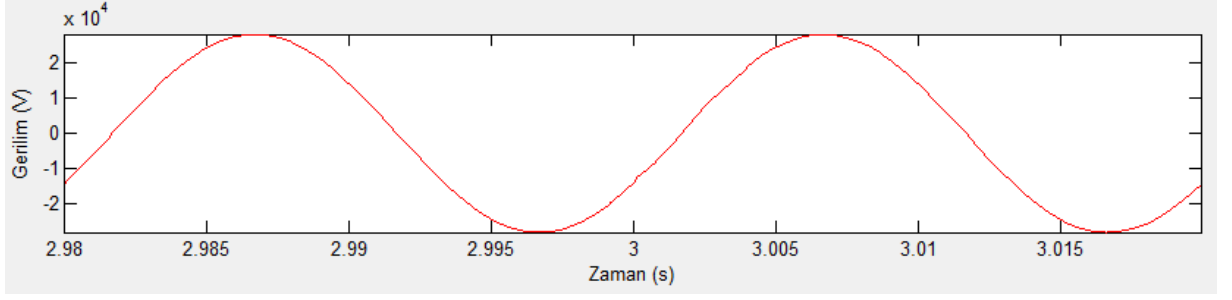
34,5kVbarasında;



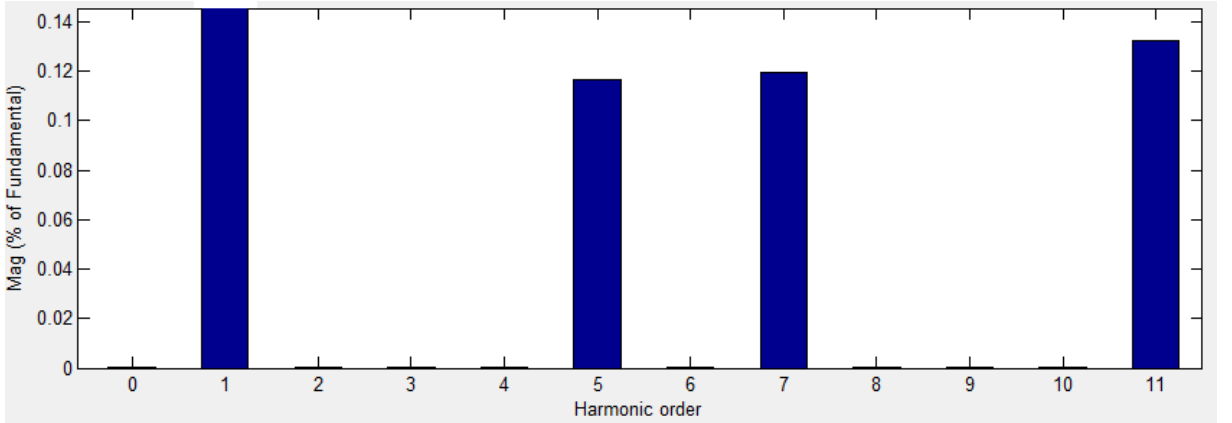
Şekil 5.67 Simülasyonun $t=3$ süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.68 Simülasyonun $t=3$ süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın harmonikspektrumu



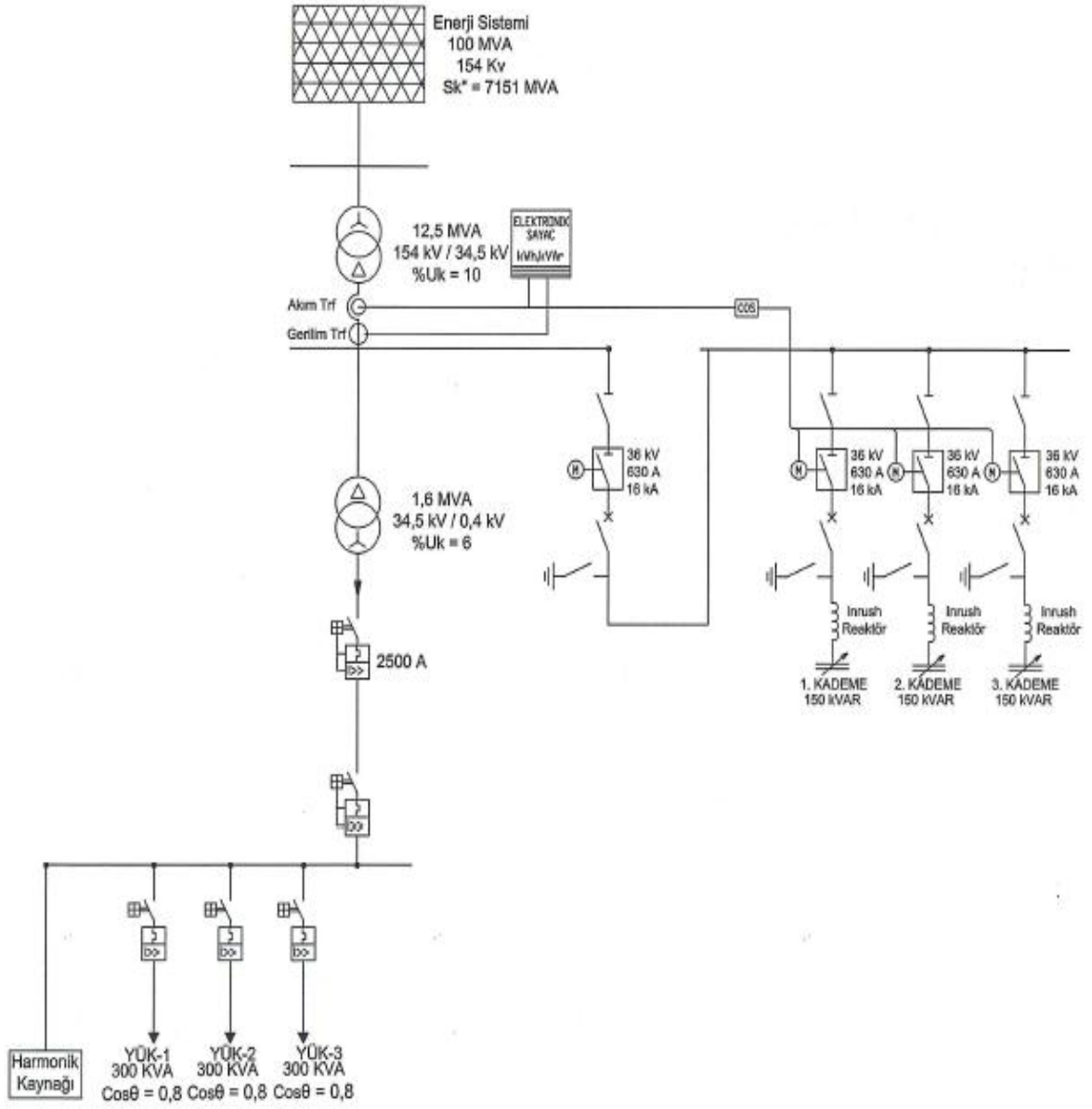
Şekil 5.69 Simülasyonun t=3 süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli



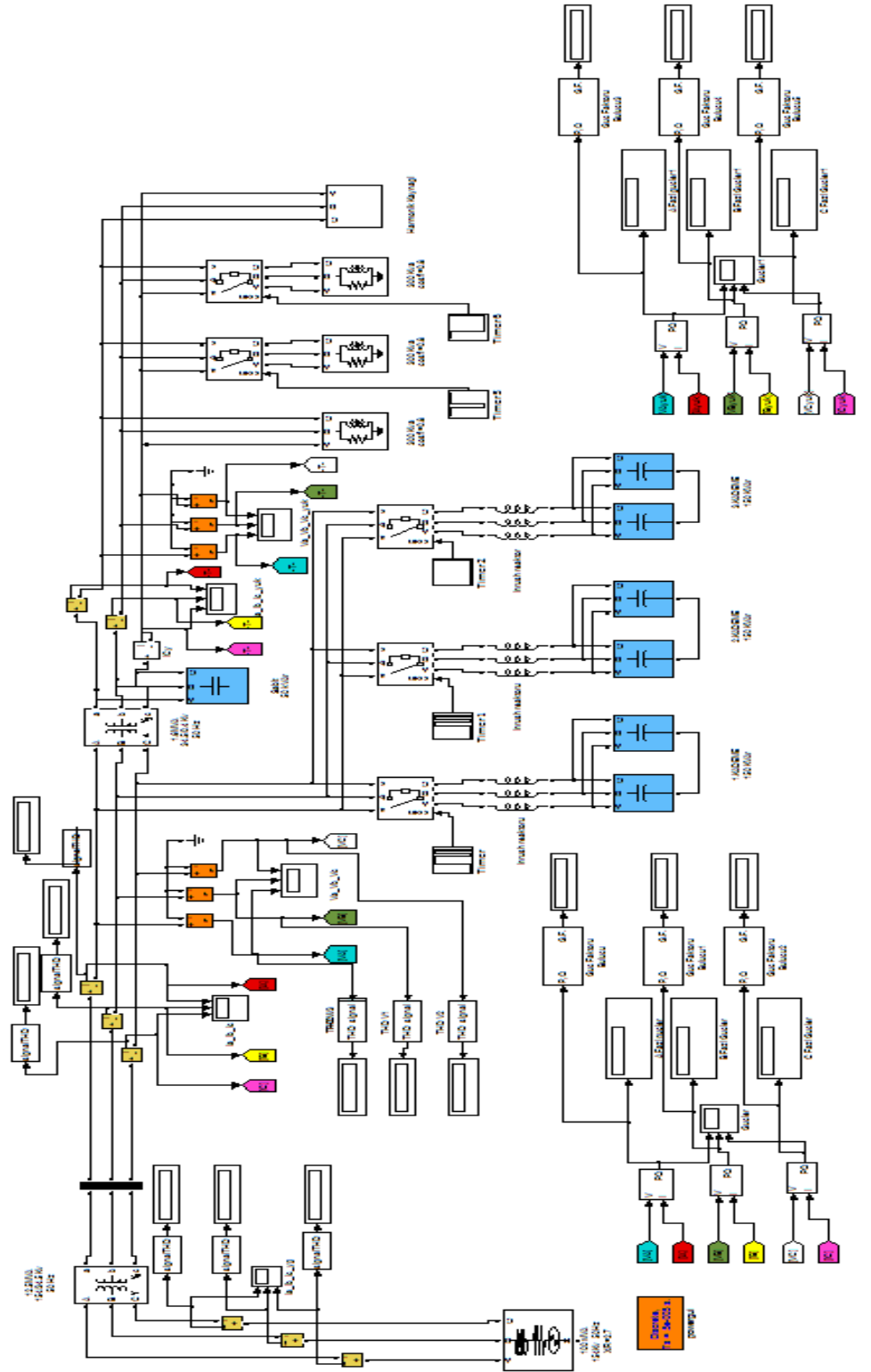
Şekil 5.70 Simülasyonun t=3 süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilimin harmonikspektrumu

5.3.2 Orta GerilimBarasındaFiltresiz Klasik Kademeli Kompanzasyon (MOD 2)

Bu simülasyon çalışmasında, işletme gerilimi 34,5 kV, kurulu gücü 300 kVA ve $\cos \theta = 0,8$ değerindeki 3 adet yükten ve harmonik kaynağından oluşan bir sanayi tesisingüç faktörünü düzeltmek için orta gerilim tarafında filtresiz olarak kademeli kompanzasyon yapılmıştır. Kurulan kompanzasyon sistemi; Her biri 150 kVAr'lık çift yıldız bağlı kondansatör ünitelerinden oluşan 3 adet kademededen ve ilk çalışma (inrush) akımlarını sönmölemek için her kademenin her fazına yerleştirilen inrush reaktörlerinden oluşmaktadır. Şekil 5.71' de sistemin tek hat şeması ve Şekil 5.72' de sisteminin MATLAB simulink programındaki devre şeması gösterilmiştir



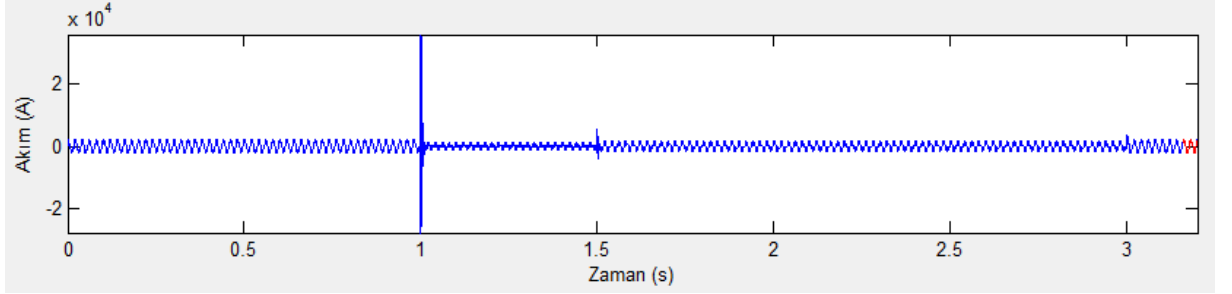
Şekil 5.71 Sistemin tek hat şeması (MOD 2)



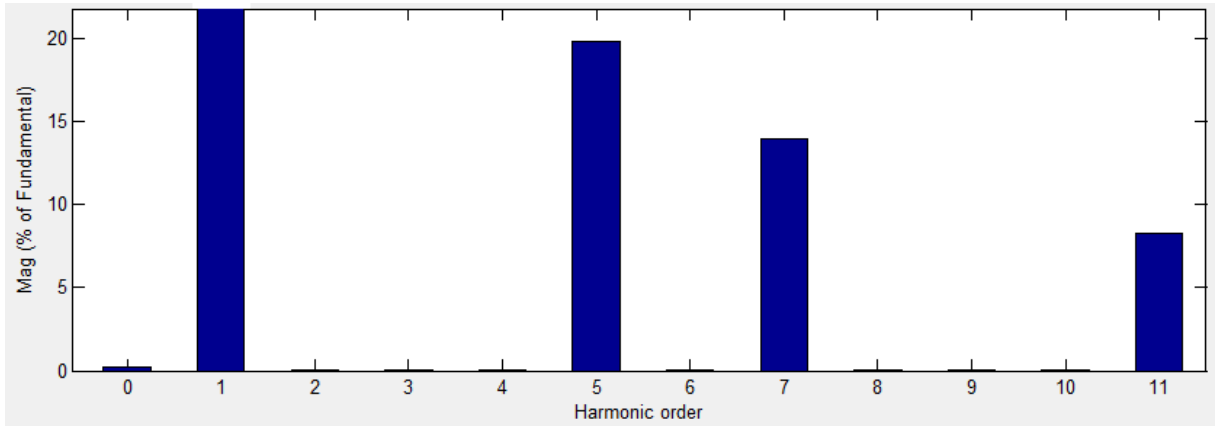
Şekil 5.72 Sistemin devre şeması (MOD 2)

Simülasyon sonucunda 0,4 kV ve 34,5 kVbaralarındaki akımın ve gerilimin dalga şekilleri, kademelerin devreye girdiği zamanlara göre aşağıdaki gibi verilmiştir.

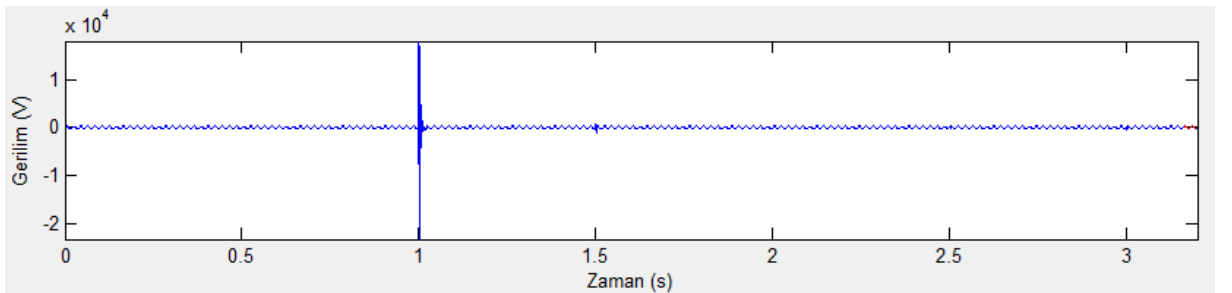
0,4 kVbarasında;



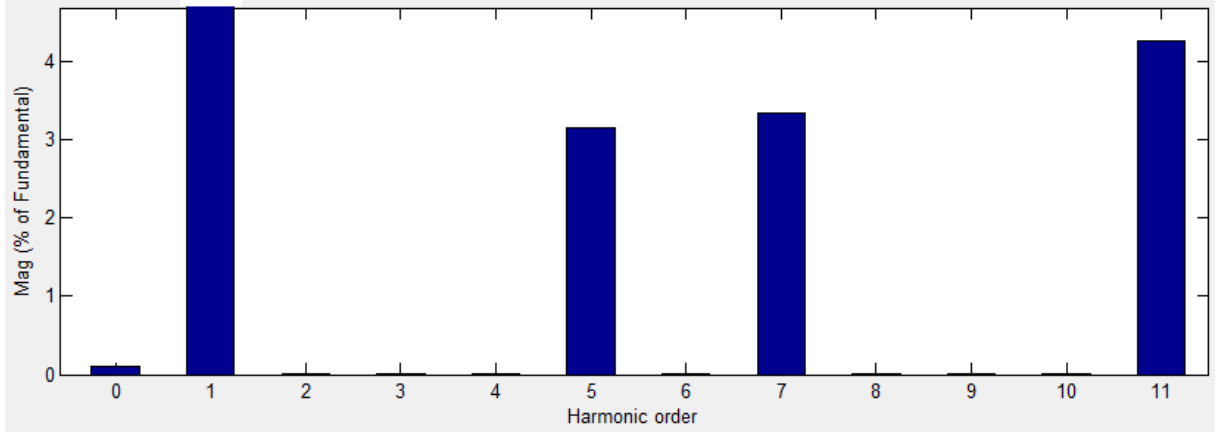
Şekil 5.73 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.74 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu

