

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MANYETİK NÜVELİ REAKTÖR SİSTEMİNİN ENDÜSTRİYEL
UYGULAMASI**

AYHAN MALKOÇ

KOCAELİ 2014

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

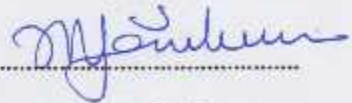
MANYETİK NÜVELİ REAKTÖR SİSTEMİNİN ENDÜSTRİYEL
UYGULAMASI

AYHAN MALKOÇ

Doç.Dr. Nuran YÖRÜKEREN
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. Ertan YANIKOĞLU
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.

Doç.Dr. Ayşen Basa ARSOY
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 17.06.2014

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu çalışmam süresince her türlü yardım ve fedakârlığı sağlayan, bilgi, tecrübe ve güler yüzü ile çalışmama ışık tutan, ayrıca bana bu çalışmayı vererek kendimi geliştirmeye yönelik de birkaç adım ileride olmamı sağlayan, danışman hocam Sayın Doç. Dr. Nuran Yörükeren'e,

Çalışmamda kullanmış olduğum makaleleri bulmamda yardımcı olan, engin bilgisini ve desteğini esirgemeyen okulumuzun hocalarından Doç. Dr. Bora Alboyacı'ya,

Tezimin hazırlanması sırasında beni cesaretlendiren ve manevi destek sağlayan değerli arkadaşlarım Caner Dirlik, Hakan Kartal, Yaşar Esen ve Yasemin Tiryaki'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmayı, yetiştirmemde emeği geçen ve benden maddi, manevi hiçbir desteği esirgemeyen özellikle kardeşim Gökhan Malkoç'a ve aileme ithaf ederim.

Haziran – 2014

Ayhan MALKOÇ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	vi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiii
GİRİŞ.....	1
1. ELEKTRİK ENERJİSİNDE KALİTE KAVRAMI.....	2
1.1. Kısa Süreli Gerilim Değişimleri	3
1.1.1. Gerilim yükselmesi	4
1.1.2. Kesinti	4
1.1.3. Gerilim düşmesi	4
1.2. Uzun Süreli Gerilim Değişimleri	5
1.2.1. Aşırı gerilim	5
1.2.2. Düşük gerilim	5
1.2.3. Geçici olaylar	5
1.2.4. Darbeli geçici olaylar	6
1.2.5. Salınımlı geçici olaylar	6
1.3. Gerilim Dengesizliği	7
1.4. Dalga Şekli Bozukluğu	7
1.4.1. DC bileşenler	7
1.4.2. Çentik	7
1.4.3. Elektriksel gürültü	7
1.5. Gerilim Dalgalanması	8
1.6. Güç Frekans Değişimleri	8
1.7. Harmonikler	8
1.7.1. Harmonik seviyeleri	8
1.7.2. Harmonik filtrasyon	9
2. ORTA GERİLİM REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU	10
2.1. Reaktif Güç Tanımı	10
2.2. Sanal, Aktif ve Reaktif Direnç.....	10
2.2.1. Omik direnç	12
2.2.2. Endüktif direnç	12
2.2.3. Faz farkı olan akımların aktif ve reaktif bileşenleri	12
2.3. Reaktif Güç Kompanzasyonunun Faydaları	14
2.4. Kondansatörlerin Yapısı	15
2.4.1. Reaktif güç kompanzasyonunda kondansatör hesabı.....	16
2.4.2. Reaktif güç kompanzasyonları	17
2.5. O.G’de Kompanzasyon.....	19
2.6. Kapasitör Noktalarının Seçimi	21
2.7. O.G’de Yapılan Kompanzasyonun Amacı	22
2.8. O.G’de Kompanzasyon Devre Elemanlarının Seçimi	22

2.9. O.G’de Kapasitörlerin Bağlantı Şekilleri	23
3. STATİK VAR SİSTEMLERİ	25
3.1. Statik Var Sisteminin Özellikleri	26
3.2. Statik Var Sisteminin Ana Tipleri	26
3.3. SVC’nin Ana Harmonik Frekansındaki Davranışı	27
3.4. Tristör Kontrollü Reaktör Hakkında Genel Bilgi	28
4. MANYETİK NÜVELİ REAKTÖR.....	31
4.1. Manyetik Nüveli Reaktör Hakkında Genel Bilgi	31
4.1.1. Harmonikler ve tepki sürati	35
4.1.2. Aşırı yük kapasitesi	36
4.1.3. Dahili kontrol karakteristiğinin ayarlanması.....	36
4.2. MCR ve TCR Karşılaştırması.....	37
5. POSCO ASSAN TST UYGULAMASI.....	40
5.1. Genel Tanıtım	40
5.2. Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri	40
5.3. Paslanmaz Çelik Türleri	41
5.4. Üretim Teknolojisi.....	42
5.5. Posco Assan TST Tek Hat Şeması	44
5.6. Posco Assan TST Toplam Kapasitif Güç İhtiyacı	49
5.7. Posco Assan TST MCR Sistemi	52
5.8. Posco Assan TST MCR Sisteminin Ölçüm Raporu	54
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	62
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	65
EKLER.....	66
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	90
ÖZGEÇMİŞ	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Omik, reaktif ve sanal direnç bileşenleri	11
Şekil 2.2. Akımın aktif ve reaktif bileşenleri	12
Şekil 2.3. Santralden tüketiciye kadar olan tek hat şeması örneği	13
Şekil 2.4. Üç fazlı sistemlerde kullanılan yıldız ve üçgen kapasite bağlantısı	17
Şekil 2.5. Reaktif güç değeri sürekli olarak değişen tüketici gösterimi	17
Şekil 2.6. Nötrü topraksız yıldız bağlantı	23
Şekil 2.7. Nötrü topraklı yıldız bağlantı	23
Şekil 2.8. Eşit parçalı yıldız bağlantı	24
Şekil 2.9. Posco Assan TST’de kondansatörlerin bağlantı şekli	24
Şekil 3.1. SVC’nin eşdeğer devresi	27
Şekil 3.2. İdeal bir SVC’ye ilişkin akım-gerilim karakteristiği	28
Şekil 3.3. Tristör kontrollü reaktörün temel yapısı	28
Şekil 3.4. Gerilim ve akımın dalga şekli	29
Şekil 3.5. SVC’nin prensip devre şeması	30
Şekil 4.1. Basit endüktans kontrolü	32
Şekil 4.2. $I=0$ ise manyetik akı ve akım eğrisi	33
Şekil 4.3. $I \neq 0$ ise manyetik akı ve akım eğrisi	33
Şekil 4.4. MCR’nin yapısı	34
Şekil 4.5. MCR’nin çalışma şekli	34
Şekil 4.6. Yük değişme oranı, reaktörde harcanan reaktif güç, reaktörün akımı, tristörün akısı	37
Şekil 4.7. ΔV değişim oranları	38
Şekil 4.8. 1.,3.,5.,7.,9.,11.,13.,15.,17.,19. ve 21. akım harmonikleri	38
Şekil 5.1. Posco Assan TST tek hat şeması	44
Şekil 5.2. SVC sisteminin yerleşimi	53
Şekil 5.3. Posco Assan TST’nin MCR sisteminin tek hat şeması	53
Şekil 5.4. MCR’li sistem devredeyken gerilim grafiği	54
Şekil 5.5. MCR’li sistem devredeyken gerilim harmonikleri	55
Şekil 5.6. MCR’li sistem devredeyken akım grafiği	55
Şekil 5.7. MCR’li sistem devredeyken akım harmonikleri	56
Şekil 5.8. MCR’li sistem devredeyken akım harmonikleri spektrumları	56
Şekil 5.9. MCR’li sistem devredeyken aktif güç	57
Şekil 5.10. MCR’li sistem devredeyken reaktif güç	57
Şekil 5.11. MCR’li sistem devredeyken güç faktörü	57
Şekil 5.12. MCR’li sistem devrede değilken gerilim grafiği	58
Şekil 5.13. MCR’li sistem devrede değilken gerilim harmonikleri	58
Şekil 5.14. MCR’li sistem devrede değilken akım grafiği	58
Şekil 5.15. MCR’li sistem devrede değilken akım harmonikleri	59
Şekil 5.16. MCR’li sistem devrede değilken akım harmonikleri spektrumları	59
Şekil 5.17. MCR’li sistem devrede değilken aktif güç	60
Şekil 5.18. MCR’li sistem devrede değilken reaktif güç	60
Şekil 5.19. MCR’li sistem devrede değilken güç faktörü	60

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Kısa süreli gerilim değişimleri.....	3
Tablo 1.2. Uzun süreli gerilim değişimleri	5
Tablo 1.3. Diğer gerilim değişimleri.....	6
Tablo 3.1. SVC sistemlerinin karşılaştırılması	27
Tablo 4.1. MCR ve TCR kompanzatörlerin karşılaştırılması	39
Tablo 5.1. Posco Assan TST'nin toplam reaktif güç ihtiyacı	49
Tablo 5.2. Posco Assan TST'deki trafoların reaktif gücü.....	51
Tablo 5.3. Posco Assan TST'deki kabloların reaktif gücü	51

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

a	: Plakaların alanı, [m ²]
C	: Kapasite, [F]
D	: Plakalar arası mesafe, [m]
E	: Kondansatör plakaları arasındaki hava ve dielektriğin sabiti
f	: Frekans, [Hz]
h	: Puls sayısı
I_b	: Reaktif alternatif akım, [A]
I_c	: Kondansatör akımı, [A]
I_w	: Aktif alternatif akım, [A]
L	: Endüktivite, [H]
q	: Sıra ile ilerleyen tam sayı
X_C	: Kapasitif direnç, [Ohm]
X_L	: Statik İndüktif direnç, [Ohm]

Kısaltmalar

AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
AG	: Alçak Gerilim
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
DR	: Doyurulabilir Reaktör
IEC	: International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
IEEE	: Institute Of Electrical And Electronical Engineers (Elektrik Ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
MCR	: Magnetic Core Reactor (Manyetik Nüveli Reaktör)
OG	: Orta Gerilim
PLC	: Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)
PU	: Per Unit (Birim Başına)
RMS	: Routh Mean Square (Karakök Ortalama)
SCR	: Silisyum Controlled Rectifier (Silisyum Kontrollü Doğrultucu)
SVC	: Static Var Compansation (Statik Anahtarlama Kompanzasyon)
TAK	: Tristör Anahtarlama Kapasitör
TAR	: Tristör Anahtarlama Reaktör
TCR	: Thyristor Controlled Reactor (Tristör Kontrollü Reaktör)
TST	: Turkey Stainless Steel (Türkiye Paslanmaz Çelik)
UPS	: Uninterruptible Power Supply (Kesintisiz Güç Kaynağı)
YG	: Yüksek Gerilim

MANYETİK NÜVELİ REAKTÖR SİSTEMİNİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMASI

ÖZET

Enerji iletim/dağıtım sistemlerinde reaktif güç kayıplarının minimuma indirmek için şönt reaktör ve şönt kapasitörler kullanılır. Uygulanacak kompanzasyon sistemi, değişken karakteristikli yük durumlarından dolayı reaktör/kapasitör sistemi kontrol edilebilir olmalıdır. Reaktif güç kompanzasyon sistemlerinde geleneksel yöntem; kesiciler ile anahtarlanması olup bu beraberinde birçok problemi getirmektedir.

Bu çalışmada, orta gerilim sistemlerinde reaktif güç kontrolünün kademesiz ve hızlı bir yöntemi olan Manyetik Nüveli Reaktör Sisteminin tanıtımı ve Endüstriyel bir Tesisteki (Posco Assan TST) Uygulaması incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompanzasyon, Manyetik Nüveli Reaktör, Şönt Kapasitör.