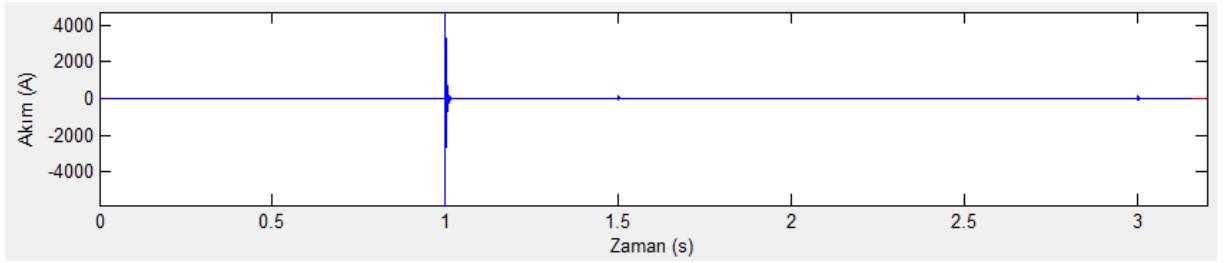


Şekil 5.75 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

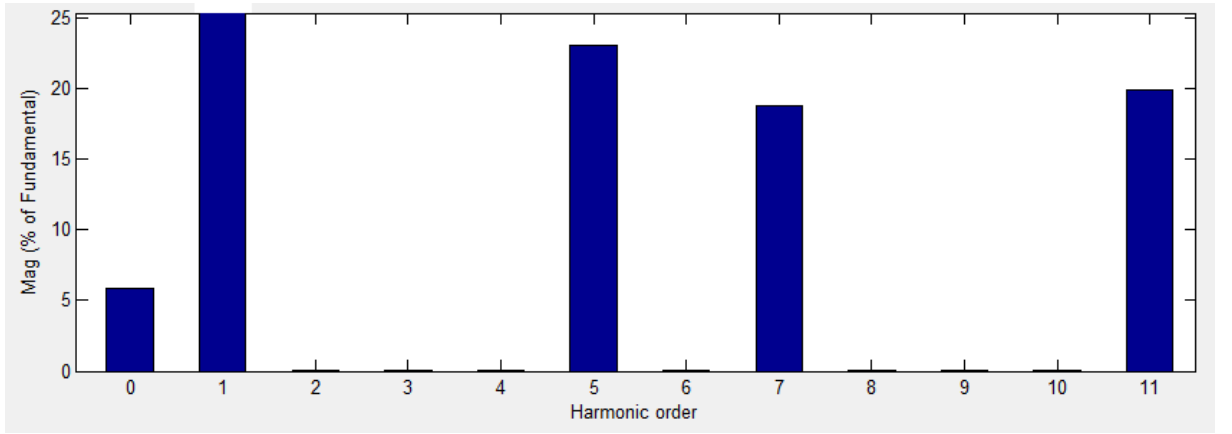


Şekil 5.76 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

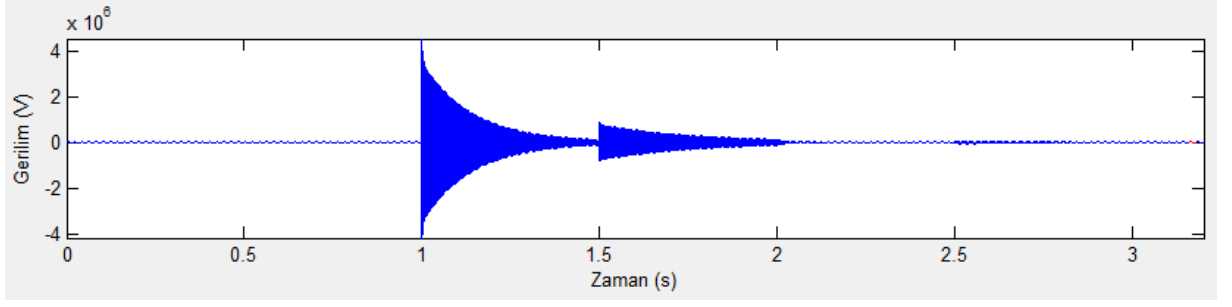
34,5kVbarasında;



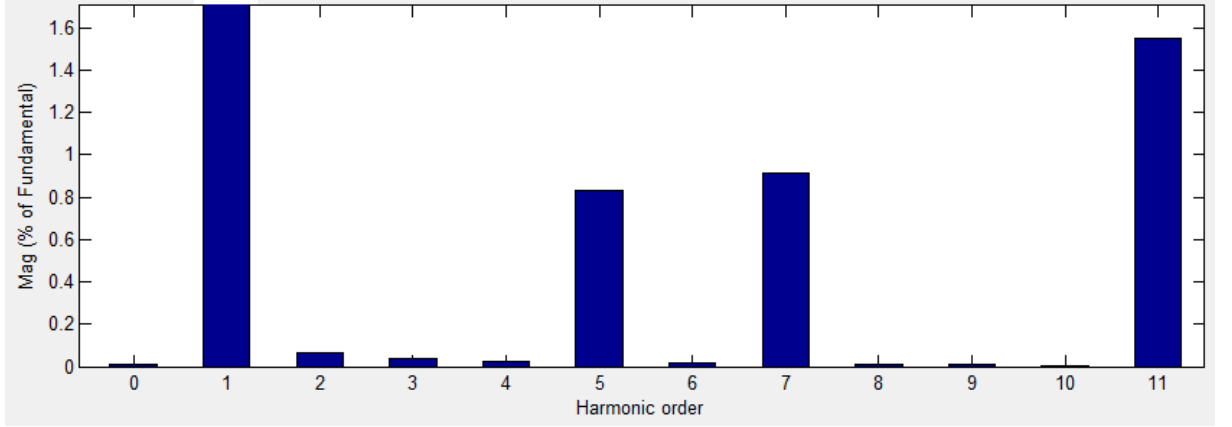
Şekil 5.77 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.78 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu



Şekil 5.79 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli



Şekil 5.80 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

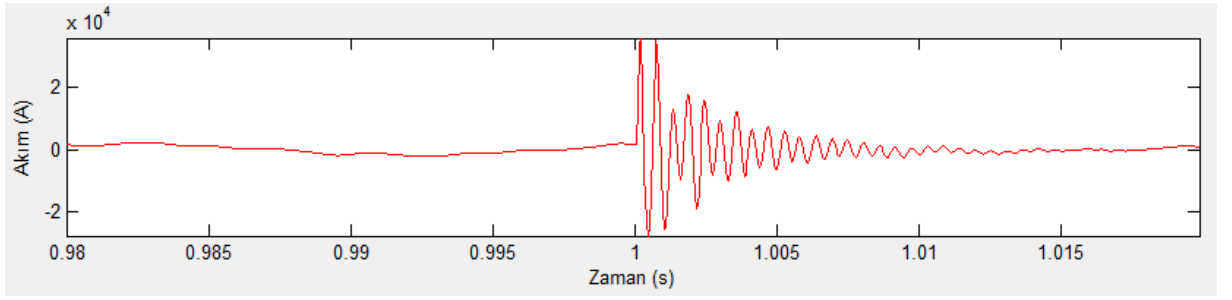
5.3.2.1 Simülasyonun $t=1$ Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi

Simülasyonun $t=1$ saniyesi süresinde 1. Kondansatör kademesinin devreye girmesi ile hem alçak gerilim hem de orta gerilim barasındaki akım ve gerilimdeki dalga değişim şekilleri ve değerlerinin tablosu aşağıda verilmiştir.

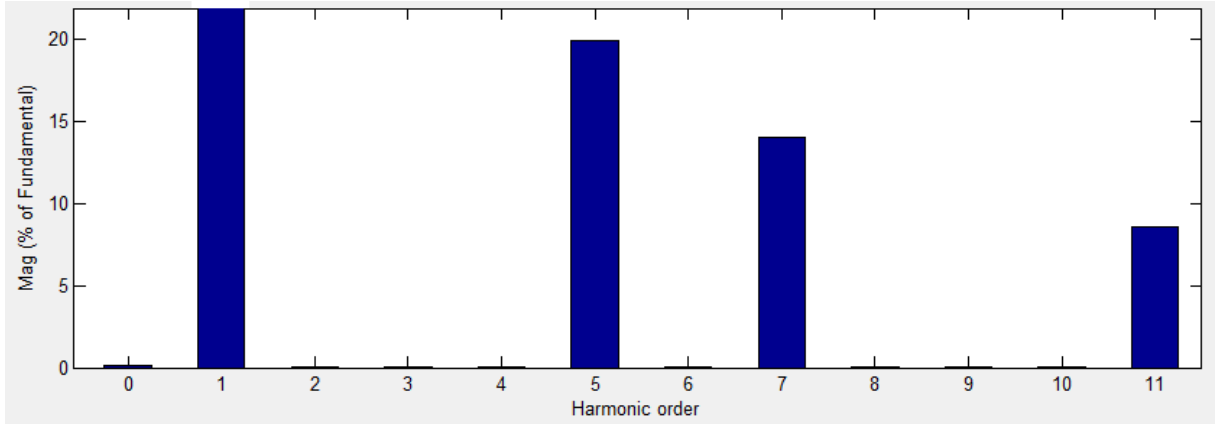
Çizelge 5.14 A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler

ÖLÇÜM NOKTASI	$\cos\theta$	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}} / I_{n_{tepe}}$
34,5 kV BARASI	0,976	4000 A	13,71 A	291,59
0,4 kV BARASI	0,80	25000 A	858,85 A	29,10

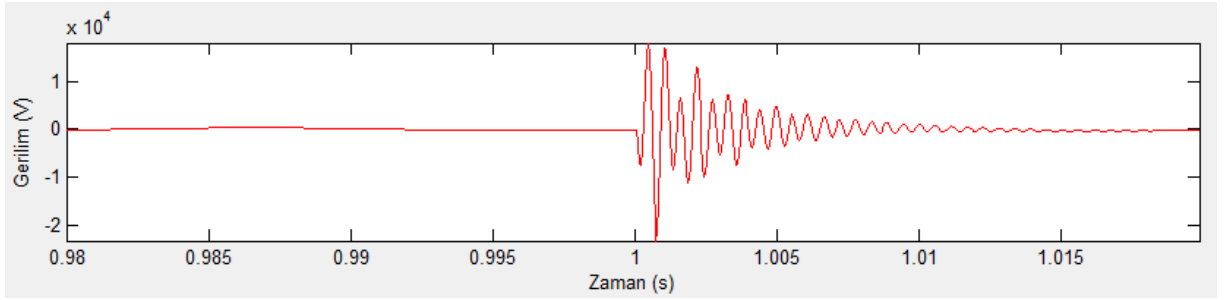
0,4 kVbarasında;



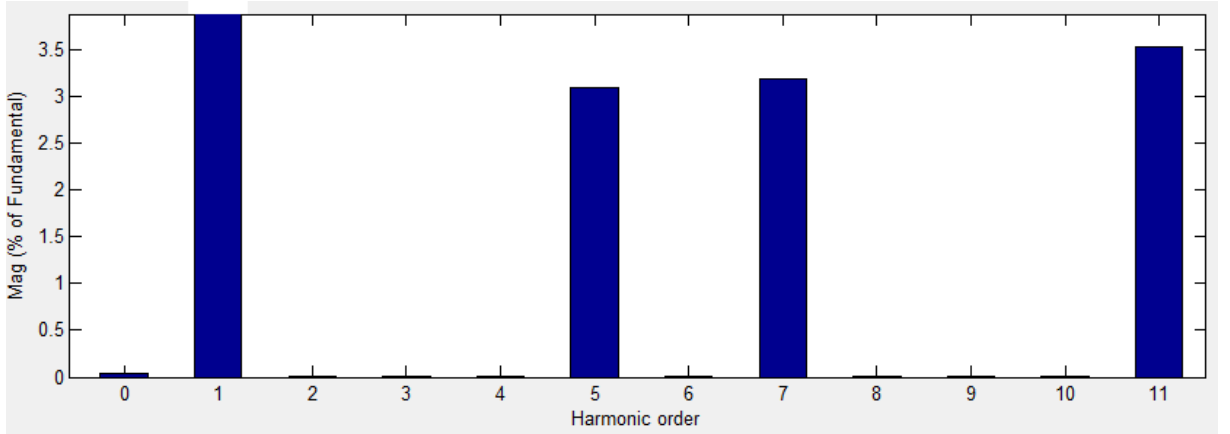
Şekil 5.81 Simülasyonun $t=1$ süresinde 0,4kVbarasındakiakımın dalga şekli



Şekil 5.82 Simülasyon $t=1$ süresinde 0,4 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu

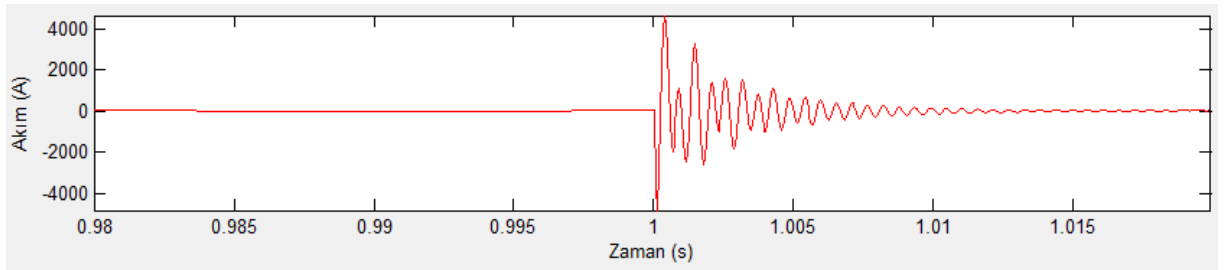


Şekil 5.83 Simülasyonun $t=1$ süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

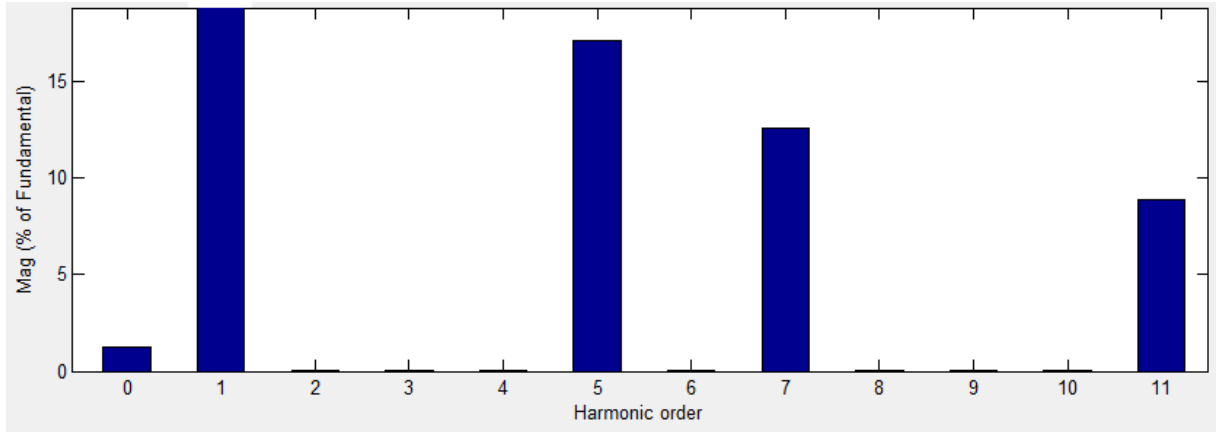


Şekil 5.84 Simülasyon t=1 süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

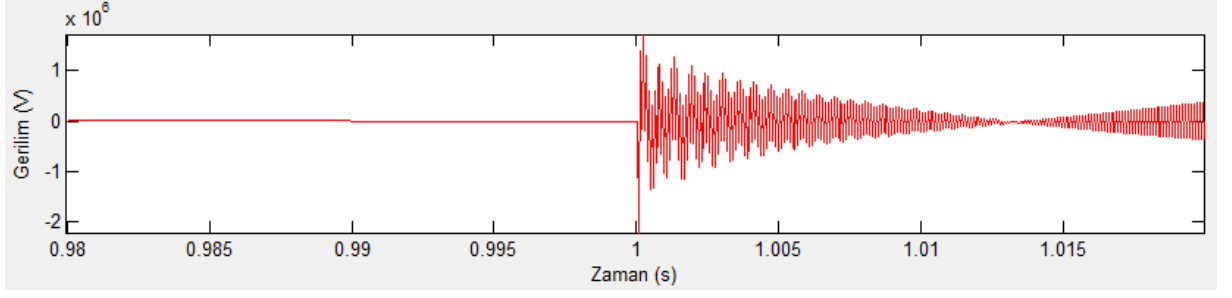
34,5kVbarasında;



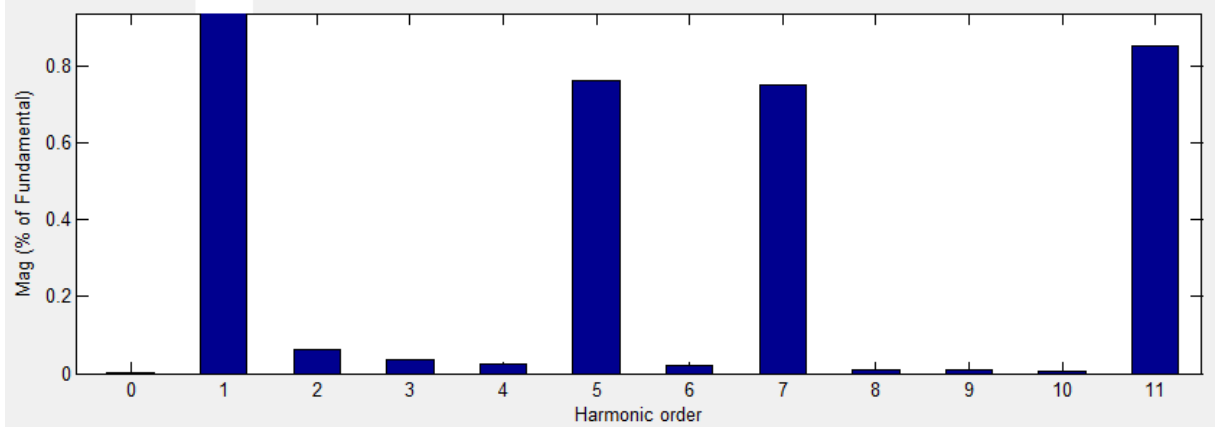
Şekil 5.85 Simülasyonun t=1 süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.86 Simülasyon t=1 süresinde 34,5 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu



Şekil 5.87 Simülasyonun t=1 süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli



Şekil 5.88 Simülasyon t=1 süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

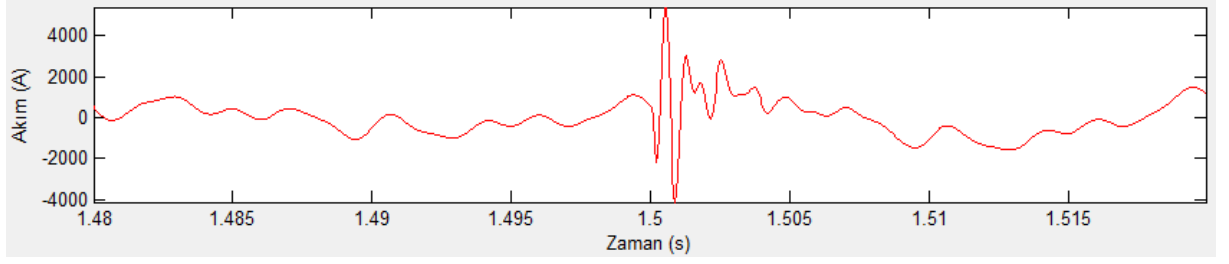
5.3.2.2 Simülasyonun t=1,5Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi

Simülasyonun t=1,5 saniyesi süresinde 2. Kondansatör kademesinin devreye girmesi ile hem alçak gerilim hem de orta gerilim barasındaki akım ve gerilimdeki dalga değişim şekilleri ve değerlerinin tablosu aşağıda verilmiştir.

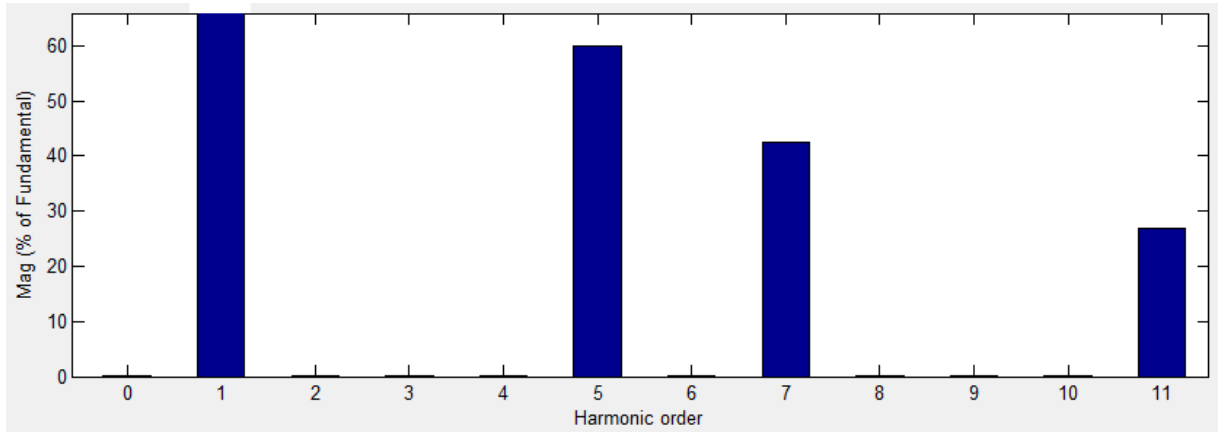
Çizelge 5.15 A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler

ÖLÇÜM NOKTASI	COS θ	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}} / I_{n_{tepe}}$
34,5 kV BARASI	0,976	125 A	21,39 A	5,84
0,4 kV BARASI	0,8	5000 A	1704,12 A	2,93

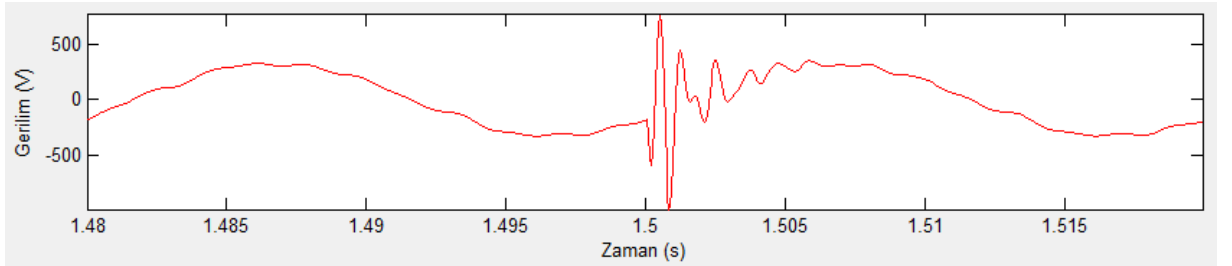
0,4 kVbarasında;



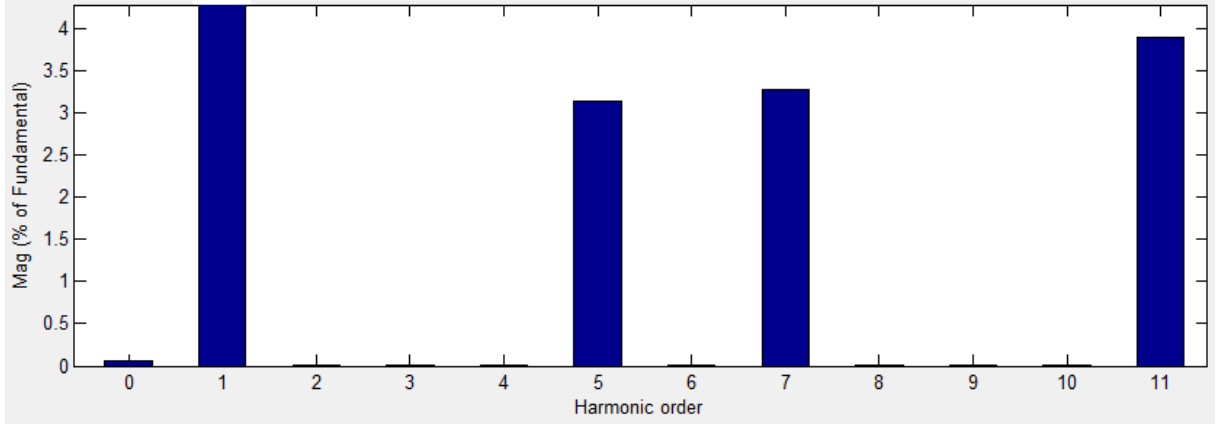
Şekil 5.89 Simülasyonun t=1,5 süresinde 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.90 Simülasyon t=1,5 süresinde 0,4 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu

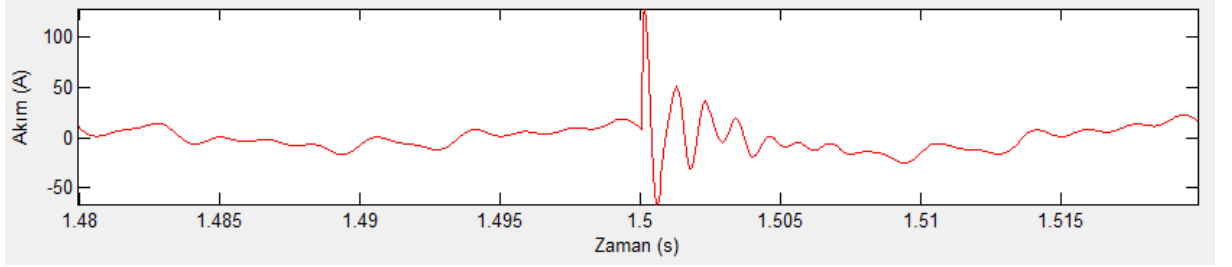


Şekil 5.91 Simülasyonun t=1,5 süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

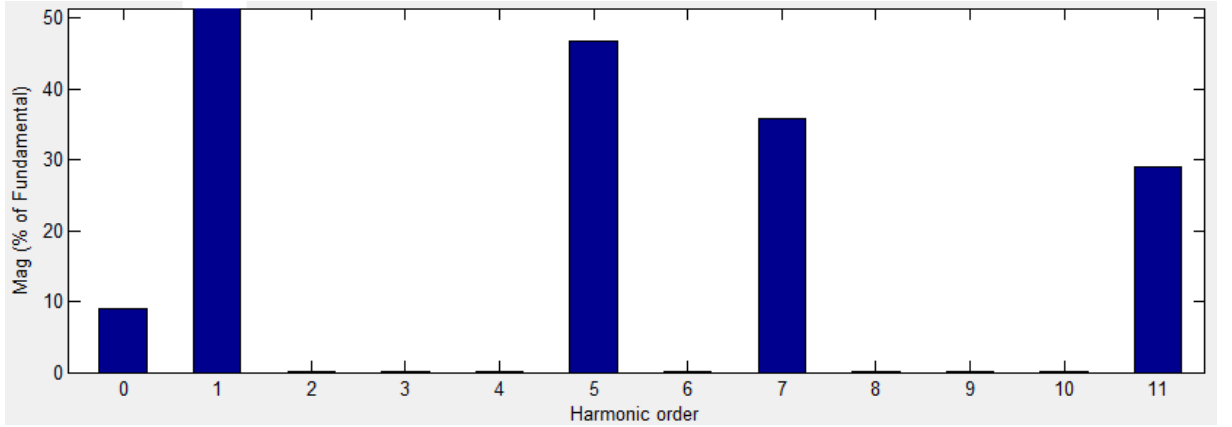


Şekil 5.92 Simülasyon $t=1,5$ süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

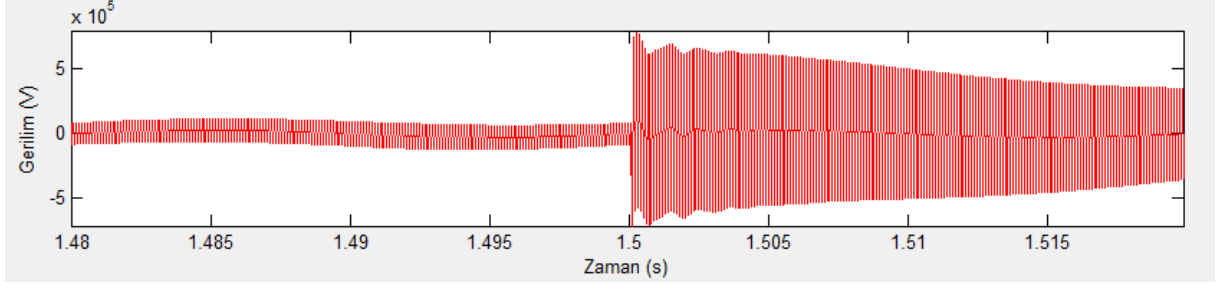
34,5kVbarasında;



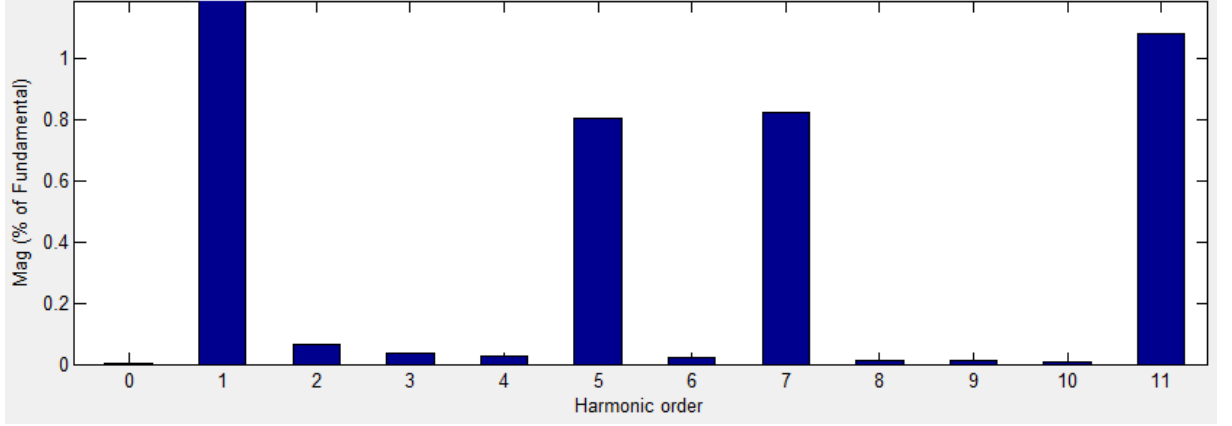
Şekil 5.93 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.94 Simülasyon $t=1,5$ süresinde 34,5 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu



Şekil 5.95 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli



Şekil 5.96 Simülasyon $t=1,5$ süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

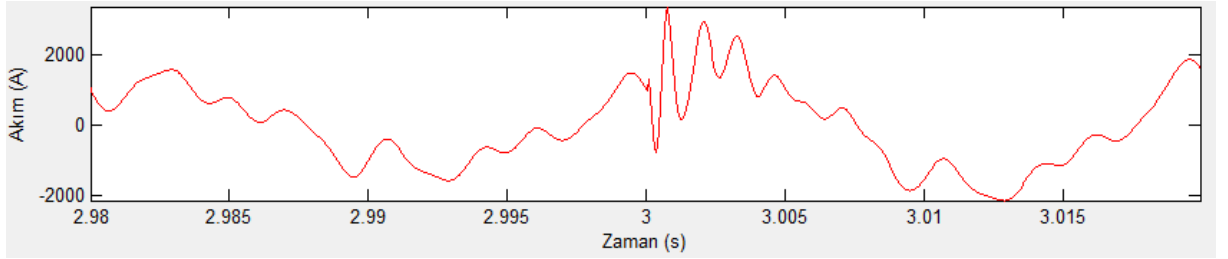
5.3.2.3 Simülasyonun $t=3$ Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi

Simülasyonun $t=3$ saniyesi süresinde 3. Kondansatör kademesinin devreye girmesi ile hem alçak gerilim hem de orta gerilim barasındaki akım ve gerilimdeki dalga değişim şekilleri ve değerlerinin tablosu aşağıda verilmiştir.

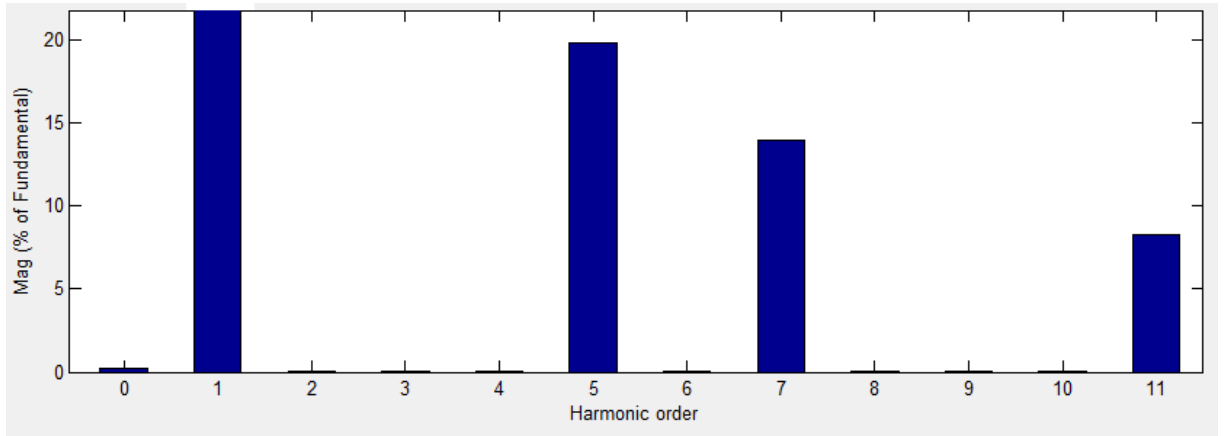
Çizelge 5.16 A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler

ÖLÇÜM NOKTASI	$\cos\theta$	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}} / I_{n_{tepe}}$
34,5 kV BARASI	0,976	4000 A	28,97 A	138,04
0,4 kV BARASI	0,8	2600 A	2538,51 A	1,02

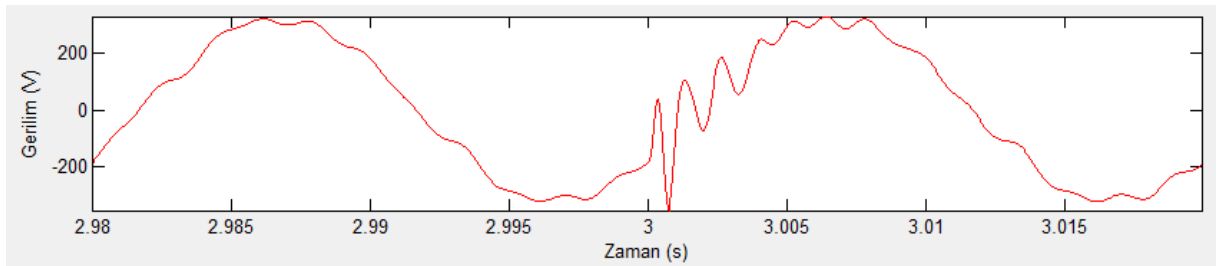
0,4 kVbarasında;



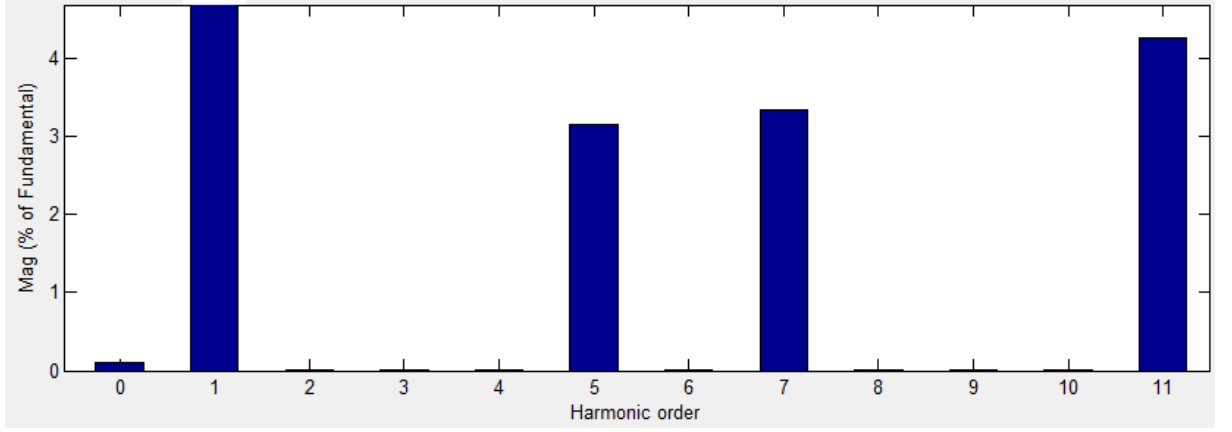
Şekil 5.97 Simülasyonun t=3 süresinde 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.98 Simülasyon t=3 süresinde 0,4 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu

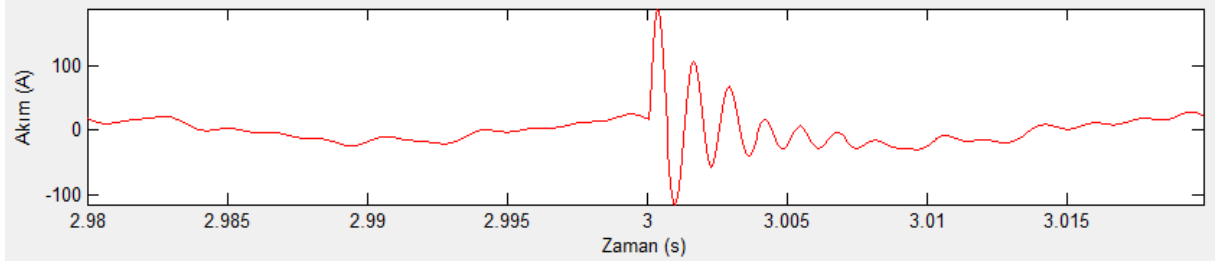


Şekil 5.99 Simülasyonun t=3 süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

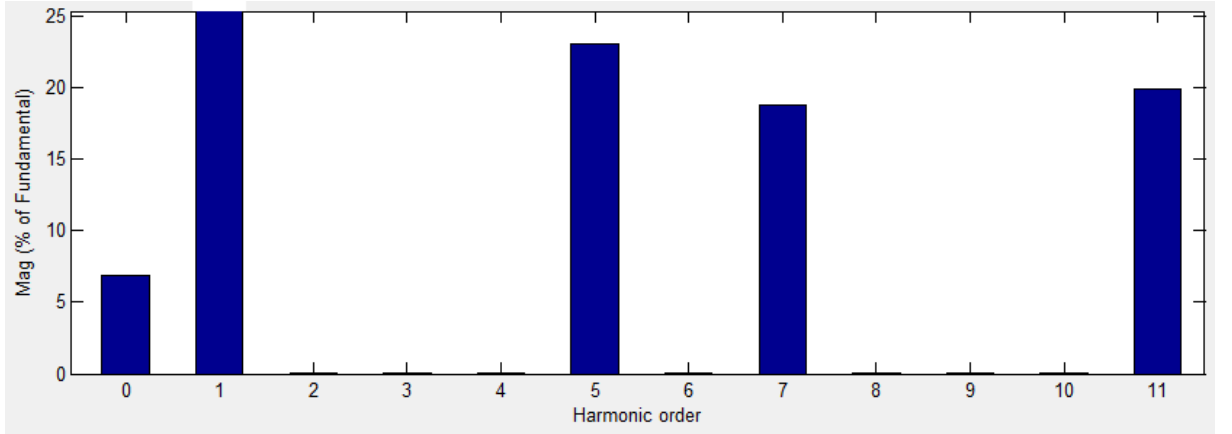


Şekil 5.100 Simülasyon t=3 süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

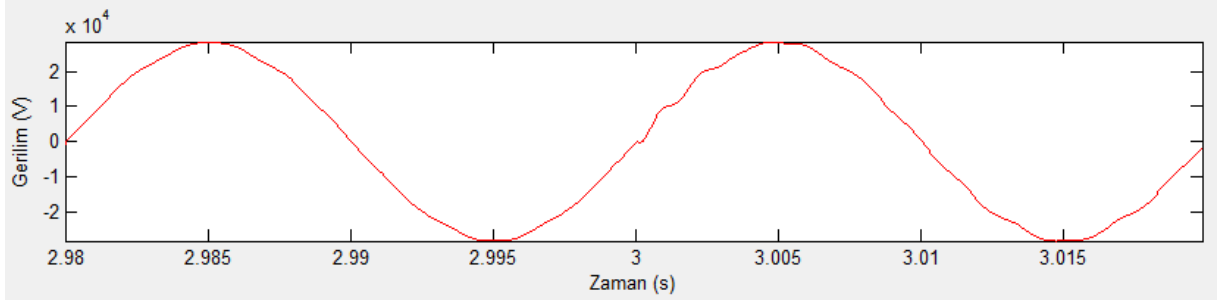
34,5kVbarasında;



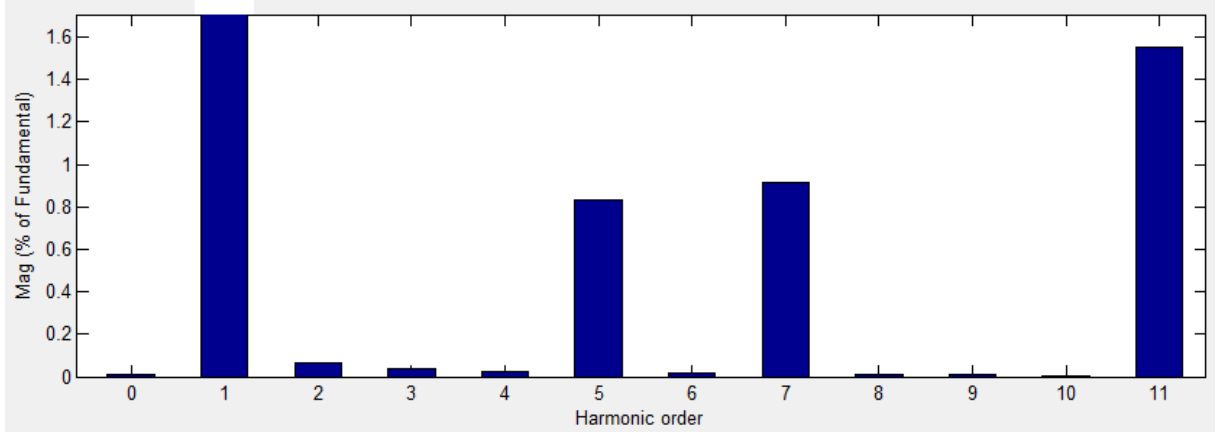
Şekil 5.101 Simülasyonun t=3 süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.102 Simülasyon t=3 süresinde 34,5 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu



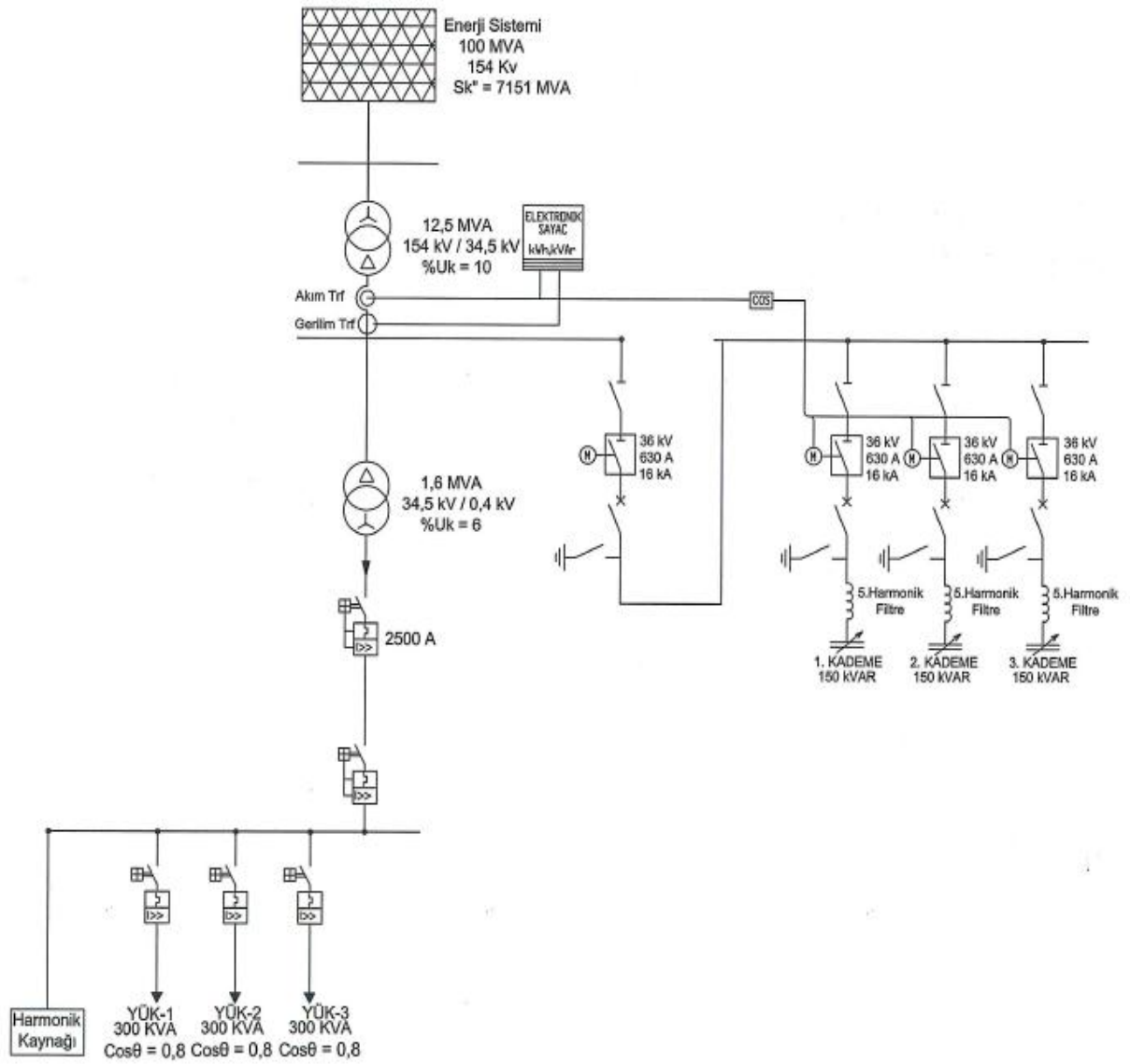
Şekil 5.103 Simülasyonun t=3 süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli



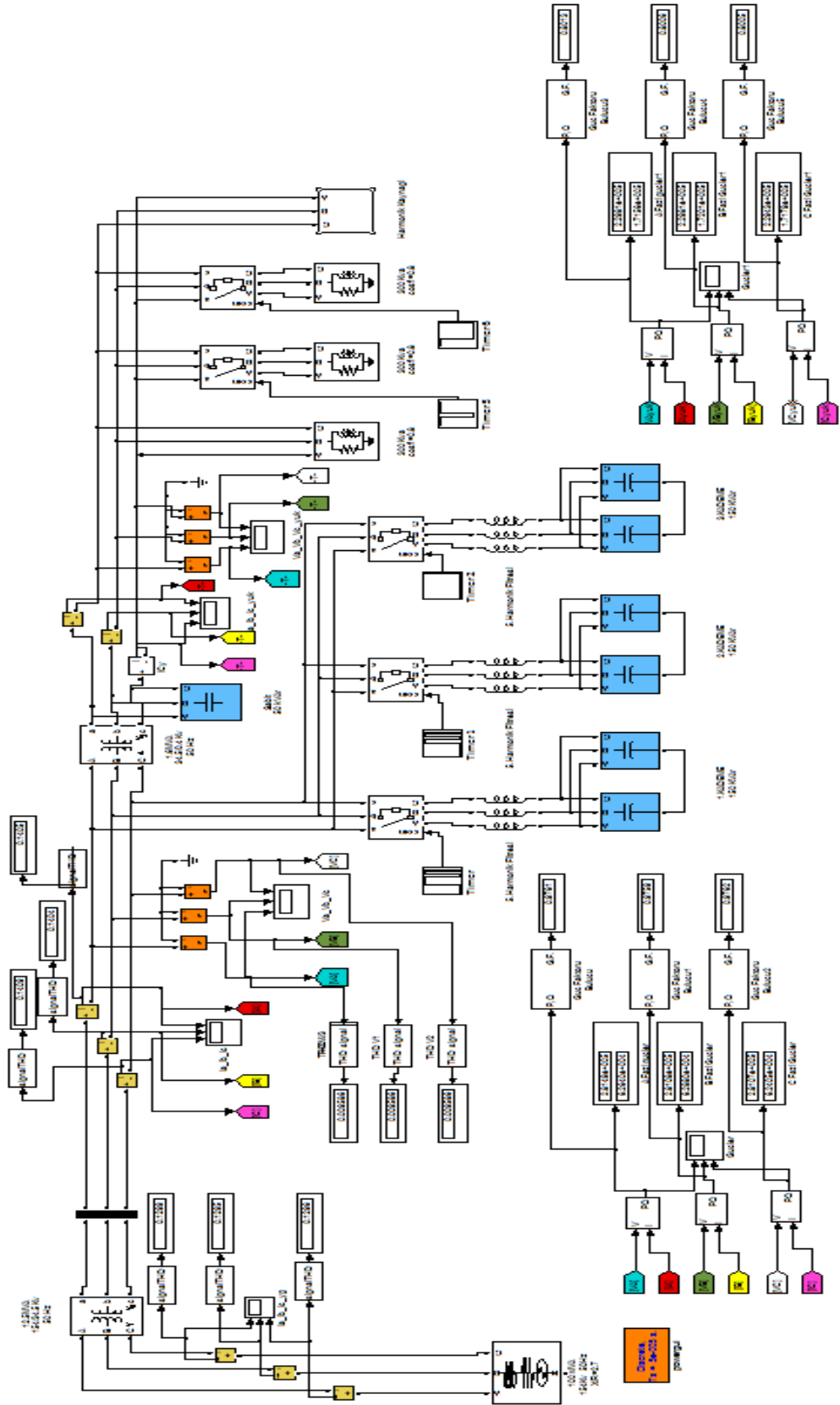
Şekil 5.104 Simülasyon t=3 süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

5.3.3 Orta GerilimBarasındaPasif Filtreli Klasik Kademeli Kompanzasyon (MOD 3)

Bu simülasyon çalışmasında, işletme gerilimi 34,5 kV, kurulu gücü 300 kVA ve $\cos \theta = 0,8$ değerindeki 3 adet yükten ve harmonik kaynağından oluşan bir sanayi tesisiningüç faktörünü düzeltmek için orta gerilim tarafında pasif filtreli olarak kademeli kompanzasyon yapılmıştır. Kurulan kompanzasyon sistemi; her biri 150 kVAR' lık çift yıldız bağlı kondansatör ünitelerinden oluşan 3 adet kademededen ve 5. harmonik filtresi reaktörlerinden oluşmaktadır. Tesiste harmonik kaynakları A.G. barasında bulunmaktadır. Etkin harmonik filtreleme harmoniklerinürettiğiibarada, A.G. barasında yapılmalıdır. Ancak bu çalışmanın temel konusunun O.G. tesislerinde reaktif güç kompanzasyon teknikleri olması ve O.G. barasında yapılan klasik kompanzasyon ile O.G. barasında yapılan pasif filtreli kompanzasyonun O.G. barasındaki etkilerini karşılaştırmak için simülasyon çalışmasında pasif filtreli kompanzasyon O.G. barasına bağlanmıştır. Şekil 5.105' de sistemin tek hat şeması ve Şekil 5.106' de sisteminin MATLAB Simulink programındaki devre şeması gösterilmiştir.



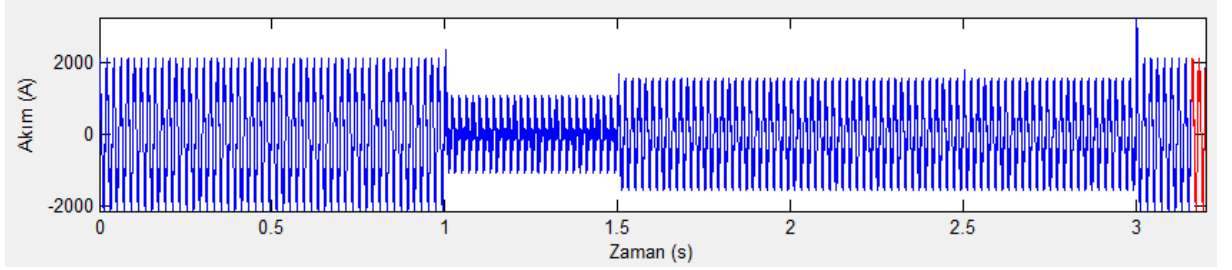
Şekil 5.105 Sistemin tek hat şeması (MOD 3)



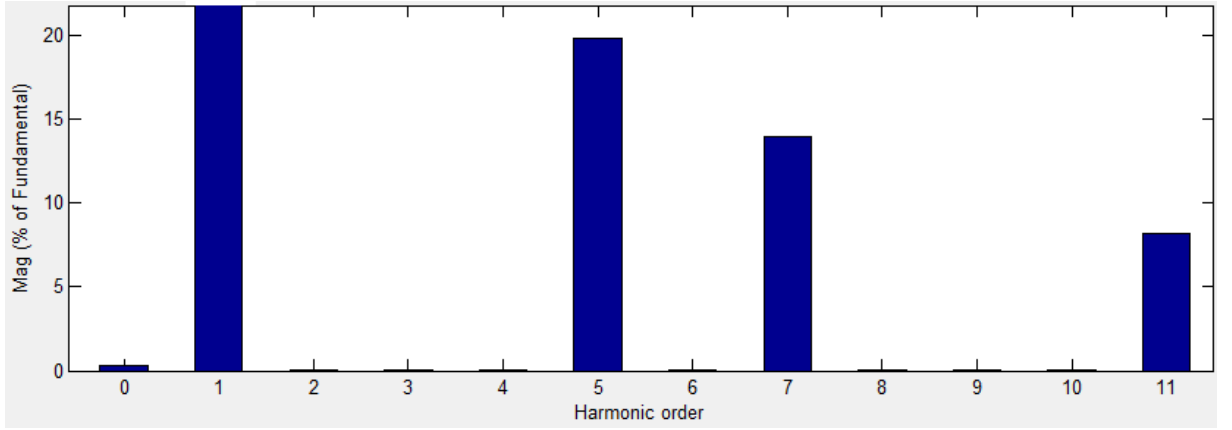
Şekil 5.106Sistemin devre şeması (MOD 3)

Simülasyon sonucunda 0,4 kV ve 34,5 kVbaralarındaki akımın ve gerilimin dalga şekilleri, kademelerin devreye girdiği zamanlara göre aşağıda verilmiştir.