APPLICATION OF MAGNETIC CORE REACTOR SYSTEM IN AN INDUSTRIAL FACILITY

ABSTRACT

In energy transmission / distribution systems shunt reactors and shunt capacitors are used to reduce power loss to minimum. A reactor / capacitor system has to be controllable for variable load of apply to compensation system. The conventional method of reactive power compensation systems is switching by circuit breakers and this technic causes a set of problems.

In this thesis, magnetic core reactor system which is non-gradual and rapid method of reactive power control in medium voltage systems and its application in an industrial facility (Posco Assan TST) were explicated.

Keywords: Compensation, Magnetic Core Reactor, Shunt Capacitor.

GİRİŞ

Reaktif güç kontrolü enerji iletim/dağıtım sistemlerinde verimli bir çalışma için en önemli konulardan biridir. Şebekede reaktif gücü, ekipmanların karakteristikleri ve yükler etkiler. Kompanzatörler her zaman yükün oluşturduğu reaktif gücü değil, aynı zamanda iletim/dağıtım sistemindeki ekipmanların reaktif gücünü de kompanze etmelidirler. Dolayısıyla reaktif güç kompanzasyon sistemi tasarımında bunların tamamının etkisi göz önüne alınmalıdır.

Önceleri sadece yüksek gerilim sistemlerinde, uzun iletim hatlarının kapasitif reaktif gücünün kontrolünde kullanılan Manyetik Nüveli Reaktör (Magnetic Core Reactor-MCR), günümüzde endüstriyel tesislerin kompanzasyon sistemi olarak da kullanılmaktadır. Diğer statik kompanzatörlere göre de büyük avantajları olan MCR sistemi, İzmit Alikahya'da kurulan Türkiye'nin ilk paslanmaz çelik fabrikası Posco Assan TST'de, sistemdeki yükler için gerekli kapasitif reaktif gücün karşılanması için kurulmuştur. Bu çalışmada, kurulan sistemin teorisi, uygulama detayları ve sistemden ölçümlerin alınması ve bunların değerlendirilmesi yapılmıştır.

1. ELEKTRİK ENERJİSİNDE KALİTE KAVRAMI

Günümüzde, endüstriyel ve ticari etkinliklerin yürütülmesinde kaliteli enerji temini son derece büyük önem taşımaktadır. Güç kalitesi sorunu, yakın geçmişe kadar elektrik dağıtım şebekesi şirketlerinin kontrolünde kalmıştır.

Elektrik enerjisinde kalite bozuklukları beş başlık altında incelenmektedir. Bunlar;

- Harmonik bozulma,
- Sistem oturmaları,
- Düşük ve aşırı gerilim,
- Düşmeler (veya dalgalanma) ve darbeler,
- Geçici olaylardır.

Bu problemlerin her birinin nedeni diğerinden farklı olup, bazı problemler enterkonnekte şebeke üzerinde çalışan tüm tüketicileri etkiler.

Elektrik dağıtımını yapan kuruluşlar, kaliteli enerji isteyen kullanıcıların maliyetlere katlanarak kendileri tarafından temin edilmesi gerektiğini savunmaktadırlar. Geniş bir kullanıcı kesimini besleyecek kaliteli elektriğin üretilmesi ve kullanıcılara sunulması, yüksek yatırım harcamaları gerektirir; dolayısıyla sınırlı sayıdaki müşterilerin ihtiyacına cevap verebilir ve ekonomik olmayabilir.

Kullanıcılar ihtiyaç duydukları kalitede elektrik elde etmek için yapılması gereken yatırıma karar verebilmelidirler. Güç kalitesi nedeniyle oluşan kısa süreli bir kesintinin maliyeti bazen bir saatlik bir kesintinin maliyeti kadar hatta daha fazla olabilir. Kesinti maliyetleri konusunda tedarikçi kuruluşlar veremedikleri elektriğin maliyetini, tüketiciler ise üretim kaybı sonucu uğradıkları gelir kaybının maliyetini dikkate almaktadırlar. Kısa bir elektrik kesintisinde, fatura edilemeyen elektrik enerjisinin maliyeti yanında, üretim kaybı ve tüketicinin uğradığı zararın maliyeti çok yüksektir.

Elektrik güç sistemlerinde ortaya çıkan kalite problemlerinin farklı kaynaklarda çeşitli sayıda kategorilere ayrılmış olduğu görülür. Bazı bozukluklar şebekeden kaynaklanırken, bazıları da bağlı olan yükün kendi özelliklerinden dolayı meydana gelmektedir. Bu kategoriler aşağıda sıralanmıştır:

- Kısa süreli gerilim değişimleri
- Uzun süreli gerilim değişimleri
- Geçici olaylar
- Dalga şekli bozukluğu
- Gerilim dalgalanması
- Güç frekans değişimleri

1.1. Kısa Süreli Gerilim Değişimleri

Kısa süreli gerilim değişiminin sınırları IEEE 1159 Standardı'na göre şu şekilde belirtilmiştir; Kısa süreli voltaj değişimleri: Nominal gerilimin efektif değerinde 0,5 cycle (güç frekansı periyodunun yarısı) ile 1 dakika arasında süren gerilim değişimleri Tablo 1.1'de gösterildiği gibi ani, anlık ve geçici olmak üzere üç çeşittir.

Tablo 1.1. Kısa süreli gerilim değişimleri

Tipi	Süresi	Gerilim
Ani		
Kesinti	0,5-30 cycle	<0,1 p.u
Gerilim Düşmesi	0,5-30 cycle	0,1-0,8 p.u
Gerilim Yükselmesi	0,5-30 cycle	1,1-1,8 p.u
Anlık		
Kesinti	0,5-3 sn	<0,1 p.u
Gerilim Düşmesi	30 cycle-3 sn	0,1-0,8 p.u
Gerilim Yükselmesi	30 cycle-3 sn	1,1-1,8 p.u
Geçici		
Kesinti	3 sn-1 dk	<0,1 p.u
Gerilim Düşmesi	3 sn-1 dk	0,1-0,8 p.u
Gerilim Yükselmesi	3 sn-1 dk	1,1-1,8 p.u

1.1.1. Gerilim yükselmesi

Nominal gerilimin veya akımın efektif değerinin 1,1 p.u ile 1,8 p.u arasında değişen, 0,5 cycle ile 1 dakika arasında süren gerilim yükselmesi olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda ani aşırı gerilim olarak da bilinmektedir. Gerilim yükselmeleri genellikle sistem arızaları, büyük yüklerin anahtarlanması veya kapasite banklarının enerjilendirilmeleri sonucu oluşmaktadır.

1.1.2. Kesinti

Kesinti, besleme geriliminin veya yük akımının, bir dakikayı aşmamak koşuluyla, efektif değerinin 0,1 p.u değerinin altına düşmesi olarak tanımlanmaktadır. Aşırı ısınmaya bağlı olarak devre kesicilerinin açması, yıldırım ve sistem arızaları olası kesinti nedenleri arasında gösterilebilir. Gerilimin, nominal değerinin %10'undan daha düşük değerlerde kaldığı süre kesinti süresi olarak adlandırılır.

1.1.3. Gerilim düşmesi

Gerilim düşmelerinin çeşitli uluslar arası standartlara göre tanımı şu şekildedir:

IEEE 1159 Standardı'na göre gerilim düşmesinin tanımı;

Gerilim düşmesi: Nominal gerilimin efektif değerinin %10'u ile %90'ı arasında 0,5 cycle ile 1 dakika arasında süren gerilim düşmesi.

IEC 61000-2-8 Standardı'na göre ise;

Gerilim dalgalanması, gerilim çökmesi: Elektrik sistemindeki herhangi bir noktada gerilimin kısa süreyle, aniden belirlenen eşik değerinin altına düşüp tekrar eski halini almasıdır.

Gerilim düşmeleri;

- Kısa devre arızalarının belirmesi, tesisatta veya aynı devredeki başka tesisatlarda aşırı akımların oluşması nedeniyle meydana gelir.
- Süre ve kalıcı gerilim parametrelerini içeren iki boyutlu elektromanyetik bir rahatsızlıktır.

1.2. Uzun Süreli Gerilim Değişimleri

Aşırı gerilimler ve düşük gerilimler uzun süreli gerilim değişimleri olarak bilinirler. Güç sistem frekansında, nominal gerilimin RMS değerindeki bir dakikadan daha uzun süreli gerilim değişimleri olarak tanımlanırlar. Sistem arızalarından değil, genel olarak anahtarlama işlemleri ve sistemdeki yük değişimlerinden dolayı meydana gelmektedirler. Tablo-1.2’de uzun süreli gerilim değişimleri ve süreleri görülmektedir

Tablo 1.2. Uzun süreli gerilim değişimleri

Tipi	Süresi	Gerilim
Kesinti	>1dk	0 p.u
Gerilim Düşmesi	>1dk	0,8 - 0,9 p.u
Gerilim Yükselmesi	>1dk	1,1 - 1,2 p.u

1.2.1. Aşırı gerilim

Aşırı gerilim, güç sistem frekansındaki alternatif gerilimin RMS değerinin bir dakikadan daha uzun süre ile 1,1 p.u değerini aşması olarak tanımlanmaktadır.

1.2.2. Düşük gerilim

Düşük gerilim, güç sisteminin işletme frekansındaki alternatif gerilimin RMS değerinin bir dakikadan daha uzun süre ile 0,9 p.u değerinin altına inmesi olarak tanımlanmaktadır.

1.2.3. Geçici olaylar

Geçici olaylar, darbeli ve salınımlı olmak üzere iki başlığa ayrılırlar. Tablo-1.3’de akım veya gerilim dalga şeklindeki geçici olayların özelliklerini göstermektedirler.

Tablo 1.3. Diğer Gerilim Değişimleri

Tipi	Süresi	Gerilim
Gerilim Dengesizliği	Sürekli hal	%0,5-2
DC Bileşen	Sürekli hal	%0-0,1
Harmonikler	Sürekli hal	%0-20
İnterharmonikler	Sürekli hal	%0-2
Çentik	Sürekli hal	
Elektriksel Gürültü	Sürekli hal	%0-1
Gerilim Dalgalanması	Geçici	%0,1-7
Güç Frekans Değişimleri	<10s	

1.2.4. Darbeli geçici olaylar

Darbeli geçici olaylar; kararlı haldeki gerilimde, akımda veya her ikisinde ani ve tek yönlü olarak gerçekleşen değişimlerdir. Genellikle, yükseliş ve sönüş zamanları ile anlık frekansları yardımıyla ölçülürler.

Yıldırım, darbeli geçici olayların en önde gelen nedenlerindedir. Dalga şekilleri devre bileşenlerine göre çok hızlı bir şekilde değişebilir ve yüksek frekanslarda gerçekleştiğinde karakteristiği, güç sisteminin farklı bölümlerine göre değişiklik arz eder.

1.2.5. Salımlı geçici olaylar

Salımlı geçici olaylar, kararlı haldeki gerilimde, akımda veya her ikisinde ani olarak meydana gelen pozitif ve negatif polariteye sahip değişimlerdir. Ani gerilim veya akım değeri çok hızlı işaret değiştirir.

Dağıtım sistemlerinde frekansı 300 Hz'den küçük salımlı yapan geçici olaylar da mevcuttur. Bunlar daha çok ferro-rezonans ve transformatör enerjilendirme ile ilişkilidir.