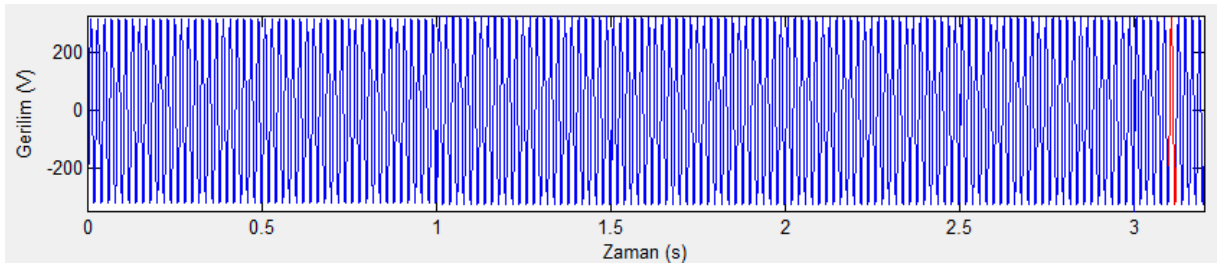
0,4 kVbarasında;



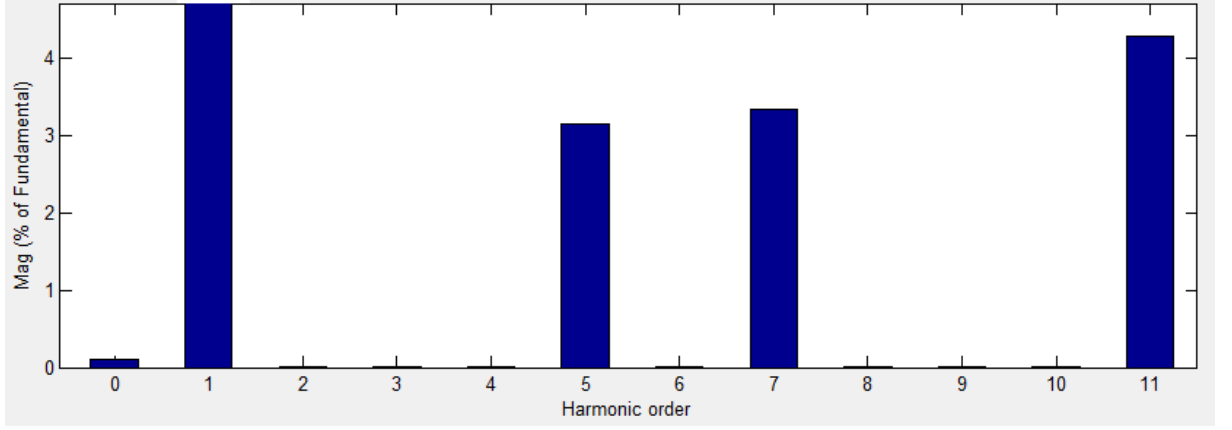
Şekil 5.107 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.108 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu

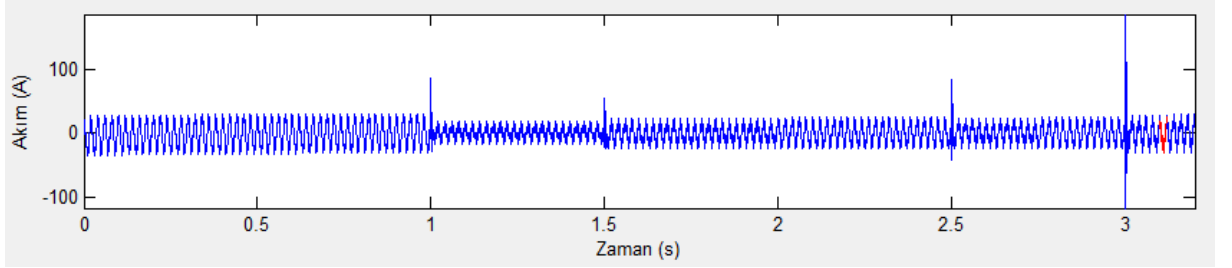


Şekil 5.109 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

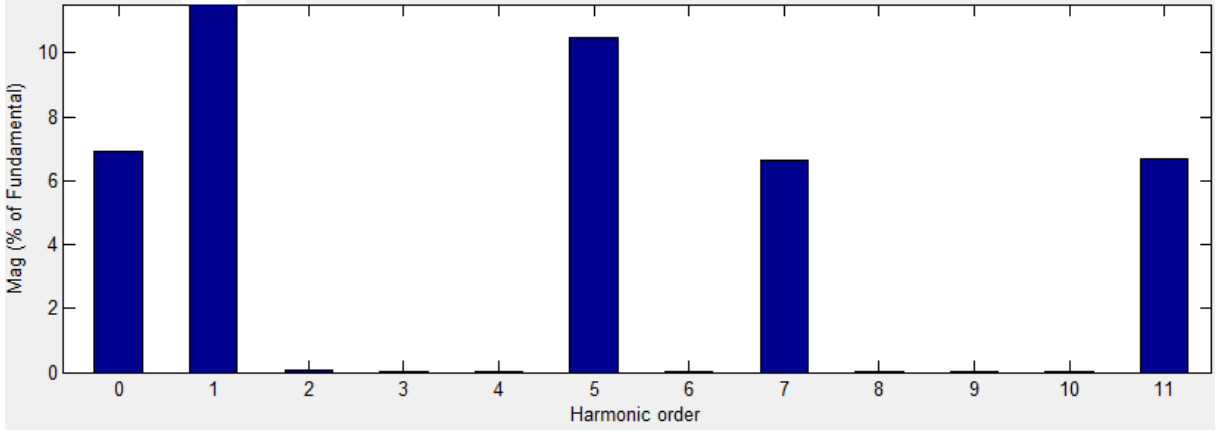


Şekil 5.110 Simülasyon süresi boyunca 0,4 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

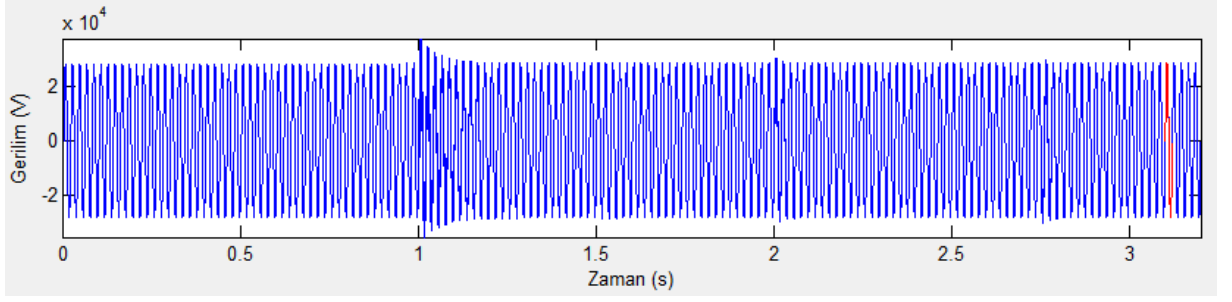
34,5kVbarasında;



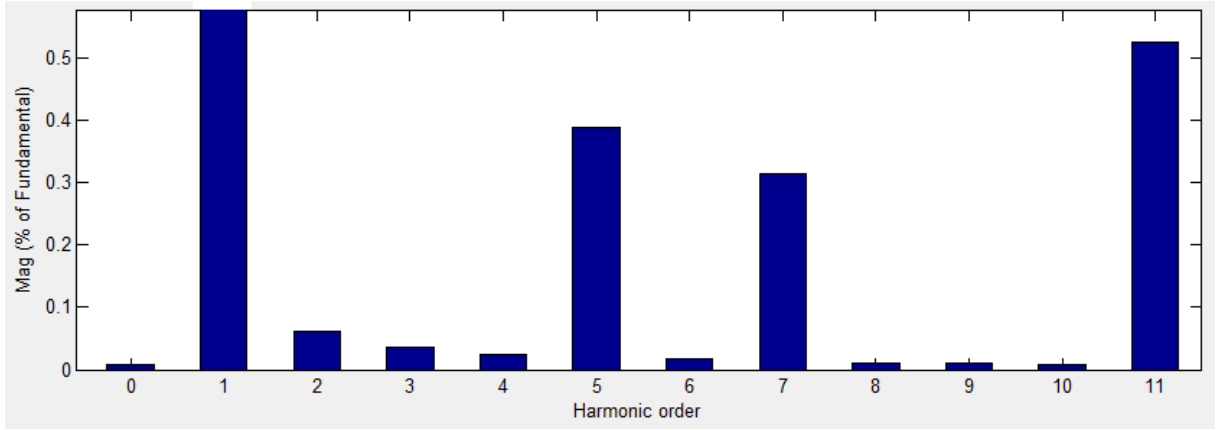
Şekil 5.111 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.112 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu



Şekil 5.113 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli



Şekil 5.114 Simülasyon süresi boyunca 34,5 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

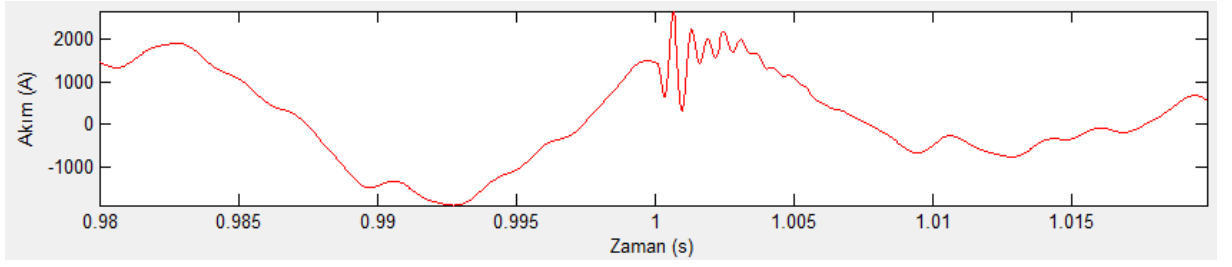
5.3.3.1 Simülasyonun $t=1$ Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi

Simülasyonun $t=1$ saniyesi süresinde 1. Kondansatör kademesinin devreye girmesi ile hem alçak gerilim hem de orta gerilim barasındaki akım ve gerilimdeki dalga değişim şekilleri ve değerlerinin tablosu aşağıda verilmiştir.

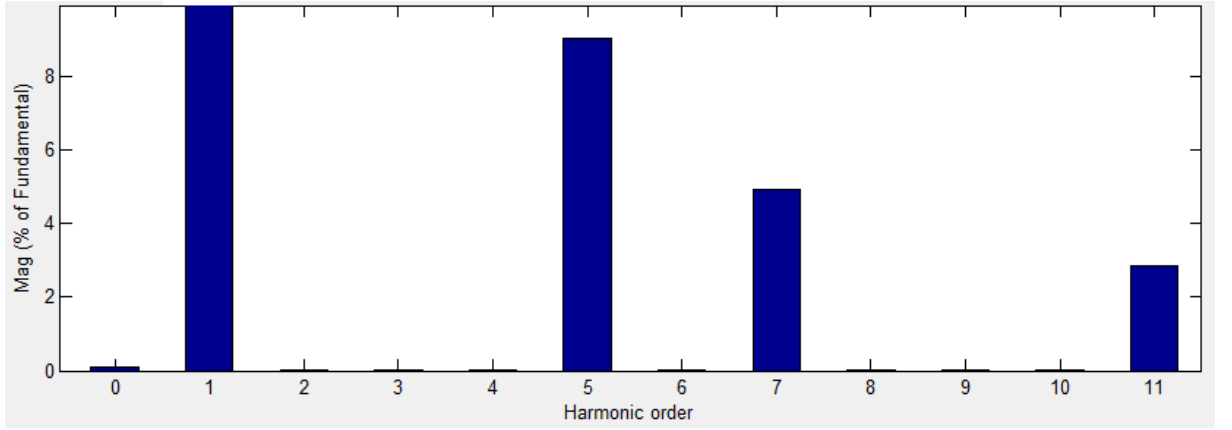
Çizelge 5.17 A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler

ÖLÇÜM NOKTASI	$\cos\theta$	$I_{p\text{tepe}}$	$I_{n\text{tepe}}$	$I_{p\text{tepe}} / I_{n\text{tepe}}$
34,5 kV BARASI	0,976	80 A	13,71 A	5,83
0,4 kV BARASI	0,8	2500 A	858,85 A	2,91

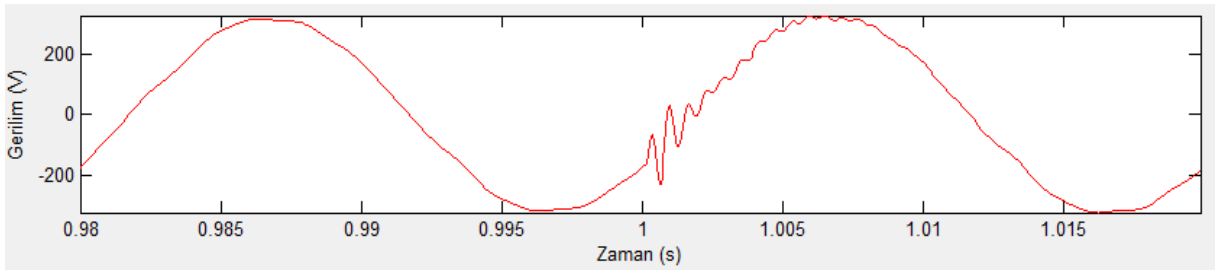
0,4 kVbarasında;



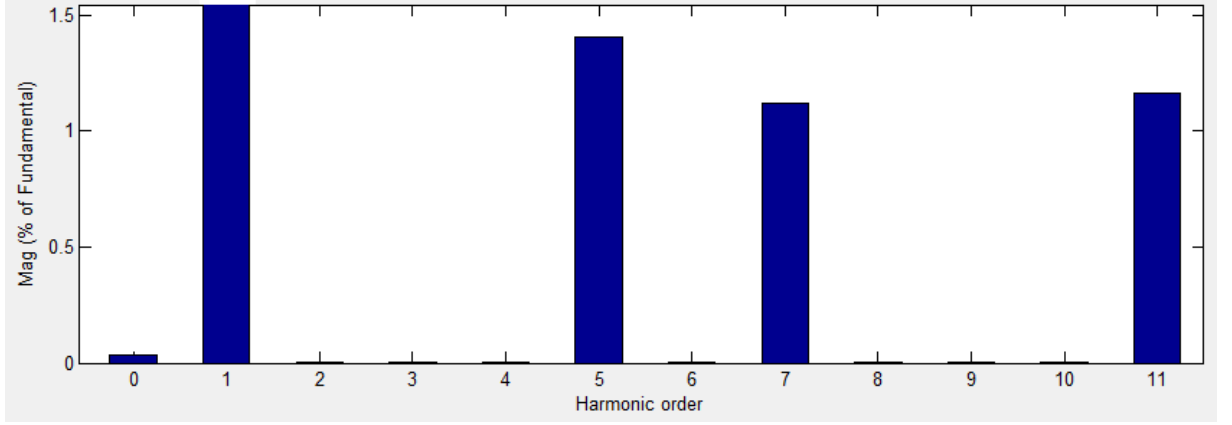
Şekil 5.115 Simülasyonun t=1 süresinde 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.116 Simülasyon t=1 süresinde 0,4 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu

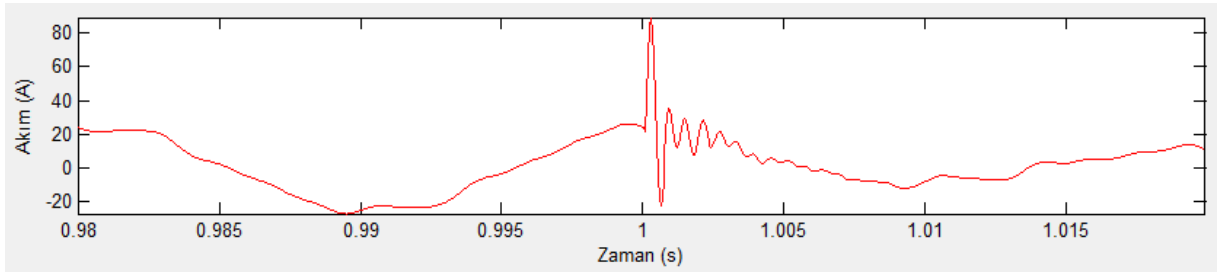


Şekil 5.117 Simülasyonun t=1 süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

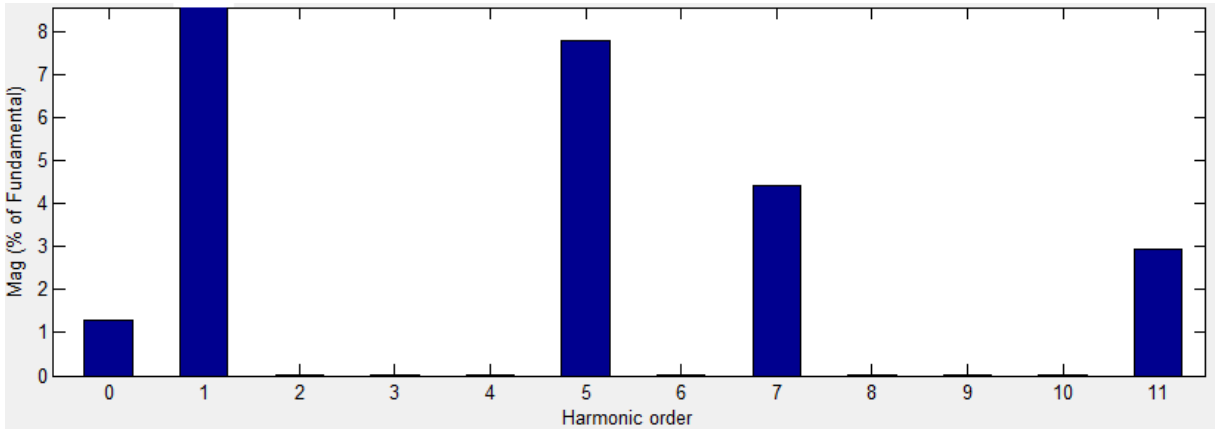


Şekil 5.118 Simülasyon t=1 süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

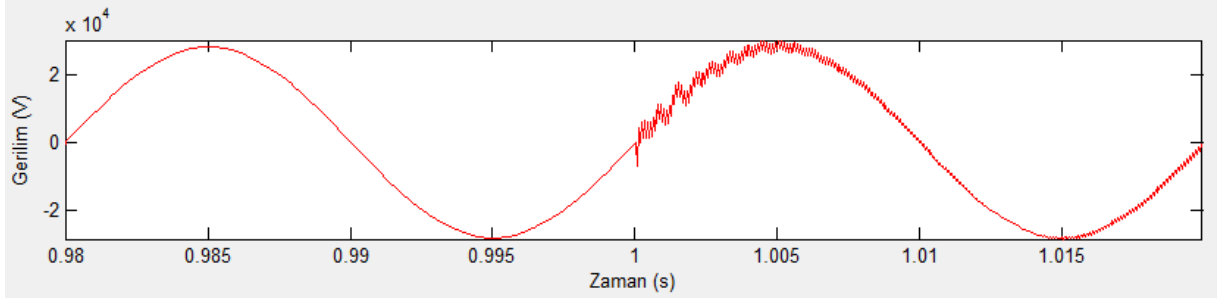
34,5kVbarasında;