Geçici aşırı yüksek gerilimleri sınırlamak için yaygın olarak uygulanan yöntemler:

- Alternatif akım giriş ucuna seri bir reaktör yerleştirmek
- Dağıtım sistemlerinde SVC kullanmak

1.3. Gerilim Dengesizliği

Üç fazlı bir güç sisteminde akım ve gerilim dalga şekillerinin genlikleri eşit ve her faz arasında 120 derece faz farkı bulunuyorsa bu sistem dengelidir denir. Genlik ve faz açısındaki oluşan farklılık sistemin dengesiz olarak anılmasına neden olur. Elektrik enerjisi kalite problemlerinden olan gerilim dengesizliği, dengesiz gerilimin genliğinin dengeli durumdaki bir faza ait gerilim genliğine oranı olarak belirlenir ve yüzde olarak ifade edilir. Üç fazlı kondansatör gruplarının bir fazının devreden çıkması gerilim dengesizliğine neden olur. %5'ten büyük gerilim dengesizlikleri hassas cihazlarda arızalanmalara sebebiyet verebilir.

1.4. Dalga Şekli Bozukluğu

Dalga şekli bozuklukları beş ana başlık altında toplanabilir. Bunlar; DC bileşen, harmonikler, interharmonikler, çentik ve elektriksel gürültü olarak sıralanırlar. Ana frekanstan sapma oranına göre karakterize edilirler.

1.4.1. DC bileşenler

DC bileşen, alternatif akım güç sisteminde doğru akımın veya gerilimin varlığı olarak tanımlanabilir. Yarım dalga doğrultmanın etkisiyle oluşabilir. Alternatif akım şebekelerinde bulunan doğru akım bileşeninin zararlı etkileri olabilir. Bu tip rahatsızlıklar ısınmada ek artışlara ve transformatörlerin yıpranmasına neden olurlar.

1.4.2. Çentik

Çentik, güç elektroniği elemanlarının normal çalışması ile oluşan gerilim dalga şekli bozukluğudur. Periyodik olarak görülürler. Frekansları çok yüksek değerlere ulaşabileceği için harmonik analizi için kullanılan cihazlar ile ölçümlerini yapmak mümkün olmayabilir.

1.4.3. Elektriksel gürültü

Gürültü, elektriksel sinyallerin istenilmeyen şekilde bozukluğa uğraması olarak tanımlanabilir. Öyle ki oluşan rahatsızlığın frekansı temel frekansın yanında çok büyük değerler (200 kHz'e kadar) alabilir.

1.5. Gerilim Dalgalanması

Gerilimin alt ve üst zarf eğrileri arasında büyüklüğü 0,9 p.u ile 1,1 p.u değerlerini aşmadan yapmış olduğu dalgalanmalar gerilim dalgalanması olarak adlandırılır.

1.6. Güç Frekans Değişimleri

Güç sisteminin temel frekansının nominal değerindeki değişimler güç frekansı değişiklikleri olarak tanımlanırlar. Sistemi besleyen generatörlerin dönüş hızı güç sistem frekansını belirlemekte etkin rol oynar. Frekanstaki kaymasının süresi ve büyüklüğü yükün karakteristiklerine ve üretim kontrol sisteminin yük değişikliklerine verdiği yanıtı bağlıdır. Yük ve üretim değiştiğinde frekansta küçük oynamalar belirir.

1.7. Harmonikler

Enerji dağıtım sistemlerinde sinüs formundaki bir gerilim kaynağı yarı iletken teknolojiye sahip bir sisteme uygulanırsa (DC veya AC Sürücü, UPS vb) sistemin vereceği akım cevabı kare dalga şeklinde olacaktır.

Sinüs formunda ve sistem empedansı oranında genliğe sahip olması gereken bu akım dalga şeklinin kare dalga olmasının nedeni içerdiği temel şebeke frekansı dışındaki sinüs dalgalarıdır. Temel şebeke frekansı (50 Hz) dışındaki diğer sinüs formundaki bu akımlara harmonik denir.

1.7.1. Harmonik Seviyeleri

Yukarıda bahsedilen yarı iletken teknolojiye sahip olan bir cihazın üreteceği harmonik akımların hangileri ve hangi mertebelerde olduğu bu cihazın puls sayısına yani içerdiği tristör veya diyot gibi elemanların adetlerine bağlıdır. Günümüz 3 fazlı elektrik teknolojisinde diyot ve tristörler bir cihaz içerisinde 6 adet veya 12 adet kullanılarak 6 pulslı veya 12 pulslı sistemler olarak adlandırılırlar. 6 pulslı bir sistem için;

$$n=hq+1 \tag{1.1}$$

formülünde ;

h: puls sayısı

q: sıra ile ilerleyen tam sayı olmak üzere

$$n = 6,1+1 = 5 \text{ ve } 7$$

$$n = 6,2+1 = 11 \text{ ve } 13$$

$$n = 6,3+1 = 17 \text{ ve } 19$$

$$n = 6,4+1 = 23 \text{ ve } 25 \text{ gibi harmonik akımlar üretilecektir.}$$

Üretilecek bu harmoniklerin temel şebeke frekansındaki akıma olan yüzdesel değerleri ise;

$$\% = 100/n \quad (1.2)$$

Formülü ile hesaplanabilir.

1.7.2. Harmonik Filtrasyon

Yukarıda bahsedildiği üzere rezonansa engel olmak harmonik filtrasyonun ön koşuludur. Bunu yapabilmek için kondansatör grupları reaktörler ile desteklenmeli ve bu iki devre elemanı ile bir odaklama frekansı elde edilmelidir. Bu frekans şebekede var olan en düşük frekanslı harmonik akımın bir geri noktası olmalıdır. Tipik 3 fazlı sistemlerde oluşan harmonik seviyenin daha önce de bahsedildiği gibi 5. harmonikten (250 Hz) başlayacak olması bu odaklama frekansının 189 ila 223 Hz aralığında olmasını gerektirecektir.

2. O.G. REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

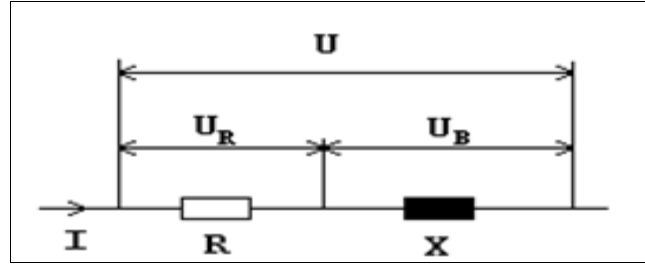
Tüketicilerin şebekeden çektikleri alternatif akım, biri aktif akım ve diğeri reaktif akım olmak üzere iki bileşenden oluşur. Aktif akımın meydana getirdiği aktif güç, tüketici tarafından faydalı hale getirilir; örneğin motorlarda mekanik güce, ısı tüketicilerinde termik güce ve aydınlatma tüketicilerinde aydınlatma gücüne dönüşür. Reaktif akımın meydana getirdiği reaktif güç ise faydalı güce çevrilemez. Reaktif güç, yalnız alternatif akıma bağlı bir özellik olup, elektrik tesislerine istenmeyen bir şekilde tesir eder; jeneratörlerin, transformatörlerin, hatların, bobinleri füzuli olarak işgal ederler ve lüzumsuz yere yüklerler, ayrıca bunların üzerinde ilave ısı kayıplarına ve gerilim düşümlerine rol açarlar. Aktif güç enerjisi normal sayaçlarla tespit edildiği halde, reaktif enerji böyle bir sayaç ile kontrol ve tespit edilemez. Bunu kaydetmek için ayrı bir reaktif güç sayacına ihtiyaç vardır.

2.1. Reaktif Güç Tanımı

Her ne kadar reaktif güç faydalı güce çevrilemez ise de bundan tamamen vazgeçilemez. Zira elektrodinamik prensibine göre çalışan jeneratör, transformatör, bobin ve motor gibi bütün işletme araçlarının normal çalışmaları için gerekli olan manyetik alan reaktif akım tarafından meydana getirilir. Bilindiği gibi, endüksiyon prensibine göre çalışan bütün makineler ve cihazlar, manyetik alanın meydana getirilmesi için bir mıknatıslanma akımı çekerler; işte bu mıknatıslanma akımı, reaktif akımdır. Onun için faydalı reaktif gücün yanında mutlaka reaktif güce de ihtiyaç vardır. Bu sebeple bütün alternatif akım tesisleri, aktif gücün yanında reaktif gücün de çekileceğini göz önünde bulundurularak boyutlandırılırlar.

2.2. Sanal, Aktif ve Reaktif Direnç

Bir devrenin sanal direnci Ohm kanununa göre bu devreye tatbik edilen gerilim ve geçen akıma göre bulunmaktadır. Alternatif akım da sanal direnç Z 'nin Denklem (2.3) bir aktif R Denklem (2.1) bir de reaktif X Denklem (2.2) bileşeni bulunmaktadır.



Şekil 2.1. Omik, reaktif ve sanal direnç bileşenleri

$$R = U_R / I \quad (2.1)$$

$$X = U_B / I \quad (2.2)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (2.3)$$

$$Z = U / I \quad (2.4)$$

Bir elektrik devresinin içerisindeki cihazlar görünür direnci teşkil ederler ve akımın gerilime göre faz durumunu tayin ederler. Bunun için 3 hal mümkündür:

1-Devredeki cihazlar sadece omik değerdedir. (Akkor flamanlı lambalar)

$$X=0 \gg Z = \sqrt{R^2 + X^2} = R \quad (2.5)$$

Akım ve gerilim vektörel olarak aynı fazdadır.

2-Devredeki cihazlar endüktif (ϕ) karakteristiktir. Akım vektörel olarak, gerilime göre açısı kadar geridedir. (Transformatörler, motorlar, bobinler)

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = W_L \text{ (Ohm)} \quad (2.6)$$

3-Devredeki cihazlar kondansatörler gibi kapasitif karakteristiktir. Akım vektörel olarak gerilime göre ϕ açısı kadar ileridedir.

$$X_C = 1 / 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C = 1 / W_C, \text{ (Ohm)} \quad (2.7)$$

L = endüktivite, (Henry)

C = kapasite, (Farad)

f = frekans, (Hertz)

2.2.1. Omik direnç

Omik direnç R , içerisinde bir indükleme veya kapasite olayı olmayan dirençtir. (Akkor flamanlı lambalar, elektrikli ısıtıcılar) Bu direnç efektif gerilim veya akım değerlerinden Denklem (2.1) olarak bulunur. Aktif direnç içerisinde geçen akımda aktif akımdır. Ölçülen gerilim ve akım efektif değerlerdir. Maksimum ani değerleri bulmak için ölçülen akım ve gerilimin $\sqrt{2}$ katı alınmalıdır.

2.2.2. Endüktif direnç

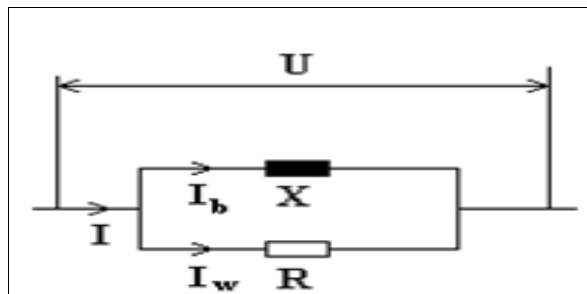
İçinden her akım geçen telin etrafında daima bir manyetik alan mevcuttur. Bir bobin halinde sarılan telin manyetik alanı da daha fazla olacaktır. Böylelikle bobin bir gerilim indükleyici özelliğine sahiptir. Hareket halinde bulunan elektronlar, sanki yanındaki elektronlarla bir yay vasıtasıyla bağlanmış gibi bu bobin uçlarına bir gerilim tatbik edildiğinde ileri – geri harekete başlarlar.

Bir bobinde kendi kendine indükleme olayı bu bobin içindeki akımın akmasına engel olduğunu göstermektedir ve gerilim ile akım arasında bir faz kayması mevcuttur.

Şebekeye bağlı bir alıcı, eğer bir motor, bir transformatör, bir florsan lamba ise, bunlar manyetik alanlarının temini için bağlı oldukları şebekeden bir reaktif akım çekerler.