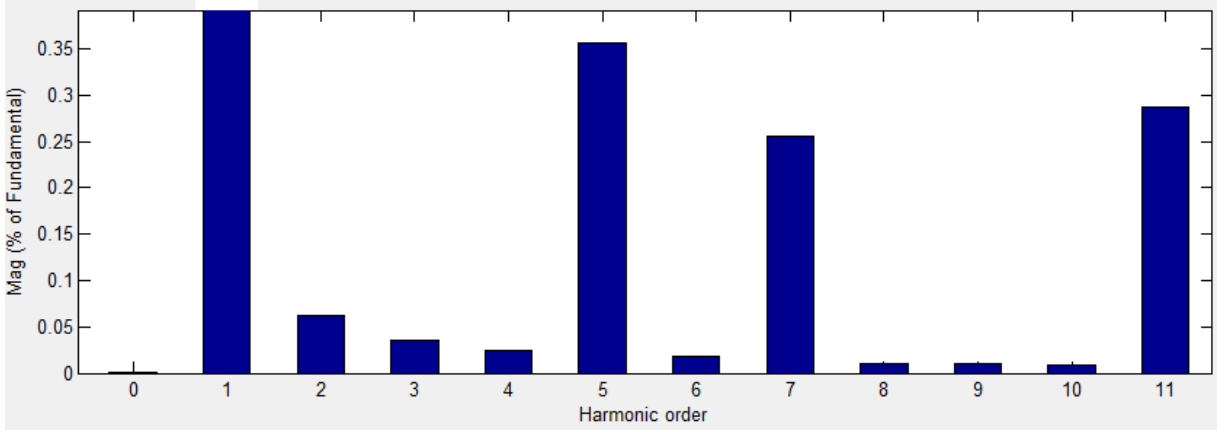
Şekil 5.119 Simülasyonun t=1 süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.120 Simülasyon t=1 süresinde 34,5 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu



Şekil 5.121 Simülasyonun t=1 süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli



Şekil 5.122 Simülasyon t=1 süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

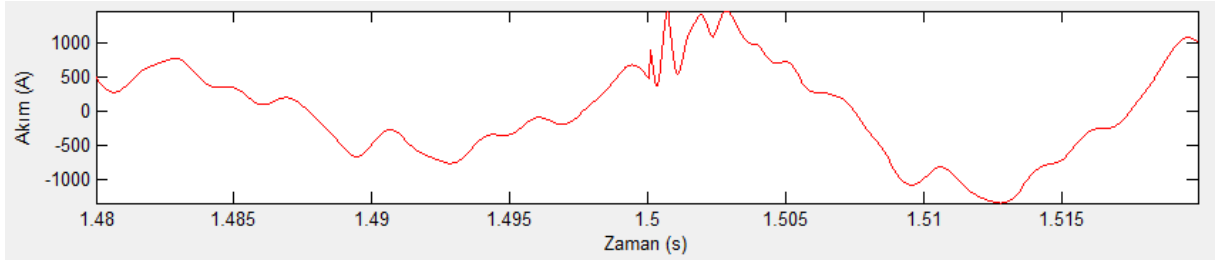
5.3.3.2 Simülasyonun t=1,5Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi

Simülasyonun t=1,5 saniyesi süresinde 2. Kondansatör kademesinin devreye girmesi ile hem alçak gerilim hem de orta gerilim barasındaki akım ve gerilimdeki dalga değişim şekilleri ve değerlerinin tablosu aşağıda verilmiştir.

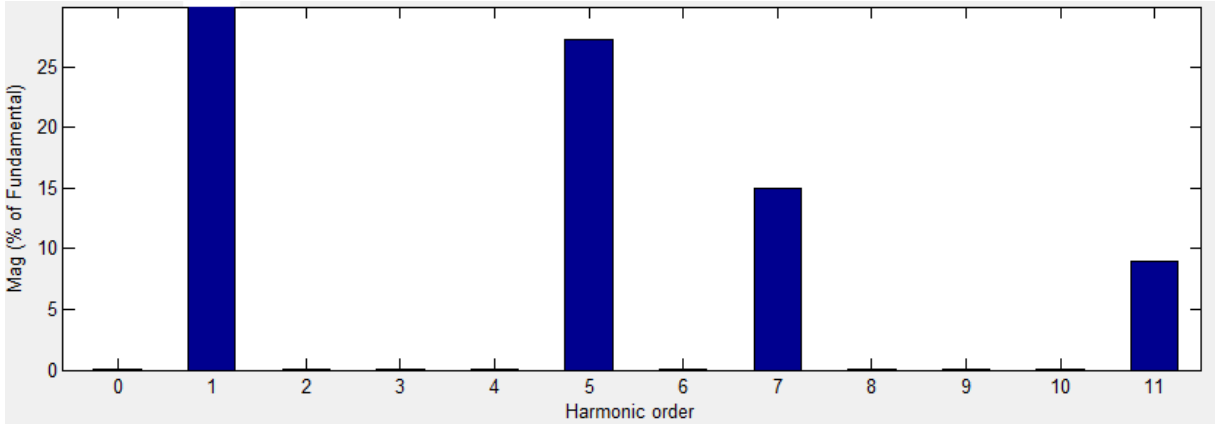
Çizelge 5.18 A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler

ÖLÇÜM NOKTASI	COS θ	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}} / I_{n_{tepe}}$
34,5 kV BARASI	0,976	60 A	21,39 A	2,8
0,4 kV BARASI	0,8	1710 A	1704,12 A	1

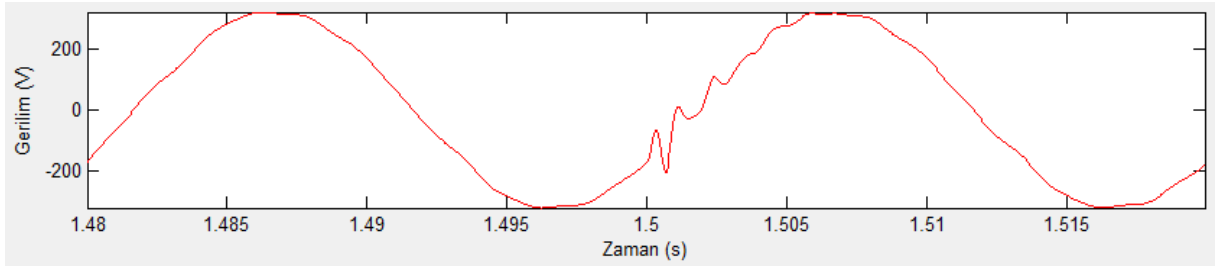
0,4 kVbarasında;



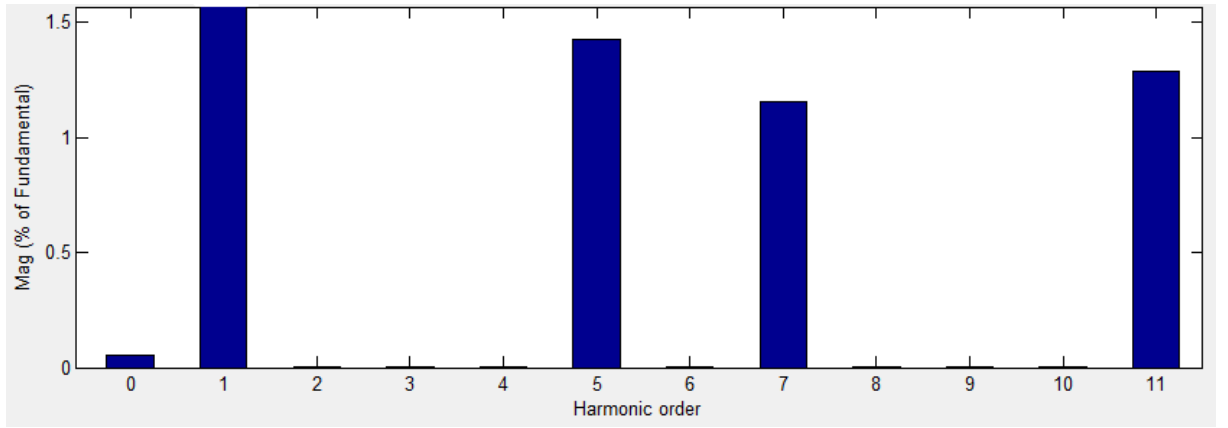
Şekil 5.123 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.124 Simülasyon $t=1,5$ süresinde 0,4 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu

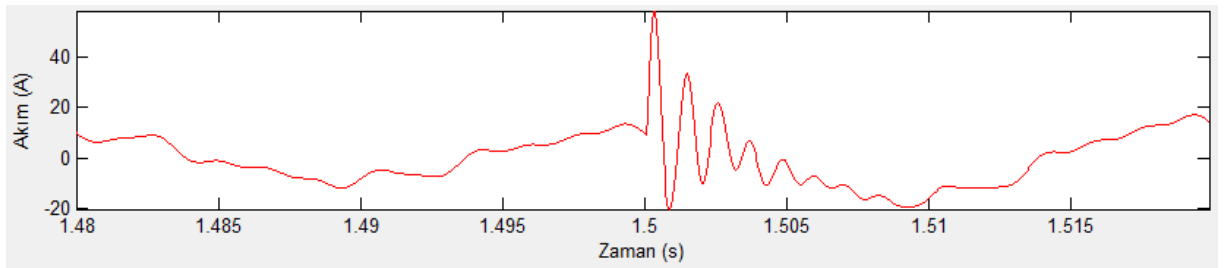


Şekil 5.125 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

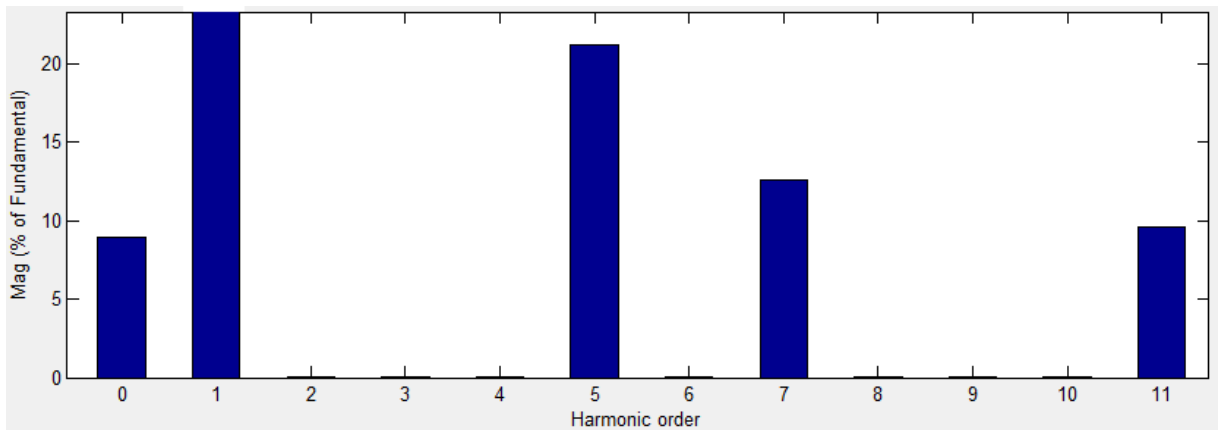


Şekil 5.126 Simülasyon $t=1,5$ süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

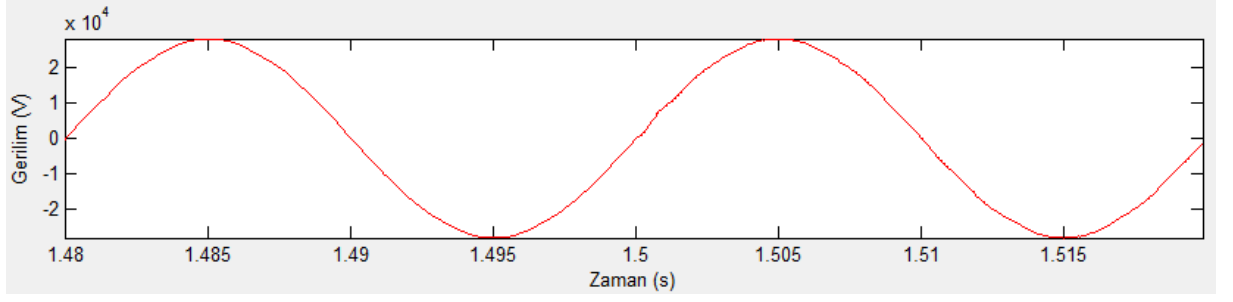
34,5kVbarasında;



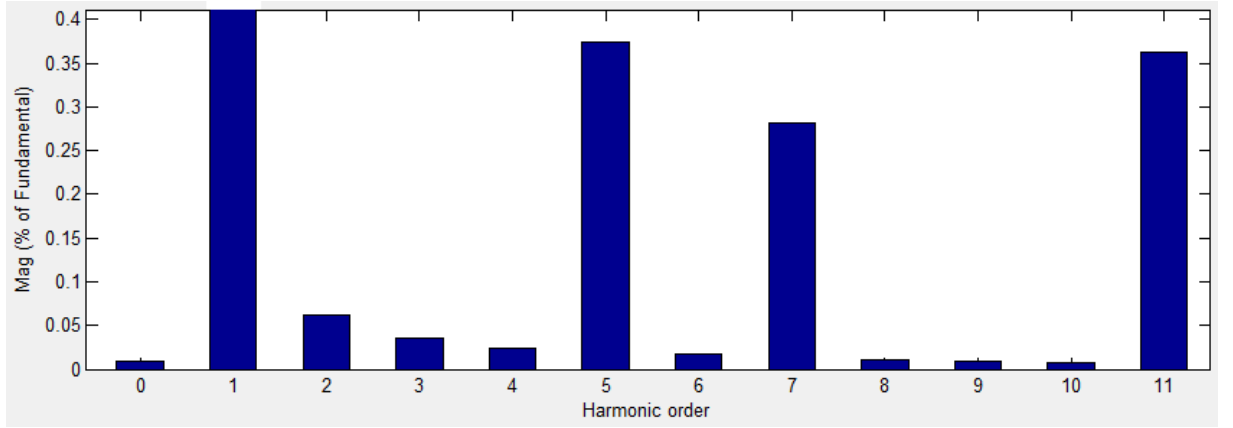
Şekil 5.127 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.128 Simülasyon $t=1,5$ süresinde 34,5 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu



Şekil 5.129 Simülasyonun $t=1,5$ süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli



Şekil 5.130 Simülasyon $t=1,5$ süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

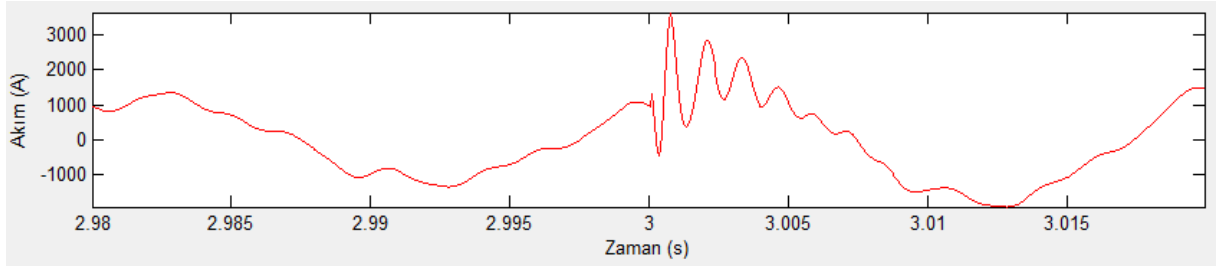
5.3.3.3 Simülasyonun $t=3$ Saniyesi Süresinde Oluşan Transient Akımların İncelenmesi

Simülasyonun $t=3$ saniyesi süresinde 3. Kondansatör kademesinin devreye girmesi ile hem alçak gerilim hem de orta gerilim barasındaki akım ve gerilimdeki dalga değişim şekilleri ve değerlerinin tablosu aşağıda verilmiştir.