2.2.3. Faz farkı olan akımın aktif ve reaktif bileşenleri

I Denklem (2.10) alternatif akımın aktif = I_w Denklem (2.8), reaktif = I_b Denklem (2.9) bileşenleri, birbirine paralel bağlı aktif ve reaktif dirençlerin üzerinden geçen akımlardır.



Şekil 2.2. Akımın aktif ve reaktif bileşenleri

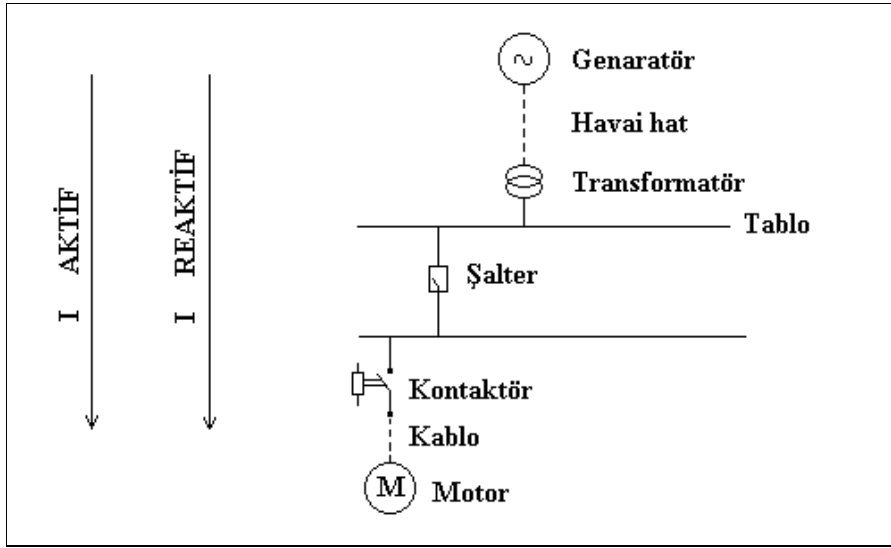
$$I_w = U / R = I \cdot \cos \varphi \quad (2.8)$$

$$I_b = U / X = I \cdot \sin \varphi \quad (2.9)$$

$$I = U / Z = \sqrt{I_w^2 + I_b^2} \quad (2.10)$$

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.11)$$

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.12)$$



Şekil 2.3. Santralden tüketiciye kadar olan tek hat şeması örneği

Santralde üretilen bir enerji, aktif ve reaktif akım adı altında en küçük alıcıya kadar beraberce akmakta, iş yapmayan, sadece motorda manyetik alan doğurmaya yarayan reaktif akım; havai hatta, trafoda, tablo, şalterler ve kabloda lüzumsuz yere kayıplara sebebiyet vermektedir. Bu kayıplar yok edilirse, şüphesiz trafo daha fazla motoru besleyebilecek bir kapasiteye sahip olacak, bununla beraber kesici lüzumsuz yere büyük seçilmeyecek, kablo ise daha küçük kesitte seçilebilecektir.

Daha ilk bakışta reaktif akımın santralden alıcıya kadar taşınması, büyük ekonomik kayıp olarak görünmektedir. Genellikle enerji dağıtım şebekelerinde lüzumsuz yere taşınan bu enerji, taşınan aktif enerjinin % 75 – 100'ü arasında tespit edilmektedir. Bu reaktif enerjinin santral yerine, motora en yakın bir mahalden gerek kondansatör tesisleri, gerekse senkron döner makineler tarafından temin edilmesiyle, santralden motora kadar bütün tesisler bu reaktif akımın taşınmasından, yükünden arınmış olacaktır.

2.3. Reaktif Güç Kompanzasyonunun Faydaları

Eğer V ile I arasındaki açı büyütülürse Denklem (2.11) ifadesindeki $\cos\phi$ küçülecektir. Açının büyütülmeden önceki aktif güç değeri (açı değeri büyütüldükten sonra da) sabit tutulmak isteniyor ise, Denklem (2.11) ifadesinde görüldüğü gibi sabit gerilimli (enterkonnekte) şebekede I akım genliğini arttırmak gerekecektir. Akım genliğinin artması şebekenin daha fazla yüklenmesi demektir. Hem akım genliğinin artması hem de ϕ açısının artması Denklem (2.12) eşitliğinde verilen Q reaktif gücünün artması anlamına gelecektir. Bu ise iletim hatlarının fiziksel anlamda bir işe yaramayan güç ile meşgul edilmesi ve hat kesitinin bir kısmının bu (faydasız) güce tahsis edilmesi anlamına gelmektedir. Bilindiği gibi reaktif güç iki yönlü olup (aktif güç tek yönlüdür), periyodun yarısında kaynaktan yüke doğru, periyodun diğer yarısında ise yükten kaynağa doğru akmaktadır. İletim hatlarının yapım maliyeti oldukça yüksektir, bu nedenle hat kalınlığının (reaktif güç iletimi yüzünden) artması maliyeti de arttıracaktır. Reaktif güç transformatör ve generatörlerin içinden de geçtiğinden, iletim hatları için geçerli olan olumsuzluk bu elemanlar içinde geçerli olacaktır.

Ülkelerin enterkonnekte sistemini kontrol eden birimler, iletim hatlarının verimli kullanılmasını arzu ettiklerinden, müşterilerin ihtiyaçları olan reaktif güçleri enterkonnekte sistemden çekmemesini ve kendilerinin reaktif güç üretmesini (fabrika içinde) istemekte, bu işlemi yapmaya zorlamak için reaktif güç sayaçları yardımı ile müşterinin reaktif güç tüketimini ölçüp faturalandırmaya gitmektedir. Müşteriler ise reaktif güç parası vermemek için sayaçların ardından tesisleri içine kompanzasyon panosu kurarak fabrikalarının reaktif güç ihtiyaçlarını kendileri temin etmektedirler.

Reaktif güç üretimini zorunlu kılan bir diğer olay ise müşteri baralarının gerilim genlik değerlerini (değişik yük durumlarında bile) sabit tutmak ihtiyacıdır. Müşterilerin bağlı olduğu baranın gerilim genlik değeri nominal değerde sabit tutulamaz ise müşteri cihazlarına gelen gerilim bunların verimli bir şekilde çalışmasını mümkün kılamaz, hatta zarar bile verebilir. Bu tehlikeyi ortadan kaldırmak için enterkonnekte sistemin uygun yerlerine kompanzasyon cihazları bağlanarak sisteme reaktif güç pompalanır ve gerilim genlik değeri (kontrol cihazları yardımı ile) sabit tutulmaya çalışılır.

2.4. Kondansatörlerin Yapısı

Kondansatörler iletken iki tabaka ile bunların arasındaki dielektrik (yalıtkan) den oluşur. Yalıtkan malzeme olarak özel kağıt, polipropilen veya buna benzer maddeler kullanılır. Ayrıca bu maddelerin arasına sızdırılmış çeşitli yağ ve kimyasal maddeler de kullanılmaktadır.

Kondansatörlerin kapasitesi:

$$C = E \cdot a/d \quad (2.13)$$

a = Plakaların alanı, (m²)

C = Kondansatör kapasitesi, (Farad)

E = Kondansatör Plakaları arasındaki hava ve dielektriğin sabiti

d = Plakalar arasındaki mesafe, (m)

Paralel bağlı kondansatörlerin toplam değeri:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad (2.14)$$

Seri bağlı kondansatörlerin toplam değeri:

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}} \quad (2.15)$$

$$XC = \frac{1}{C \cdot \omega} = \frac{1}{C \cdot 2\pi \cdot f} \quad (2.16)$$

$$U = I_C \cdot X_C \quad I_C = \frac{U}{X_C} \quad (2.17)$$

Burada (U); (2).(3,14).(f) işletme şartları gereği C azalacağından kondansatörün çektiği akım da azalır.

Kondansatörlerde plakalar arasındaki yalıtkan madde zaman içinde birçok yerinden delinebilir.

Bu nedenle a yüzeyi küçüldüğünden C kapasitesi de küçülür. Bu da kondansatör akımının düşmesine yani kondansatörün gücünün azalması demektir.

Kondansatör Elemanı: Bölünmeyen ve birçok dielektrik ile ayrılan armatürlerden oluşan parçadır.

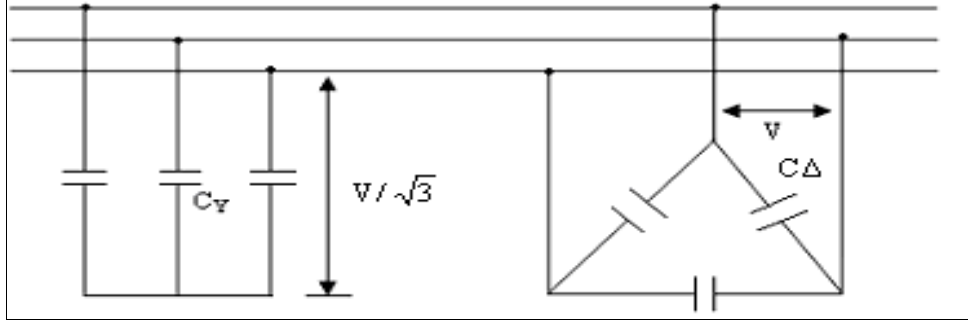
Kondansatör Ünitesi: Bir tank içindeki, çıkış bağlanması ile meydana getirilen gruplardır. Terminallerine bağlanmış olan bir ya da daha fazla kondansatör elemanından oluşan topluluktur. Kondansatörün ünitesi tek fazlı olup içten ya da dıştan sigorta ile korunurlar.

Kondansatör Bataryası: Birbirine elektrikli olarak bağlanan üniteler topluluğudur. Amaçlanan gerilim seviyesini ve gücü elde etmek için birden fazla ünitenin seri veya paralel bağlanması ile meydana getirilen gruplardır.

2.4.1. Reaktif güç kompanzasyonunda kondansatör hesabı

Üç fazlı sistemlerde kondansatörler yıldız veya üçgen bağlanırlar. Her iki bağlama şeklinin de kullanıldığı durumlar; maliyet, sistem gerilimi ve koruma gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Kompanzasyon amaçlı olarak kullanılan kondansatörler üçgen bağlandıklarında her elemana hattın faz arası gerilimi, yıldız bağlamada ise bu değer $1/\sqrt{3}$ katı kadar gerilim gelmektedir.