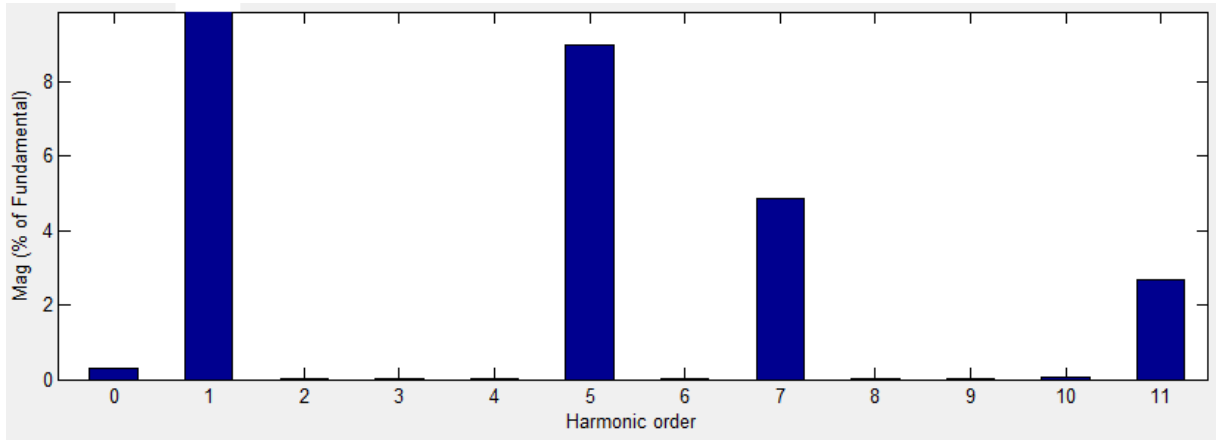
Çizelge 5.19 A.G. ve O.G. baralarından ölçülen değerler

ÖLÇÜM NOKTASI	$\cos\theta$	$I_{p\text{tepe}}$	$I_{n\text{tepe}}$	$I_{p\text{tepe}} / I_{n\text{tepe}}$
34,5 kV BARASI	0,976	180 A	28,97 A	6,21
0,4 kV BARASI	0,8	3500 A	2538,51 A	1,37

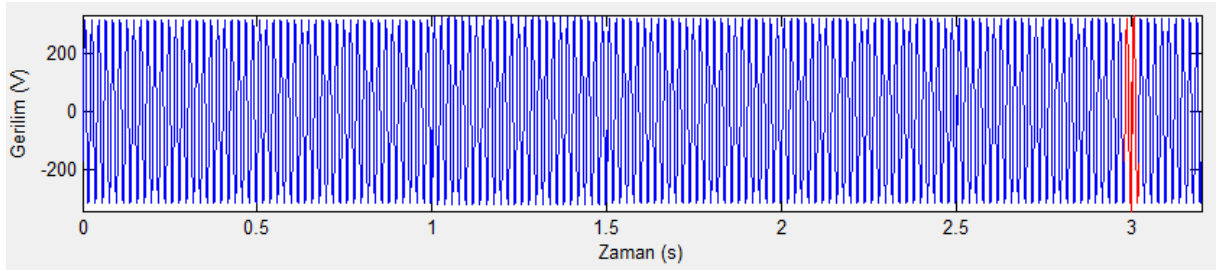
0,4 kVbarasında;



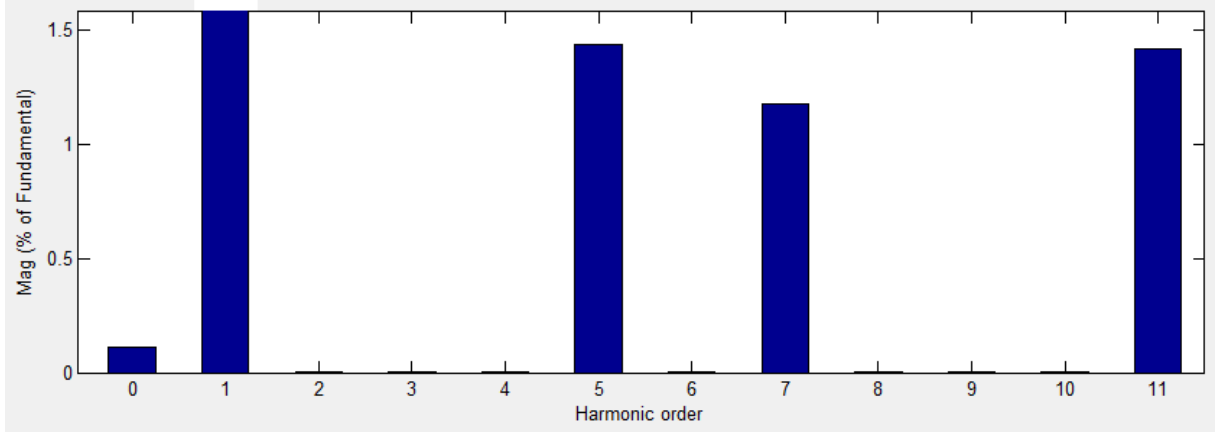
Şekil 5.131 Simülasyonun t=3 süresinde 0,4 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.132 Simülasyon t=3 süresinde 0,4 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu

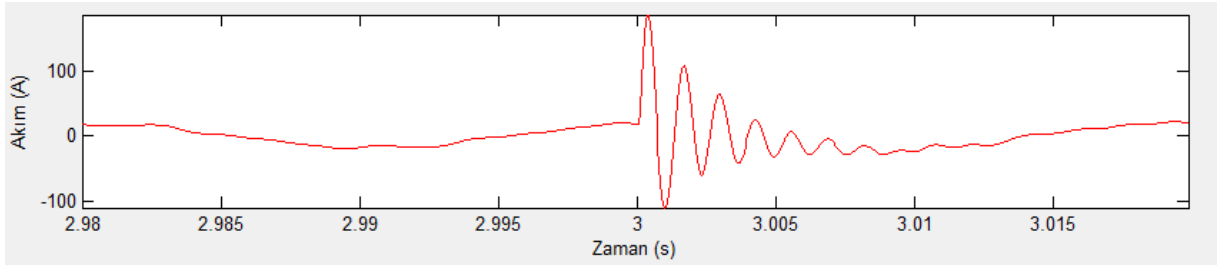


Şekil 5.133 Simülasyonun t=3 süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli

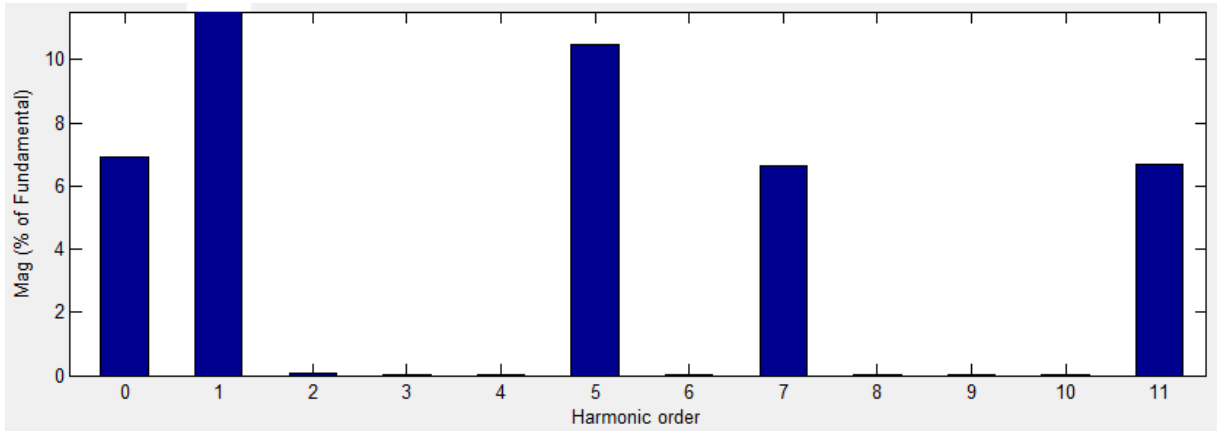


Şekil 5.134 Simülasyon t=3 süresinde 0,4 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

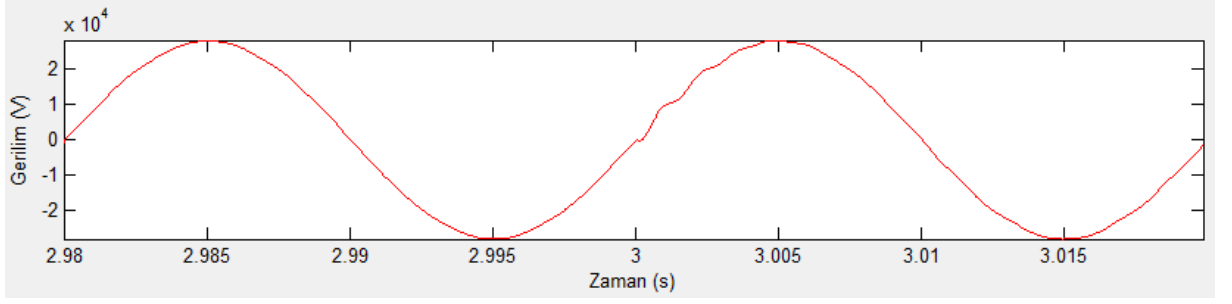
34,5kVbarasında;



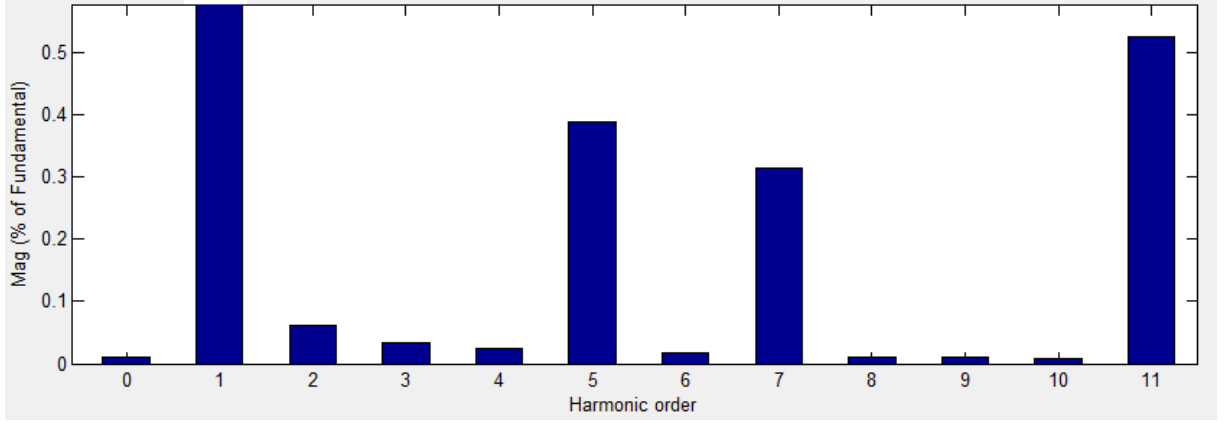
Şekil 5.135 Simülasyonun t=3 süresinde 34,5 kVbarasındaki akımın dalga şekli



Şekil 5.136 Simülasyon t=3 süresinde 34,5 kVbarasındaki akım harmonikspektrumu



Şekil 5.137 Simülasyonun t=3 süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilimin dalga şekli



Şekil 5.138 Simülasyon t=3 süresinde 34,5 kVbarasındaki gerilim harmonikspektrumu

5.3.4 Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çizelge 5.20’ deki değerlere göre, simülasyonların t=1 saniyesi süresinde kademelerin devreye girmesiyle oluşan maksimum akımın, nominal akımın tepe değerine oranı yani I_{Ptepe} / I_{Ntepe} değerlerinin karşılaştırılması sonucu;

O.G. barasında klasik kompanzasyonun yapıldığı MOD 2’ de I_{Ptepe} / I_{Ntepe} değeri 291,59 iken A.G. barasında klasik kompanzasyonun yapıldığı MOD 1’ de aynı değer 4,37’ dir. O.G.barasındayapılan kompanzasyonda kesici kapatıldığı anda (kompanzasyon devreye girdiği anda) A.G.’ deki kompanzasyon kademesinin devreye girdiği ana göre çok yüksek transient akımı çekilmektedir. Bunun sebebi O.G. barasının kısa devre gücünün yüksek (kısa devre empedansının düşük) olmasıdır.

O.G. barasında klasik kompanzasyonun yapıldığı MOD 2’ de I_{Ptepe} / I_{Ntepe} değeri 291,59 iken O.G. barasında pasif filtreli kompanzasyonun yapıldığı MOD 3’ de aynı değer 5,83’ dür. O.G.barasındafiltresiz yapılan kompanzasyonda kesici kapatıldığı anda (kompanzasyon devreye girdiği anda) oluşan yüksek transient akımı, O.G.barasında pasif filtreli kompanzasyon yapılması halinde sönümlenmekte daha düşük değerler

almaktadır. Bunun sebebi harmonikleri filtre etmek amacı ile kullanılan filtre reaktörlerinin etkin inrush reaktörleri olarak görev yapmasıdır.

Çizelge 5.20 Simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

A.G. barasında Filtresiz Klasik Kademeli Kompanzasyon (MOD 1)	t=1 Saniye	ÖLÇÜM NOKTASI	$\cos \theta$	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}}/I_{n_{tepe}}$
		34,5 kV BARASI	0,9738	60 A	13,71 A	4,37
		0,4 kV BARASI	0,9925	8000 A	695,79 A	11,49
	t=1,5Saniye	ÖLÇÜM NOKTASI	$\cos \theta$	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}}/I_{n_{tepe}}$
		34,5 kV BARASI	0,9738	60 A	21,66 A	2,77
		0,4 kV BARASI	0,9925	6200 A	1388,61 A	4,46
	t=3 Saniye	ÖLÇÜM NOKTASI	$\cos \theta$	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}}/I_{n_{tepe}}$
		34,5 kV BARASI	0,9738	130 A	29,61 A	4,39
		0,4 kV BARASI	0,9925	20000 A	2076,06 A	9,63

Çizelge 5. 20 Simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması (Devamı)

O.G. barasında Filtresiz Klasik Kademeli Kompanzasyon (MOD 2)	t=1 Saniye	ÖLÇÜM NOKTASI	Cos θ	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}}/I_{n_{tepe}}$
		34,5 kV BARASI	0,976	4000 A	13,71 A	291,59
		0,4 kV BARASI	0,8	25000 A	858,85 A	29,10
	t=1,5Saniye	ÖLÇÜM NOKTASI	Cos θ	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}}/I_{n_{tepe}}$
		34,5 kV BARASI	0,976	125 A	21,39 A	5,84
		0,4 kV BARASI	0,8	5000 A	1704,12 A	2,93
	t=3 Saniye	ÖLÇÜM NOKTASI	Cos θ	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}}/I_{n_{tepe}}$
		34,5 kV BARASI	0,976	4000 A	28,97 A	138,04
		0,4 kV BARASI	0,8	2600 A	2538,51 A	1,02

Çizelge 5. 20 Simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması (Devamı)

O.G. barasında Pasif Filtreli Klasik Kademeli Kompanzasyon (MOD 3)	t=1 Saniye	ÖLÇÜM NOKTASI	Cos θ	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}}/I_{n_{tepe}}$
		34,5 kV BARASI	0,976	80 A	13,71 A	5,83
		0,4 kV BARASI	0,8	2500 A	858,85 A	2,91
	t=1,5Saniye	ÖLÇÜM NOKTASI	Cos θ	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}}/I_{n_{tepe}}$
		34,5 kV BARASI	0,976	60 A	21,39 A	2,8
		0,4 kV BARASI	0,8	1710 A	1704,12 A	1
	t=3 Saniye	ÖLÇÜM NOKTASI	Cos θ	$I_{p_{tepe}}$	$I_{n_{tepe}}$	$I_{p_{tepe}}/I_{n_{tepe}}$
		34,5 kV BARASI	0,976	180 A	28,97 A	6,21
		0,4 kV BARASI	0,8	3500 A	2538,51 A	1,37

O.G. barasında pasif filtreli kompanzasyon çalışmasına ait MOD 3 simülasyon sonuçları incelendiğinde; O.G. barasında filtresiz klasik kompanzasyon durumunda (MOD 2) $t=1$ s anında kompanzasyon kademesi devreye girdikten sonra O.G. barasında 5. harmonik gerilimi temel bileşen geriliminin %0.75'i iken, MOD 3'de O.G. barasına pasif filtre bağlanmasıyla O.G. barasında 5. harmonik gerilimi %0.35'e düşmektedir. Aynı durum diğer kademe girişlerinde de görülmektedir. Aşağıda Çizelge 5.21'de sistemde harmonik bileşenlerin mevcut olması halinde üç farklı işletme durumu için akım ve gerilime ait toplam harmonikdistorsiyonu değerleri verilmiştir. Simülasyon

sonuçlarından görüldüğü gibi O.G barasında klasik kompanzasyon yapıldığı zaman (MOD 2) O.G. barasında gerilimin THD değeri %2.08 iken O.G barasında pasif filtreli kompanzasyon yapıldığı zaman (MOD 3) O.G. barasında gerilimin THD değeri %0.95'e inmekte pasif filtre harmonikleri elimine etme etkisini göstermektedir.Yukarıda Çizelge 5.20'de görüldüğü gibi O.G.barasında klasik kompanzasyon yapıldığı zaman (MOD 2) kondansatör kademesi ilk devreye girdiği anda O.G. barasından çekilen transient akım sürekli halde çekilen akımın 291,59 katı iken O.G. barasında pasif filtreli kompanzasyon yapılması halinde (MOD 3) bu oran 5.83 değerine inmektedir.

Çizelge 5.21 Simülasyonların sonucunda ortaya çıkan THD_V ve THD_I değerlerinin karşılaştırılması

	THD_I	THD_V
A.G. Filtresiz Klasik Kademeli Kompanzasyon (MOD 1)	55,20	7,71
O.G. Filtresiz Klasik Kademeli Kompanzasyon (MOD 2)	35,7	2,08
O.G. Filtreli Klasik Kademeli Kompanzasyon (MOD 3)	14,06	0,95

Simülasyon sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, harmonik bileşenlerin bulunduğu bir tesiste O.G. barasındankompanzasyon yapılmasına karar verilmesi halinde klasik kompanzasyon yerine pasif filtreli kompanzasyonun tercih edilmesinin daha uygun olduğu, böylece hem harmonikdistorsiyonu değerinin düşürülerek enerji kalitesinin iyileştiği ve hem de filtre reaktörünün etkin olarak sönümleme yapması sebebiyle kondansatörlerin ilk devreye girme anında O.G. sisteminden çektiği transient akım değerinin düşürülmesiyle kompanzasyontesisinin O.G. sistemine zarar vermesinin önleniği sonucu ortaya çıkmaktadır.

ORTA GERİLİM SİSTEMİNDE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU İLE ALÇAK GERİLİM SİSTEMİNDE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU ARASINDA EKONOMİK KARŞILAŞTIRMA

Bu bölümde, bir önceki bölümde simülasyonlarını gerçekleştirdiğimiz O.G. barasındaklasik kademeli filtresiz kompanzasyon sistemi ile A.G. barasındaklasik kademeli filtresiz kompanzasyon sistemi arasındakompanzasyon sisteminin maliyeti yönüyle ekonomik karşılaştırma yapılmıştır. Aşağıdaki çizelgelerde her iki durumun yatırım maliyetleri malzemelerin 2011 yılı elektrik piyasasındaki güncel fiyatlarına göre çıkartılmıştır. Çizelge 6.1’ de orta gerilimtesislerinde klasik kademeli filtresiz kompanzasyonun yatırım maliyeti ve Çizelge 6.2’ de ise alçak gerilimtesislerinde klasik kademeli filtresiz kompanzasyonun yatırım maliyetleri gösterilmiştir.