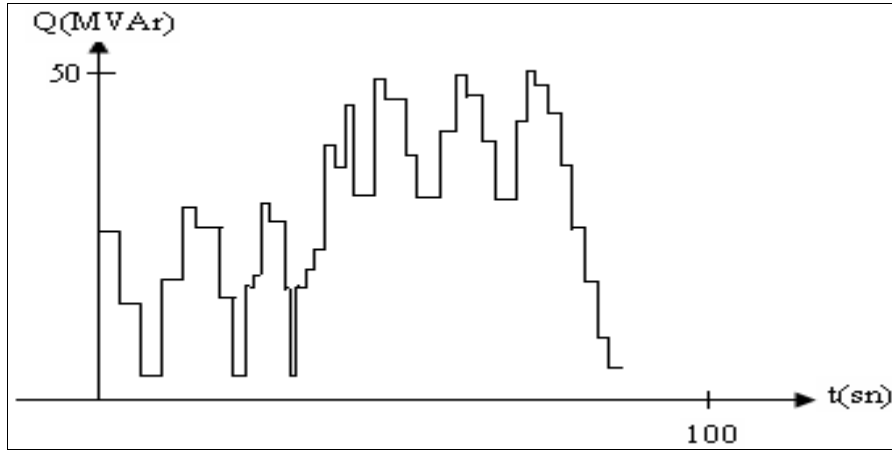
Şekil 2.4'de V (volt); faz arası (etkin) gerilimi, Q_c (Var); bir kondansatörün gücü ve f (Hz) ise şebekenin frekansı olmak üzere, kondansatörler yıldız olarak bağlandığında her bir faz ile nötr arasına konulan kapasite değeri ile üçgen bağlamada ki iki faz arasına bağlanacak kapasite değerleri farklıdır. Kondansatörleri yıldız bağlama ve üçgen bağlama arasında $C_Y/C_\Delta=3$ oranı bulunmaktadır. Kompanzasyon sistemini inşa edecek olan için iki alternatif bulunmaktadır; ya üçgen bağlamayı tercih edip C değeri düşük fakat uçları arasına gelen gerilim değeri (dolayısı ile yalıtım maliyeti) yüksek bir kapasite kullanılacaktır, yada yıldız bağlamayı tercih edip C değeri yüksek ancak gerilim değeri (dolayısı ile yalıtım maliyeti) düşük kapasite kullanılacaktır. Şekil 2.4'de üç fazlı sistemlerde kullanılan yıldız ve üçgen kapasite değeri gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Üç fazlı sistemlerde kullanılan yıldız ve üçgen kapasite bağlantısı

2.4.2. Reaktif güç kompanzatorleri

Reaktif güç değerleri veya güç katsayısı yaklaşık olarak sabit olan bir yük için C değeri sabit bir kondansatör kullanarak kompanzasyon yapılabilir. Fakat Şekil 2.5’de görüldüğü şebekeden çektiği reaktif güç değeri sürekli olarak değişen tüketicilere pratikte daha sıklıkla rastlanılır. Bu tür tüketicilerin reaktif güç kompanzasyonu için sabit kapasiteli kompanzasyon çözüm olamaz.



Şekil 2.5. Reaktif güç değeri sürekli olarak değişen tüketici gösterimi

Piyasada uygulanan kompanzasyon teknikleri aşağıda verilmiştir;

- Aşırı uyarılmış senkron makine (senkron kondenser) kullanmak,
- Mekanik olarak anahtarlanan (veya anahtarlanmayan) şönt kapasitör kullanmak,
- Mekanik olarak anahtarlanan (veya anahtarlanmayan) şönt reaktör kullanmak,
- Seri kapasitör kullanmak,
- Seri reaktör kullanmak,
- şönt kapasite ile birlikte doymuş reaktör kullanmak,
- Transformatör kademelerini değiştirmek,
- Statik Var kompanzatörleri kullanmak.

Kompanzasyon amaçlı olarak şebekeye paralel bağlanan senkron makine (miline yük bağlanmaz) şebekeden boşta çalışma kayıplarını karşılayacak kadar az aktif güç çeker ve uyarma akımı ayarlanarak şebekeye istenilen miktarda reaktif güç vermesi sağlanır. Bu tür çözümler pahalı olduklarından büyük miktarda reaktif güce ihtiyaç duyulan yerlere; enerji iletim hatlarının sonuna yada tüketim merkezlerinin girişine yerleştirilirler. Senkron makinelerin kayıpları kondansatörlere göre daha fazladır ve sürekli bakıma ihtiyaç duyarlar. Bunun yanında (ani reaktif güç talebinde) atalet momenti dolayısı ile cevap hızının düşük olması ve her faz için ayrı ayrı denetim imkânının olmayışı dinamik kompanzasyon için bir olumsuzluk kabul edilir.

Mekanik olarak anahtarlanan şönt kapasitörlerin yapıları ve çalışma prensipleri basittir. Değerlerinin sabit kalması nedeni ile değişken reaktif güç ihtiyacına cevap verememeleri ve anahtarlama sırasında ani gerilim dalgaları oluşturmaları ise olumsuz yönleridir.

Seri kapasitörlerin yapıları basittir. Olumsuz yönleri aşırı gerilime ve harmoniklere karşı (düşük harmonik filtresi kullanılarak) korunmalarının gerekmesidir. Seri kapasitörler hatların aşırı yüklenme kapasitelerini sınırlandırırılar. Seri reaktörler ise hattın kısa devre gücünü sınırlandırırılar.

Gerektiğinde şönt kapasite ile birlikte kullanılabilen doymuş şönt reaktörün hemen hemen hiç bakım gerektirmemesi, aşırı yüklenme kapasitesi ve düşük harmonikli olarak çalışması olumlu yönlerini teşkil eder. Sabit değerli olması, ani gelişen

olaylara karşı yavaş cevap vermesi ve sesli çalışması ise olumsuz yönleridir. Performans açısından senkron makineye (kondanser) en yakın kompanzasyon cihazıdır.

Transformatörün kademe ayarının değiştirilmesi ise harmoniklerin oluşmasına sebep olur ve ani değişimlere hızlı cevap veremez.

2.5. OG’de Kompanzasyon

Elektrik şebekelerinde AG’de yapılan kompanzasyonun yeterli olmadığı durumlarda OG’de de kompanzasyon yapma yoluna gidilebilir. OG’de yapılan kompanzasyon şehir şebekelerinde ideal bir çözüm şekli olmamakla birlikte yinede gerektiğinde yapılması gerekir.

OG’ de yapılan kompanzasyon tesisi belli bölgelerde toplandığı için; işletme ve bakımı daha kolaydır. Ancak ülkemizde OG kompanzasyon teçhizatı imal edilmemektedir. Bu konuda sadece kondansatör üretimi yapılmaktadır. Kondansatörleri devreye alıp çıkarırken oluşan yüksek kesme akımına dayanacak kesici gerekmektedir.

Ayrıca OG’ de otomatik kompanzasyon yapılması oldukça teferruat gerektirdiğinden genellikle sabit yapılmaktadır. Bu durum ise düşük yük şartlarında aşırı kompanzasyona sebebiyet verebilmektedir. Aşırı kompanzasyon yapıldığı durumlarda ise şebekede voltaj yükselmesine sebebiyet verilebilmektedir. Bu mahsuru asgariye indirmek için birden fazla kademeli olarak kondansatör tesis edilmelidir. Bu takdirde puant saatte kondansatörlerin tamamı puant zamanının dışında ise kısmi olarak devreye alınarak aşırı kompanzasyon durumu önlemeye çalışılacaktır.

OG kompanzasyon tesisinin işletme tesis ve bakım masrafları her ne kadar AG kompanzasyon tesisine göre avantajlı görünüyorsa da; şehir şebekelerinde ideal verim AG’de yapılan kompanzasyondan elde edilebilir. Zira kompanzasyonda esas kaide reaktif enerjinin tüketildiği noktada üretilmesidir.

Ayrıca enerji dağıtım hatlarında da OG kompanzasyon yapılmaktadır. OG hatlarının dalga empedans yükleme sınırının çok altında olmasından dolayı OG hatlarında şönt kompanzasyon yapmadan ekonomik bir yükleme yapılması mümkün değildir.

Hat üzerinde dalga empedans yüklemesi yapıldığında, hattın ürettiği ve tükettiği reaktif güçler birbirlerini dengelemekte ve bu durumda hattın iki ucundaki gerilimler eşit olmaktadır. Her ne kadar ideal yükleme bu ise de bu değer hattın termik yükleme sınırının çok altında olduğundan ekonomik olmamaktadır. Hat dalga empedans yüklemesinin çok üstünde bir değerde yüklendiğinde hatta bir gerilim düşümü meydana gelmekte ve reaktif güç akışı başlamaktadır. Bu durum sistemde gerilim dalgalanmalarına sebebiyet vermekte ve sistem kayıplarının artmasına sebep olmaktadır. $\cos \phi$ 'yi 1'e yakın bir değerde tutabilmek için; minimum yük şartlarında sistemde devamlı serviste kalan ve üzerinde otomatik kontrol düzeni olmayan şönt kondansatörler ile $\cos \phi = 1$ civarında tutulmakta, puant saatlerinde ise $\cos \phi$ 'yi 1 değerinde tutabilmek için ilave kondansatörler otomatik bir kontrol düzeni ile sisteme bağlanmaktadır.

OG şebekelerine şönt kapasitörlerin yerleştirilecekleri yerler şu şekilde tahsis edilebilir:

- YG/OG trafo merkezleri
- OG/OG trafo merkezleri
- OG şalt ve tevzi merkezleri
- OG hatlarında direk üzerinde

OG şebekesinde şönt kompanzasyon için geliştirilen kondansatör bankları bulunur. Bu banklar 3 – 12 veya 48 üniteli olarak imal edilmekte ve güçleri kademeli olarak 300 – 450 – 500 – 600 – 1200 – 1800 - 2000 – 2400 – 3600 – 4000 – 4800 – 7200 - 8000 - 9600 kVAR olarak değişebilmektedir.

Gücü 600 kVAr'a kadar olan kondansatör bankları bina içinde bir hücreye ve direk üstünde tesis edilebilirler Bunlar sigortalı bir yük ayırıcısı ile sisteme bağlanabilirler.

Büyük güçlü banklar dengesiz akım rölesi ile korunmalıdır. Bu durumlarda kondansatör bankları iki kademeli olarak düzenlenerek bir grubu sisteme sabit bağlanmalı, ikinci grubun ise otomatik olarak sisteme bağlanması sağlanmalıdır.

Bankların otomatik olarak servise alınıp çıkarılması için, aşağıdaki düzeneklerden biri kullanılabilir.

- Akım kontrolü
- Gerilim kontrolü
- VAR kontrolü
- Zaman saatli kontrol

2.6. Kapasitör Noktalarının Seçimi

Pratik olarak O.G kondansatör bankları hattın 2/3 mesafesinde tesis edildikleri takdirde azami faydayı sağladıkları tavsiye edilmektedir. Tabii bu noktalarda uygun yerlerin bulunması gerekmektedir.

Şönt kapasitörler hesaplanırken;

- Trafo sekonderinde son bir yıl içerisinde aylara göre çekilen aktif ve reaktif enerji miktarlarını ve ortalama $\text{tg}\phi$ değerlerini gösteren bir tablo oluşturulur.
- Bu cetvelden yararlanılarak $\text{tg}\phi$ 'nin en yüksek olduğu ay tespit edilir. Puant gücün zamanı tespit edilerek 24 saatlik ölçümler yapılır. (Aktif reaktif güçler tespit edilir.)
- Mevcut güç katsayılarını 0,98 yükseltmek için gerekli kondansatör güçlerini belirten tablo doldurulur.
- Trafo merkezindeki yıllık kayıtlardan yararlanılarak son bir yılda kaydedilen puant aktif ve reaktif güç ile bunlara tekabül eden diğer değerler bulunur.
- Cetvellerdeki değerler incelenerek maksimum kondansatör gücü bulunur. Bulunan güç, trafo gücünün (İndirici trafonun) %20'sinden büyük olması halinde %20'ye düşürülür (İndirici trafodan %20'nin üzerinde çekilememesi sebebiyle).

OG'de yapılan kompanzasyonun sistemde sağladığı faydalar puant güçte şöyle izah edilebilir:

Trafo merkezinde artan kapasite: (MVA)

$$\Delta S = \left[\frac{Q_c}{S} \times \sin \phi + \sqrt{\left(1 - \frac{Q_c^2}{S^2} \times \cos^2 \phi\right)} \right] \times S \quad (2.18)$$

$Q_c = \text{MVAR Kondansatör Gücü}$

$S = \text{MVA olarak trafonun nominal gücü}$

$\phi = \text{Mevcut Güç Faktörü}$

2.7. O.G'de Yapılan Kompanzasyonun Amacı

Reaktif enerji tüketimine sebep olan tesislerde kondansatör kullanılarak (sabit veya otomatik) sistemin çektiği akımın gerilime göre ϕ açısı bağıntısı küçültülerek güç kat sayısının yükseltilmesi işlemine kompanzasyon denir.

Bunun için gerekli kompanzasyon gücü aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanır.

- Sistemin şebekeden çektiği toplam güç: S_1
- Sistemin mevcut güç kat sayısı : $\text{Cos}\phi_1$
- Sistemin Yükseltileceği güç kat sayısı : $\text{Cos}\phi_2$, bilinmesi gerekir.

2.8. O.G'de Kompanzasyon Devre Elemanlarının Seçimi

a) Sigortalar: Her kapasitör ünitesini koruyan sigorta vardır. Ünite içinde herhangi bir arıza vuku bulduğunda, üniteyi devre dışı bırakır. Diğer üniteler devrede kalır.

b) Kesici: Kapasitif akımları açıp-kapamaya uygun olmalıdır. Kesici voltajı bara gerilimine uygun olmalıdır. Kısa devre açma gücü ilgili baranın kısa devre gücüne uygun olmalıdır. Vakumlu ve SF6 gazlı kesiciler bu amaç için uygundur.

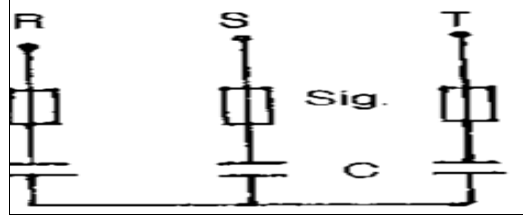
c) Akım trafosu: Kapasitör nominal akımının 1,45 katı değerinde seçilebilir.

d) Şok bobini: Kapasitör gruplarının devreye alma akımını sınırlamak için kullanılırlar. Yaklaşık olarak 50 mikro Henrylik şok bobini 5 MVAR' a kadar olan bir kapasitör için yeterlidir.

e) Kablolar: Kapasitörü besleyen kablolar, kapasitör nominal akımının 1,4 katından büyük seçilmelidir.

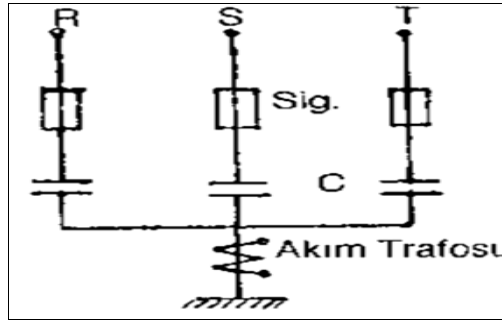
2.9. O.G'de Kapasitörlerin Bağlantı Şekilleri

Nötrü topraklı yıldız bağlantı: Bu tür bağlantı orta büyüklükteki kondansatör gruplarında kullanılır. Sistemdeki beklenen harmoniklere karşı emniyetli uygun bağlantı şeklidir. Aşırı gerilimlere karşı da duyarlıdır. Yine kısa devre gücü yüksek olan sistemlerde güvenli bağlantı şekillerindedir.



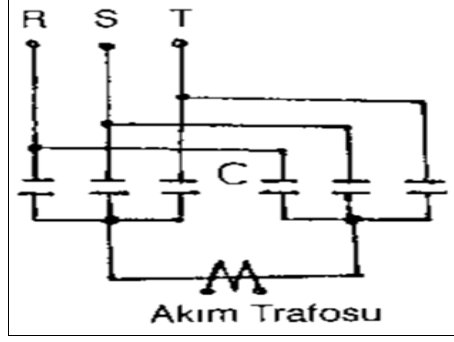
Şekil 2.6. Nötrü topraklı yıldız bağlantı

Nötrü topraklı yıldız bağlantı: Yüksek harmonik olan noktalara bağlanmaz. Küçük güçteki kondansatör grupları için ekonomik ve güvenli bir bağlantı şeklidir. Yıldırım darbelerini toprağa akıtarak baraya bağlandıkları noktada korumaya yardım ederler.

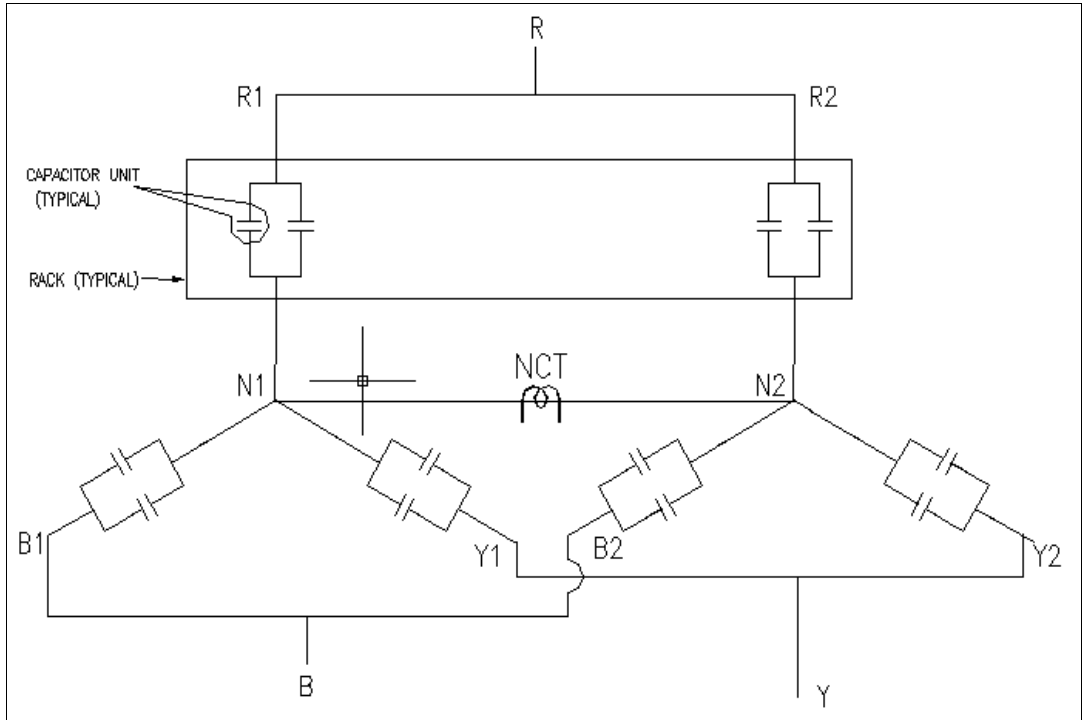


Şekil 2.7. Nötrü topraklı yıldız bağlantı

Eşit parçalı yıldız bağlantı: Büyük güçlü banklarda ve yüksek gerilimlerde en güvenli bağlantı şekli olup en ekonomik çözüm şeklidir. Buradan iki yıldız şeklinde düzenlenen kondansatör grubunun yıldız noktası topraklanmamıştır. Akım trafosu ile dengesizlik koruması yapılmaktadır .



Şekil 2.8. Eşit parçalı yıldız bağlantı



Şekil 2.9. Posco Assan TST'de kondansatörlerin bağlantı şekli

Monofaze kondansatörler ile çift yıldız oluşturulup, yıldız noktasına dengesizlik akım trafosu konulmuştur. 5 MVAR'lık kondansatör grubu 5. harmoniğe odaklanmıştır.

3. STATİK VAR SİSTEMLERİ

Genel olarak Statik Var Kompanzator (SVC) güç sistemine paralel bağlanarak çekilen veya aktarılan reaktif gücün kontrolü ile bağlı olduğu sistem geriliminin belirli limitlerde kontrolüne imkân sağlamaktadır. SVC genel olarak iki farklı konfigürasyona sahiptir. Bunlardan ilki, Tristör Kontrollü Reaktör (TCR) ve buna paralel bağlı kapasitörden, diğer konfigürasyon olan Tristör Anahtarlamalı Kapasitör (TSC) ise Tristör Kontrollü Reaktör ve ona seri bağlı kapasitörden oluşmaktadır. TCR ve paralel kapasitörden oluşan SVC konfigürasyonu uygulamalarda geniş olarak kullanılmaktadır. İdeal bir SVC aktif ve reaktif güç kaybı olmayan, gerilimi referans gerilime eşit değişmeyen ve çok hızlı cevap verebilen kontrolör olarak tanımlanmaktadır.

Alternatif akımla çalışan sistemlerinde reaktif güç kompanzasyonunun önemi bilinmektedir. Bu yüzden güç faktörünü ($\cos\phi$) düzeltmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Kompanzasyon sistemlerinde yükün özelliği çok önemlidir. Güç ve güç katsayısı sabit kalan bir yükün varlığı halinde uygun olarak seçilmiş bir kondansatör gurubu sorunu çözer. Fakat yük her an sistemden farklı aktif ve reaktif güç çekebiliyor ise yukarıda önerilen yaklaşım burada geçerli olmaz. Sürekli değişim gösteren reaktif güç üretimi önceleri, aşırı veya düşük uyarılmış asenkron makinelerle ve sonraları da doymalı reaktörler ve bunlara bağlı kondansatörler ile yapılmaktaydı. Özellikle son yıllarda yüksek güçlü yarı iletkenler (tristörlerin) üretilmesi ve bunların reaktif güç kompanzasyon sistemlerinde kullanılması yaygınlık kazanmıştır. Yarı iletkenlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilen (SVC) kompanzasyon sistemine statik var generatörü de denir. Bugün kullanılan tristör kontrollü statik var generatörünün çalışma prensibi; kondansatör ve/veya reaktörlerin, hesaplanan tetiklenme açılarına bağlı olarak şebekeye sokup çıkarılarak değişken değerli şönt empedans elde etmeye dayanır. Uygun tetikleme ile statik var generatörünün bağlı olduğu barada maksimum kapasitif reaktif güç değerinden maksimum endüktif reaktif güç değerine kadar geniş bir aralıkta reaktif güç ayarı yapılabilir.

3.1. Statik Var Sisteminin Özellikleri

- Yük değişimlerinin çok hızlı olduğu durumlarda, beklenmeyen olayların neden olduğu gerilim değişimlerinde, ani değişen yüklerin neden olduğu gerilim titremelerinde sistem gerilimini sabit tutmak için kullanılır.
- Anahtar noktalarda (örneğin uzun bir hattın orta noktası) gerilimi destekleyerek sistem stabilitesini sağlamak amacıyla kullanılırlar.
- Güç faktörü ve faz dengesizliğini düzeltmek amacıyla kullanılırlar.
- SVC'nin önemli bir özelliği reaktif gücü devamlı değiştirerek bağlandıkları baralardaki gerilim değerini sabit tutmaktır. Bara geriliminin sabit değerde tutulması dinamik şönt kompanzasyonunun en önemli hedefidir.

SVC'nin ikinci önemli özelliği ise cevap verme hızıdır. Kompanzatorün reaktif gücü, terminal gerilimindeki küçük bir değişime tepki olarak yeterli derecede hızlı değişmelidir.

3.2. Statik Var Sisteminin Ana Tipleri

SVC'nin ana tipleri;

- TKR-Tristör kontrollü reaktör(thyristor-controlled reactor,TCR)
- TAK-Tristör anahtarlamalı kapasitör(thyristor-switched capacitor,TSC)
- TAR-Tristör anahtarlamalı reaktör(thyristor-switched reactor,TSC)
- DR-Doymuş reaktör(saturated reactor,SR)

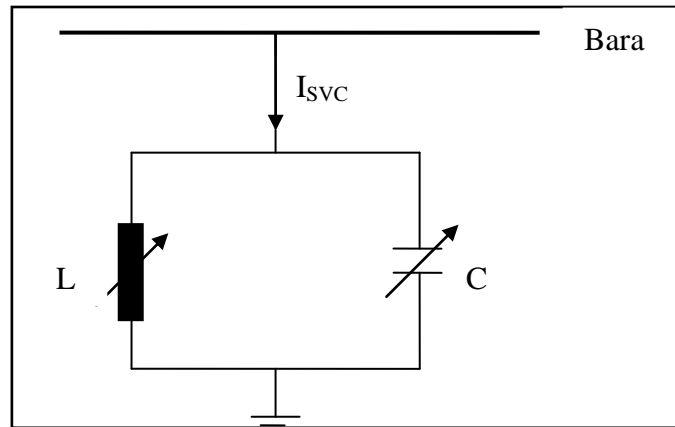
olarak özetlenebilir.