Çizelge 6. 1 Orta gerilim tarafında klasik kademeli filtresiz kompanzasyonun yatırım maliyeti

NO	AÇIKLAMA	MİKTAR	BİRİM	BİRİM FİYAT	TOPLAM FİYATI	PARA BİRİMİ
1	36kV, 630A, 16 kA MMMH Kesicili Çıkış Hücresi (Vakum Kesicili)	3	Ad.	14.532,00	43.596,00	TL
2	Bar-24 V 18Ah Bakımsız Akü Redresör Grubu	1	Ad.	225,00	225,00	TL
3	25 kVAR 34.5kV 50 Hz 170 kVİzalatörlü Kondansatör	18	Ad.	550,00	9.900,00	TL
4	Kondansatör Bankı (12'li)	2	Ad.	2.250,00	4.500,00	TL
5	34,5 Kv 25/5A CL:1 10VA Akım Transformatörü	3	Ad.	882,00	2.646,00	TL
6	34,5 kV, 120A Inrush Reaktörü	9	Ad.	1.300,00	11.700,00	TL
7	3Faz, 1Toprak Aşırı Akım rölesi	3	Ad.	1.840,00	5.520,00	TL
8	Reaktif Güç Kontrol Rölesi	1	Ad.	1.025,00	1.025,00	TL
9	1x35 OG Isı Büzüşmeli Kablo Başlığı	18	Ad.	175,00	3.150,00	TL
10	1x35 mm XLPE Kablo	30	Mt	21,27	638,10	TL
11	Elektrolitik Bakır Bara	360	Kg	24,00	8.640,00	TL
	TOPLAM				91.540,10	TL

Çizelge 6. 2 Alçak gerilim tarafında klasik kademeli filtresiz kompanzasyonun yatırım maliyeti

NO	AÇIKLAMA	MİKTAR	BİRİM	BİRİM FİYAT	TOPLAM FİYATI	PARA BİRİMİ
1	1200x2100x700mm Dikili Tip Pano	1	Ad.	1.134,00	1.134,00	TL
2	LZMN4-AE800-I T.M.Ş. (Elektronik) 3x800A 50kA	1	Ad.	3.970,00	3.970,00	TL
3	GSTA00-160 NH Yük Ayırıcı 160A	9	Ad.	165,00	1.485,00	TL
4	Steatit(seramik) Gövdeli NH-Bıçaklı Sigorta Buşonu, 125A, Boy 00, Genişlik 30mm	27	Ad.	7,40	199,80	TL
5	DILM95 (230V,50HZ) Güç Kontaktörü 45kW	9	Ad.	541,00	4.869,00	TL
6	25 KVAR 400V Kondansatör	18	Ad.	155,00	2.790,00	TL
7	12 Kademeli Reaktif Güç Kontrol Rölesi	1	Ad.	602,00	602,00	TL
8	800/5 CL:0,5 10VA Akım Transformatörü	3	Ad.	24,30	72,90	TL
9	CLS4-B6 Otomatik Sigorta 1x6A 4,5kA B	5	Ad.	9,10	45,50	TL
10	Pano Fanı	1	Ad.	38,00	38,00	TL
11	0-60 °C Pano İçi Termostat 1N0	1	Ad.	34,30	34,30	TL
12	3x150 NYY Kablo	30	Mt	151,50	4545,00	TL
13	Elektrolitik Bakır Bara	45	Kg	24,00	1.080,00	TL
	TOPLAM				20.865,50	TL

Çizelgelerden anlaşılacağı gibi orta gerilim tarafında klasik kademeli filtresiz reaktif güç kompanzasyonunun yatırım maliyetinin, alçak gerilim tarafındaki klasik kademeli filtresiz reaktif güç kompanzasyonunun yatırım maliyetinden daha pahalı olduğu görülmektedir.

Ayrıca bu yatırımların yapıldıktan sonra sistemin düzenli çalışmasının sağlanması için gerekli olan sistemin temizliği, arızalı kondansatörlerin değiştirilmesi, bağlantıların kontrolü gibi sistemin sürekliliğini sağlayan çalışmalar işletme maliyetini meydana getirmektedir. Bu maliyet orta gerilim tesisinde daha pahalıya mal olmaktadır. Örneğin, alçak gerilim tesisinde 25 kVar'lık bir kondansatörün birim fiyatı 155.00 TL iken orta

gerilim tesisinde 25 kVAr'lık bir kondansatörün birim fiyatı 550.00 TL' dir. İşletme maliyetlerini oluşturan en önemli unsurlardan biri de işçilik maliyetleridir. Alçak gerilim de, bu konuda uzman personelin piyasada çok bulunması sebebiyle sistemin işletmesinin sürekliliği ve kurulumu sırasında meydana gelecek olan işçilik maliyetleri orta gerilime göre alçak gerilim alanında çok daha azdır. Sisteminin sürekliliğini devamlı sağlamak, çıkan arızalara hemen müdahale edebilmek ve bu konuda teknik eleman bulundurabilmek açısından alçak gerilim tesislerinde reaktif güç kompanzasyonu, orta gerilim tesislerinde reaktif güç kompanzasyonuna göre daha avantajlıdır.

Alçak gerilim tarafında bir reaktif güç kompanzasyon sistemi kurulumu için ayrılması gereken alan, orta gerilim tarafında bir reaktif güç kompanzasyon sistemi kurulması için gerekli olan alandan daha azdır. Çünkü gerilim seviyesi arttıkça kullanılan malzemelerin ebatlarının büyümesi ve iş güvenliği açısından güvenli yaklaşma mesafelerinin artması kullanılacak olan alanın büyümesine sebebiyet vermektedir. Bu açıdan orta gerilim tarafında reaktif güç kompanzasyon sisteminin kurulması için gerekli alanın alanın daha geniş tutulması gerekmektedir.

BÖLÜM.7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, orta gerilim dağıtım sistemlerinde reaktif güç kompanzasyon tekniklerinin incelenmesi başlığı altında günümüzde uygulanan orta gerilim dağıtım sistemlerinde reaktif güç kompanzasyon çeşitleri teorik ve pratik olarak incelenmiş, konu ile ilgili bilimsel çalışmalar ile birlikte uygulama projelerine de detaylı olarak yer verilmiştir. Orta gerilim ve alçak gerilim tesislerinde reaktif güç kompanzasyon sistemleri ile ilgili olarak farklı işletme durumları için MATLAB-SIMULINK paket programı yardımıyla simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve çıkan sonuçların analizi yapılmıştır. O.G. barasında klasik kademeli kompanzasyon sistemi ile A.G. barasında klasik kademeli kompanzasyon sistemi arasında kompanzasyon sisteminin maliyeti yönüyle ekonomik karşılaştırma yapılmıştır. Bu yapılan analizlerin ve çalışmaların sonuçları şu şekilde sıralanabilir.

- Simülasyonların sonucunda, gerek A.G. barasında yapılan kompanzasyonda ve gerekse O.G. barasında yapılan kompanzasyonda hedeflenen güç faktörü değerlerine ulaşıldığı görülmüştür.
- Kompanzasyon sonrası, akım ve gerilim dalga şekillerinin analizi sonucunda orta gerilim seviyesinde kullanılan reaktif güç kompanzasyon sisteminde kademelerin devreye alınıp ve devreden çıkması, alçak gerilim seviyesinde kullanılan reaktif güç kompanzasyon sistemine göre olumsuz sonuçlar doğurduğu gözlenmiştir. İlk anda çekilen darbe akımlarını (inrush akımı) söndürücü reaktörlerin (inrush reaktörü) kullanılmasına rağmen sıklıkla yapılan kademe değişimlerinde akımda ve gerilimde tehlikeli ani genlik yükselmeleri (transientler) görülmüştür. Bu durum bu sistemde sık kademe değişimlerinin

yapılmasının kullanılan malzemelere zarar vererek işletme sürekliliğini ve güvenliğini tehlikeye atacağını göstermektedir.

- Genel olarak reaktif güç kondansatörlerinin devreye alınmasında ilk anda şebekeden yüksek genlikli transient akımlarının çekilmesi bilinen bir gerçektir. Simülasyon sonuçlarında, harmonik bileşenlerinin bulunmadığı, sinüsoidal durum için O.G. barasında filtresiz klasik kompanzasyon yapılması halinde reaktif güç kondansatörü devreye alındığı anda çekilen transient akım sürekli akımın tepe değerinin 349,4 katı iken A.G. barasında reaktif güç kompanzasyonu yapılması durumunda bu oran sadece 5,77 değerine düşmektedir. Bunun sebebi A.G. barasına oranla O.G. barasının kısa devre gücünün yüksek (kısa devre empedansının düşük) olmasıdır. Simülasyon sonuçlarına göre, kondansatörlerin ilk devreye girme anında çektiği transient akımların enerji sistemine verdiği olumsuz etkilerin daha düşük tutulabilmesi, transient akımların azaltılabilmesi için O.G. sistemi yerine A.G. sisteminde reaktif güç kompanzasyonu yapılmasının daha uygun olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.
- Pasif filtreler kullanılarak, sistemdeki harmonik miktarlarının azaldığı görülmüştür. Ayrıca pasif filtreler reaktif güç ihtiyacı baz alınarak belirlendiği için harmonikleri filtrelemenin yanında reaktif güç kompanzasyonu da yapmaktadırlar.
- Orta gerilim seviyesinde yapılan filtreli klasik kademeli reaktif güç kompanzasyon simülasyonunda, kademelerin ard arda veya 3 kademeninde aynı anda devreye girmesi sonucunda oluşan gerilim dalgalanmalarının ve transient akımlarının harmonik filtreler tarafından inrush reaktörlere göre daha iyi sönümlendiği görülmüştür.
- Filtresiz klasik kademeli reaktif güç kompanzasyonunda sistemin çalışması durumunda kademelerin devreye girmesi anında gerilim ve akım dalga şekillerinin saf sinüsoidalden uzaklaştığı ve sistemdeki akım ve gerilim harmoniklerinin arttığı görülmüştür.
- Ekonomik açıdan yapılan karşılaştırmalarda, orta gerilimde filtresiz klasik kademeli reaktif güç kompanzasyonunun, alçak gerilimde filtresiz klasik kademeli reaktif güç kompanzasyonuna göre yatırım maliyetlerinin çok daha pahalı olduğu görülmüştür.

- Arızalı malzemelerin değiştirilmesi, sistemin bakımı ve bağlantılarının kontrolü gibi işletme sürekliliğini sağlayan çalışmaların meydana getirdiği işletme maliyetlerinin alçak gerilime göre fazla olduğu gözönünde bulundurulmalıdır.
- Orta gerilimde bir reaktif güç kompanzasyon sistemi kurulumu için gerekli olan alanın, alçak gerilimde bir reaktif güç kompanzasyon sistemi kurulumu için gerekli olan alandan daha büyük olduğu, gerilim seviyesi arttıkça kullanılan malzemelerin ebatlarının büyümesinin ve iş güvenliği açısından güvenli yaklaşma mesafelerinin artmasının kullanılacak alanın büyümesine sebep olduğu ve bu nedenle orta gerilimde reaktif güç kompanzasyon sisteminin kurulması için gerekli alanın daha geniş tutulmasının gerektiği göz ardı edilmemelidir.
- Simülasyon sonuçlarına göre, sistemde harmonik bileşenlerin bulunması halinde O.G. barasından filtresiz klasik kompanzasyon yapıldığında, reaktif güç kondansatörü devreye alındığı anda çekilen transient akım sürekli akımın tepe değerinin 292 katı iken O.G. barasından pasif filtreli kompanzasyon yapıldığında durumunda bu oran sadece 6 değerine düşmektedir. Bunun sebebi O.G. barasına bağlı filtre reaktörlerinin aynı zamanda etki birer inrush reaktörü olarak davranarak sönümleme yapmasıdır. Simülasyon sonuçlarından pasif filtreli kompanzasyonun hem harmonikdistorsiyonu değerlerini düşürdüğü ve hem de kondansatör devreye girdiği anda sistemden çekilen çok yüksek genlikli transient akımları düşürdüğü görülmüştür.
- Simülasyon sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, harmonik bileşenlerin bulunduğu bir tesiste O.G. barasından kompanzasyon yapılmasına karar verilmesi halinde klasik kompanzasyon yerine pasif filtreli kompanzasyonun tercih edilmesinin daha uygun olduğu, böylece hem harmonikdistorsiyonu değerinin düşürülerek enerji kalitesinin iyileştiği ve hem de filtre reaktörünün etkin olarak sönümleme yapması sebebiyle kondansatörlerin ilk devreye girme anında O.G. sisteminden çektiği transient akım değerinin düşürülmesiyle kompanzasyon tesisinin O.G. sistemine zarar vermesinin önlendiği sonucu ortaya çıkmaktadır.
- Tez çalışmasında yapılan araştırma, inceleme ve simülasyonlar sonucunda, orta gerilim seviyesinde reaktif güç kompanzasyonunun çok hızlı yük değişimleri olmayıp sık kademe değişimlerine sebep olmayan veya sabit kondansatör ile

ihtiyacını karşılayan tesislerde kullanılmasının avantajlı olacağı, hızlı yük değişimlerinin meydana geldiği ve buna paralel olarak sık kademe değişimlerinin olduğu tesislerde reaktif güç kompanzasyonunun alçak gerilim seviyelerinde yapılmasının hem ekonomik açıdan hem de sistemin çalışma sürekliliği açısından daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

-
- [1] Vardar, T., Çam, E. ve Yalçın, E., (2010). “ Reaktif Güç Kompanzasyon Verimliliği Kamu Kurumlarında Reaktif Güç Kompanzasyonu, International Journal of Engineering Research and Development, 2 (2): 20-24.
- [2] Çevik, B., (2002). Statik Kompanzasyon Sistemleri ve Elektrikli Demiryolu Ulaşım Tesislerinde Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Bayram, M., (1999). Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [4] Kurt, A.C., (2010), Alçak Gerilim Reaktif Güç Kompanzasyon Sistemlerinin Deneysel Karşılaştırılması, www.emo.org.tr/ekler/85b172915b92c7d_ek.pdf, 19 Haziran 2011.
- [5] Engin, B., (2008), Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Kompanzasyon ve Enerji Kalitesi Sorunları, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [6] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/522EE0023.pdf, 2007
- [7] Gencer, Ö., Öztürk, S. ve Erfidan, T., (2009), Endüstriyel Bir Tesiste Dinamik Kompanzasyon Uygulaması, www.emo.org.tr/ekler/da6876aaf8c4625_ek.pdf, 19 Haziran 2011.
- [8] Kumru, C.F., (2009). Dağıtım Sistemlerinin Enerji Kalitesi Bakımından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A. ve Arıkan, O., (2003), Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [10] Bostancı, A., (2008). Statik VAR Kompanzasyon Sistemi Tasarımı ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] Gelen, A. ve Yalçınöz, T., (2009). “Tristör Anahtarlama Kapasitör (TSC) ve Tristör Anahtarlama Reaktör – Tabanlı Statik Var Kompanzator’ ün (TSR – Tabanlı SVC) PI ile Kontrolü, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 24(2):237 –244.
- [12] Hedayati, M., (2004). “Technical Specification and Requirements of Static VAR Compensation (SVC) Protection Consist of TCR, TSC and Combined TCR/TSC”, Universities Power Engineering Conference, 6-8 September 2004, Bristol.

- [13] Said, İ.K. ve Pirouti, M., (2009). “Neural Network – Based Load Balancing and Reactive Power Control by Static VAR Compensator”, International Journal of Computer Electrical Engineering, 1 (1): 25-31.
- [14] Gutierrez, J., Montano, J.C., Castilla, M. ve Lopez, A., (2002). “Power – Quality Improvement in Reactive Power Control Using FC-TCR Circuits”, IEEE, 2: 880-885
- [15] Kocatepe, C., Coşkun, S., Maraz, S., Arslan, E. ve Ardic, F., Endüstriyel Tesislerde Reaktif Güç Kompanzasyonu İçin Statik VAR Kompanzasyon Sisteminin Gerçekleştirilmesi, www.emo.org.tr/ekler/7e87c2f4fc7f7c9_ek.doc, 19 Haziran 2011.
- [16] Circutor, (2011). MV Capacitors banks and Accessories, Yayın No: R8/9, Viladecavalls.
- [17] Kalyuzhny, A., Reshef, B., Weiler, A. ve Elmakis, D., (1996). “Medium Voltage Reactive Power Compensation For Israel Electric System”, IEEE, 311-315.
- [18] Pourshafie, A., Saniei, M., Mortazavi, S.S. ve Saeedian, A., (2009). “Optimal Compensation of Reactive Power in the Restructured Distribution Network”, World Academy of Science, Engineering and Technology, 119-122.
- [19] Ducati Energia, (2008). MV&HV Power Factor Correction Capacitors and Filtering Systems, Yayın No: 1, Bologna.
- [20] Thalassinakis, E. ve Sofroniou, S., (2003). “Reliable Installation of Alternative Capacitor Banks Against Reactive Power Shortage”, IEEE Bologna PowerTech Conference, 23-26 June 2003, Bologna.
- [21] Ciurro, N.S., (2004). “Capacitors Inrush Current Calculations”, Power System Solutions, 2 December 2004, Conway.
- [22] TEİAŞ Malzeme Yönetimi ve Ticaret Başkanlığı, (2007). Orta Gerilim Şönt Kapasitör Bankları Tip Teknik Şartnamesi, Yayın no: MYTDB-23.A, Ankara.
- [23] Türk Prysmian Kablo ve Sistemleri A.Ş., (2009), İletkenler ve Enerji Kabloları, Yayın No: EK01-CK, BURSA

**BİR DEMİR ÇELİK FABRİKASINDA UYGULANAN İŞLETME
GERİLİMİ 34,5 kV, 200 MVar' LIK FC-TCR KOMPANZATÖRÜN
PROJESİ**

A-1 Sistemin O.G. Tek Hat Şeması

**İŞLETME GERİLİMİ 34,5 kV' LUK BİR TESİSTE TEK FAZLI
KONDANSATÖRLERDEN OLUŞAN ÇİFT YILDIZ
KONDANSATÖR BANKOLU KOMPANZASYON
UYGULAMASININ PROJELERİ**

B-1 Sistemin O.G. Tek Hat Şeması

B-2 Kondansatör Bankalarının Yerleşim Planları

**İŞLETME GERİLİMİ 6,3 kV' LUK BİR TESİSTE ÜÇ FAZ
KONDANSATÖRLÜ KOMPAZASYON UYGULAMASININ
PROJELERİ**

C-1 Sistemin O.G. Tek Hat Şeması

C-2 Metal Mahfazalı Kondansatör Hücrelerinin Yerleşim Planları

C-3 Metal Mahfazalı Kondansatör Hücrelerinin Kesit Görünüşleri

**İŞLETME GERİLİMİ 27,5 kV OLAN TEK FAZLI DEMİRYOLUNA
AİT KOMPANZASYONUYGULAMASININ PROJELERİ**

D-1 Sistemin O.G. Tek Hat Şeması

D-2 O.G. Sisteminin Kesit Görünümü

D-3 Sistemin Yerleşim Planı

D-4 Kompanzasyon Panolarının Kesit Görünümleri

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Muhammet Aydın YOLDAŞ

Doğum Tarihi ve Yeri : 16.02.1985 İZMİT

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : m.a.yoldas@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul / Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Tek. Üniv.	2011
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Tek. Üniv.	2008
Lise	Fen B.	75. Yıl Cumhuriyet Lisesi	2002

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görev
2008 Müh.	ÇAĞRI ELEKTRİK PROJE TAAH. SAN. TİC. A.Ş.	Elektrik