Tablo 3.1. SVC sistemlerinin karşılaştırılması[1]

Kompanzasyon cihazı	Olumlu özellikler	Olumsuz özellikleri
Anahtarlanabilir şönt reaktör	Çalışma prensibi basit, yerleştirilmesi kolaydır	Değişik reaktif güç değerlerine ayarlanamaz
Anahtarlanabilir şönt kapasitör	Çalışma prensibi basit, yerleştirilmesi kolaydır	Değişik reaktif güce ayarlanamaz, devreye alırken geçici olaylar meydana gelir
Seri kapasitör	Çalışma prensibi basit, performansı konulduğu yere göre pek değişmez	Aşırı gerilimlere karşı korunması gerekir, harmonik etkisine karşı filtre ihtiyacı vardır, aşırı yüklenme kapasitesini azaltır
Senkron motor (kondenser)	Düşük harmonik üretir, geniş bir kontrol aralığı vardır, aşırı yüklenebilir	Bakım gerekir, yavaştır, performansı konulduğu yere göre değişir
Doymalı reaktör	Aşırı yüklenme kapasitesi büyüktür, hata akımı üzerine olumsuz etkisi olmaz, düşük harmoniklidir, bakım gerektirmez	Çoğunlukla sabit değerlidir, performansı yerleştirdiği yere bağlı olarak değişir, sesli çalışır
Tristör kontrollü reaktör (TKR)	Hızlı cevap cevap özelliği vardır, kontrol aralığı çok büyüktür, hata akımına olumsuz etkisi olmaz	Harmonik üretir, performansı yerleştirildiği yere bağlı olarak değişir
Tristör anahtarlama kapasitör (TAK)	Hatadan sonra toparlanma süresi vardır, harmonik üretmez	Performansı yerleştirildiği yere bağlı olarak değişir, aşırı gerilimi önleyemez

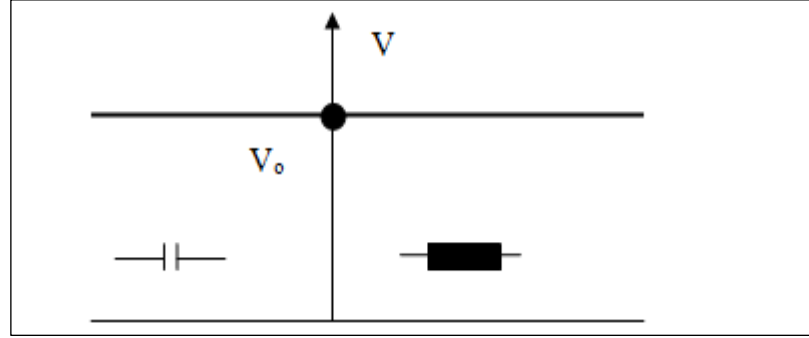
3.3. SVC'nin Ana Harmonik Frekansındaki Davranışı

SVC içinde kullanılan yarı iletkenler anahtarlama elemanı olduklarından, şekil 3.1'de gösterildiği gibi birbirlerine paralel bağlı ve ayarlanabilir bir reaktör ve kapasitenin SVC'nin eşdeğer devresi olarak kabul edilmesi mümkündür. SVC'nin amacı bağlı olduğu baranın gerilim ve reaktif güç değerini kontrol etmektir.



Şekil 3.1. SVC'nin eşdeğer devresi

İdeal bir SVC, (eğer bara gerilimini sabit tutmak birinci öncelik ise) aktif ve reaktif güç kaybı olmayan, istenildiği anda istenilen reaktif güç değerini üretebilen (veya emebilen) ve böylece bara gerilimini sabit tutan bir kompanzator anlamına gelir.

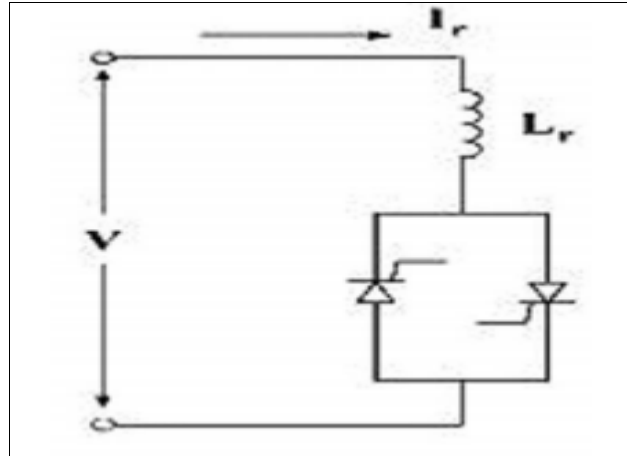


Şekil 3.2. ideal bir SVC' ye ilişkin akım - gerilim karakteristiği

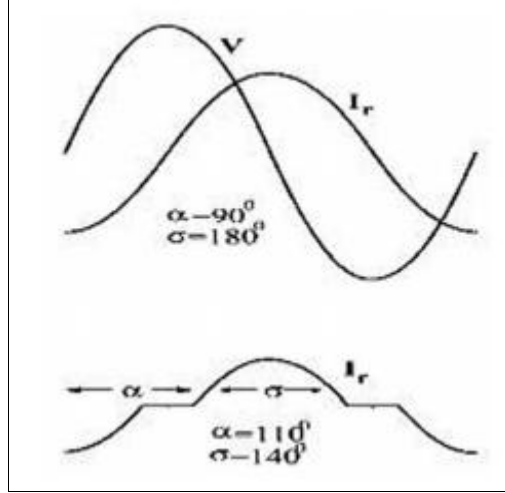
Kontrol edilen baranın genliği; V , SVC akım genliği; I_{SVC} , arzu edilen gerilim genliği; V_0 ise, ideal bir SVC' ye ilişkin akım-gerilim karakteristiği şekil 3.2'te gösterildiği gibi olacaktır.

3.4. Tristör Kontrollü Reaktör Hakkında Genel Bilgi

Tristör kontrollü reaktörün eşdeğer devresi, tetikleme açısı ile iletim açısı ve akım, gerilim değişimi şekil 3.3 ve 3.4'de gösterilmiştir[1]



Şekil 3.3. Tristör kontrollü reaktörün temel yapısı



Şekil 3.4. Gerilim ve akımın dalga şekli

İletim açısı (σ) tetikleme açısı (α) cinsinden yazıldığında;

$$\sigma = 2(\pi - \alpha) \quad (3.1)$$

Reaktör üzerinden akan ani akım aşağıdaki gibi yazıldığında;

$$i_r(t) = \sqrt{\frac{V_m}{X_r}} \left(\cos\left(\frac{\pi - \sigma}{2}\right) - \cos(\omega t) \right) \quad (3.2)$$

şeklinde olur.

Devrenin temel akım bileşeni Fourier Analizi ile şu şekilde hesaplanabilir;

$$I_r^{(1)} = \frac{V_m}{\sqrt{2} X_r} \left(\frac{\sigma - \sin \sigma}{\pi} \right) \quad (3.3)$$

Burada V_m değeri reaktörün maksimum değerini, X_r değeri ise reaktörün reaktansını göstermektedir. Devrenin temel akımı $I_r(1)$ σ ve α değerleriyle bağlantılıdır.

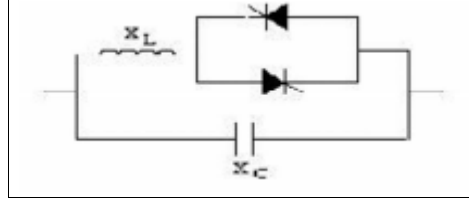
Akımın ve gerilimin bileşenlerinden yararlanılarak TCR süseptans değeri şu şekilde hesaplanabilir;

$$B(\alpha) = \frac{I_1}{V} = \frac{\sigma - \sin \sigma}{X_r \pi} = \frac{2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha}{X_r \pi} \quad (3.4)$$

Devrede maksimum süseptans değeri $\sigma = 180^\circ$ ve $\alpha = 90^\circ$ değerlerinde elde edilir.

TCR devreleri α tetikleme açısı ile reaktörün süseptans değerlerini ayarlayarak istenilen güçte endüktif reaktif enerji tüketirler.

TCR ve paralel kapasitörden oluşan SVC yapısı;



Şekil 3.5. SVC prensip devre şeması

Tristör kontrollü reaktör daima endüktif karakterlidir. Bu sisteme uygun boyutlarda sabit paralel (şönt) kapasite bağlanırsa tetikleme açısına bağlı olarak, toplam sistem endüktif veya kapasitif karakterli yapılabilir.

SVC'nin eşdeğer empedansı, TCR tristörlerinin tetikleme açısı değiştirilerek endüktif veya kapasitif olarak belirlenen sınırlar arasında değiştirilebilir. Endüktif değer için sistemden reaktif güç çekilmekte, kapasitif çalışma durumunda ise sisteme reaktif güç enjekte edilmektedir.

Tristörlerin ateşleme açılarının değiştirilmesi reaktör akımının temel bileşenine, dolayısıyla endüktif reaktif güç büyüklüğünü denetleyecektir. Bir yandan sabit kondansatörler kapasitif reaktif güç üretirken diğer yandan kontrollü reaktör endüktif reaktif güç tüketecektir. Belirli bir reaktif güç seviyesinde kondansatör grubunun reaktif güç üretimi sabit olduğundan, sistemin reaktif güç üretimi ateşleme açılarının değişimi ile sağlanmaktadır.

4. MANYETİK NÜVELİ REAKTÖR

Enerji iletim/dağıtım sistemlerinde reaktif güç kayıplarını minimuma indirmek için şönt reaktör ve şönt kapasitörler kullanılır. Uygulanacak kompanzasyon sisteminin değişken karakteristikli yük durumları için reaktör/kapasitör sistemi kontrol edilebilir olmalıdır. Reaktif güç kompanzasyon sistemlerinin geleneksel yöntem; kesiciler ile anahtarlanması olup bu beraberinde birçok problemi beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada orta gerilim sistemlerinde reaktif güç kontrolünün kademesiz ve hızlı bir yöntemi olan manyetik doymalı reaktör sistemi ve endüstriyel bir tesiste ki uygulaması tanıtılmıştır.

Reaktif güç kontrolü enerji iletim/dağıtım sistemlerinde verimli bir çalışma için en önemli konulardan biridir. Şebekede reaktif gücü ekipmanların karakteristikleri ve yükler etkiler. Kompanzatorler her zaman yükün oluşturduğu reaktif gücü değil, iletim/dağıtım sistemlerinde ki ekipmanlarında reaktif gücünü kompanze etmesi gereklidir. Dolayısıyla reaktif güç kompanzasyon sistemi tasarımında bunların tamamının etkisi göz önüne alınmalıdır.

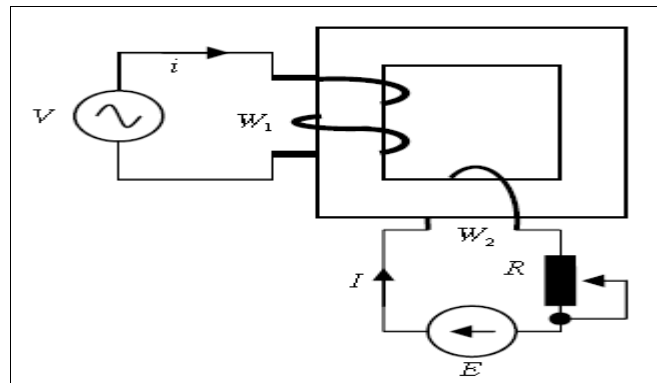
4.1. Manyetik Nüveli Reaktör Hakkında Genel Bilgi

Orta gerilim kesicilerinin belirli bir açma-kapama limitleri vardır ve kapasitör anahtarlanması sistemde kolaylıkla aşırı gerilime sebebiyet verir. Böylece sistemin kararlılığını ve güvenliğini tehdit eder. Reaktif gücün yeterli olmadığı durumlarda, gerilim seviyesi düşük seviyeye düşer ve ya tam tersi durumda gerilim seviyesi aşırı yükselir. Etkili gerilim kontrolü ve gerekli reaktif güç kompanzasyonu gerilim kalitesini düzelttiği gibi sistemin kararlılığı ve güvenilirliğini iyileştirerek sistemin ekonomik verimliliğini sağlar[2]. Eğer şönt reaktörün reaktansı kontrol edilebilirse, reaktans iletim hattı yükü için ayarlanabilir ve böylece sürekli reaktif güç kompanzasyonu sağlanarak iletim hattında ki kayıplar azaltılır ve taşınan aktif güç miktarı kapasitesinde artış olur. Ayrıca şönt reaktörler yük atma işlemleri ya da nötr-toprak hatası sonucu oluşan aşırı gerilimi sınırlandırır[3].

İki çeşit kontrol edilebilir reaktör vardır: manyetik kontrollü reaktör ve tristör kontrollü reaktör. Doyurulabilir reaktör ferromanyetik çekirdek üzerinde iki sarımdan oluşmaktadır [4]. DC akım kontrol sarımdan geçerek ana sarımın reaktansını azaltır. DC akım uyarması AC sarımın endüktans değerinin doyurulma derecesinin değiştirilmesini kontrol etmek için kullanılır [5]. TKR sisteminde reaktör tek yönlü tristör vanası ile seri bağlanmıştır. TKR'nin reaktansı reaktörden geçen akımı düzenlemek için anahtarlama açısını değiştirilerek kontrol edilir.

Manyetik nüveli reaktörün(MCR) çalışma prensibi manyetik büyütece dayalı bir çeşit doyurulabilir reaktör çeşididir. 1986 yılında MCR'nin çalışma yapısı manyetik vanaya dayalı olarak geliştirildi ve reaktörün performansı büyük ölçüde geliştirilmiş oldu.1990'lı yıllarından beri MCR üzerinde çalışılarak elektrik demir yolu, çelik endüstrisi ve güç sistemleri için manyetik vana tip reaktör geliştirilmiştir [6].

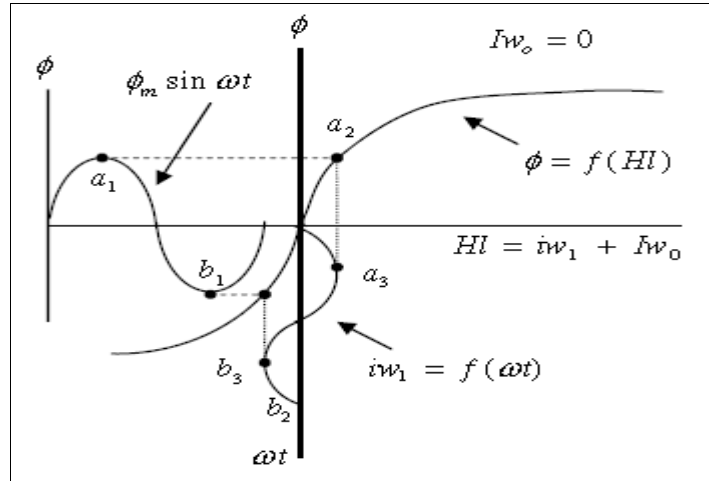
MCR'nin 2 sarımı vardır: AC sarım (ana sarım) ve DC sarım (kontrol sarımı).Manyetik kontrollü reaktörlerde ki endüktans değişimi manyetik çekirdekteki manyetik akım gücü değişimi kontrol edilerek kazanılır. MCR'nin kontrol sarımında ki doğrusal akımın artırılması, manyetik alan kuvvetini artırır. Manyetik alan kuvvetinin artması geçirgenliği azaltır. Geçirgenliğin azalması MCR'nin endüktansını artırır. MCR'nin endüktansının azalması MCR'nin şönt reaktör reaktansını azaltır, ve reaktansın azalması şönt MCR'nin çekeceği reaktif gücü artırır.Böylece MCR'nin kontrol sarımında ki akım MCR'nin anahtarlanmasını sağlar.Bu değişiklik MCR'deki manyetik çekirdeği doyuma götürür.Çekirdeğin doymuş olduğu periyot MCR'nin başlıca kontrol prensibidir [7,8].



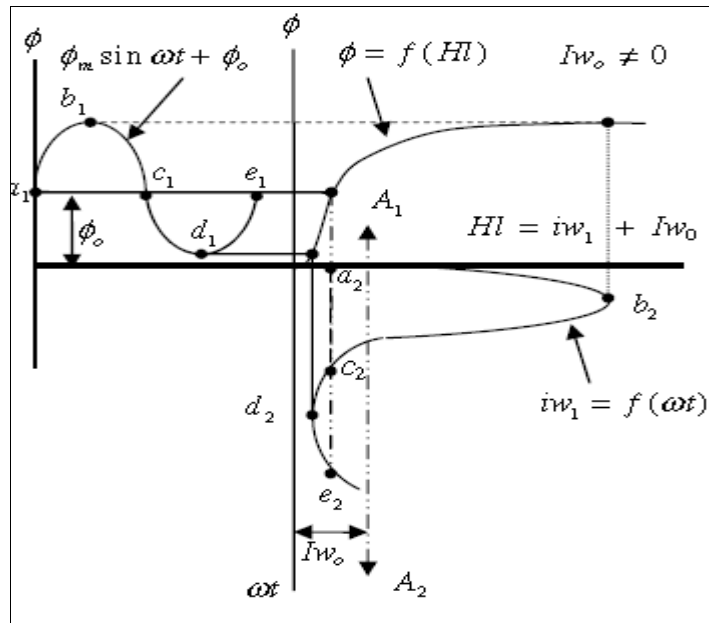
Şekil 4.1. Basit endüktans kontrolü

W1 sargısında alternatif akım i vardır ve sargının kontrolünü sağlar. W2 sargısında ise I doğru akım kaynağıdır. Eğer $\phi = \phi_m \sin \omega t$ ve $\phi = f(HI)$, her ωt değeri için $\phi = f(HI)$ eğrisi anlamına gelen HI 'nin uygun değerini buluruz ve $iW_1 + IW_2 = f(\omega t)$ eğrisini yaparız.

Şekil 4.2 ve 4.3 de doğru akımın 0 a eşit olma ve eşit olmama durumlarındaki alternatif akım ve manyetik akı açıklanmaktadır[9].



Şekil 4.2. $I=0$ ise manyetik akı ve akım eğrisi



Şekil 4.3. $I \neq 0$ ise manyetik akı ve akım eğrisi

MCR'nin düşük harmonik çıkışı, düşük güç tüketimi, bakım gerektirmeyen, yüksek güvenilirlik, ucuz fiyatlı olması gibi pek çok avantajları vardır ve ideal bir dinamik reaktif güç kompanzasyon ve voltaj düzenleme cihazıdır. TCR ise pahalı fiyatlıdır ve uygulanması için geniş alana ihtiyaç duyar. MCR diğer cihazlara göre daha verimli ve daha güvenilir ve daha düşük maliyetlidir. TCR yüksek oranlı tristör sistemi gerektirir. Fakat MCR düşük güçte manyetik kutuplamaya dayalıdır ve yüksek oranla tristörlere gereklilik duymaz. Sistemde kullanılan tristörler harici olarak MCR yanına pano içerisine konumlanmıştır.

Merkezi bir noktada, hızlı, az yer gerektiren, düşük harmonik bozulmalı, bakım gerektirmeyen MCR sisteminin 10MVar'a kadar olan uygulamalar için ideal çözüm olduğu görülmektedir. Bu güçlerin üzerinde ise TCR kullanımı gereklidir.

4.1.1. Harmonikler ve tepki sürati

Genellikle iletim sistemlerinin dengeli çalışmasında kullanılan Treble-Tripler reaktörleri gibi üç-fazlı, çok çekirdekli reaktörler, seri bağlı basit yıldız ve faz kaydıran zigzag sargılarla bitişik Üçgen bağlı üçüncü bir sargı devresinden oluşur. Bu çok sargılı, çok çekirdekli şekiller dâhili olarak, eğim reaktansı X_s 'in çok küçük olabildiği (örneğin 0,1 bd) doyum bölgesine sürülen reaktörler tarafından, aksi takdirde oluşturulacak harmonik akım bozunumlarını ve V/l eğimindeki doğrusallıktan sapmaları kompanze ederler. Treble-Tripler reaktörün harmonik kompanzasyon şekilleri, üçüncül devrede, üçüncü harmonik frekansında çalışan küçük bir yardımcı doymuş reaktör kullanarak daha da geliştirilebilir, böylece karakteristik 17. veya 19. harmonikte maksimum akım sadece %2 ile %3'tür, diğer tüm harmonikler ise %0,5'den daha azdır. Bu harmonik içerik, aynı tepki süratine sahip düşük reaktans tasarımlı 12 vurumlu TKR ile kıyaslandığında oldukça küçüktür. Böylece harmonikler ve tepki sürati olarak Treble-Tripler doymuş reaktörleri performanslarını geliştirmek üzere tristör kontrolü gerektirmezler.

4.1.2. Aşırı yük kapasitesi

DR'ün V/I karakteristiği, doymuş eğim reaktansı (0,08 ile 0,15 bd) 4 bd ve daha yüksek akım değerlerine kadar aşırı akım/aşırı gerilim bölgesinde bile korur. Bu özellik, DR'ün yüksek aşırı akımlar çekmesini ve dolayısıyla iletim şebekesinde, örneğin hatta enerji verilmesi veya yük atımı ile oluşan geçici aşırı gerilimleri sınırlayarak önemli bir yarar sağlar. Trafo-türü yapısından dolayı doymuş reaktör (ve indirici trafo), tasarımında ufak değişikliklerle bir veya iki dakikaya kadar süreler için aşırı akımlara dayanma yeteneğine sahiptir. Bu tür aşırı yük kapasiteleri, daha önceki bölümde anlatıldığı gibi TKR'de özel değişiklikler gerektirir. Doymuş reaktör dizgesi, aşırı akımlar 2 bd'den büyük olduğunda, eğim kondansatörü oranının normal seviyesinin üzerine çıkarılmasını gerektirir ve uzun süreler dayanır. O zaman, eğim kondansatörünün göreceli olarak sınırlı aşırı gerilim kapasitesi, doymuş-reaktör kompanzatorünün üstün aşırı yük özelliğini azaltabilir ve onun karakteristiğini ayarlama da kullanılacak herhangi bir seçenek bu konuda kabul edilebilir özelliklere sahip olmalıdır.

4.1.3. Dâhili kontrol karakteristiğinin ayarlanması

Harmonik kompanzasyonlu doymuş reaktör, 70 kV'a kadar sistemlere doğrudan bağlanmaya uygundur. Daha büyük iletim gerilimleri için genellikle bir indirici trafo kullanılır. Normal olarak reaktör oranına bağlı olarak 0,08 ile 0,15 bd arasında değişen reaktörün sınırlı dâhili eğim reaktansı (X_s) ile trafo reaktansı (X_t), sistem gerilimin (V) kompanzator tarafından doğrudan kontrol gerektiği biçimde (örneğin AV %5 veya daha az) izin vermezler. Böylece bu reaktansları istenilen ölçüde kompanze etmek için seri bir eğim düzeltme kondansatörü (X_{cs}) kullanılır.

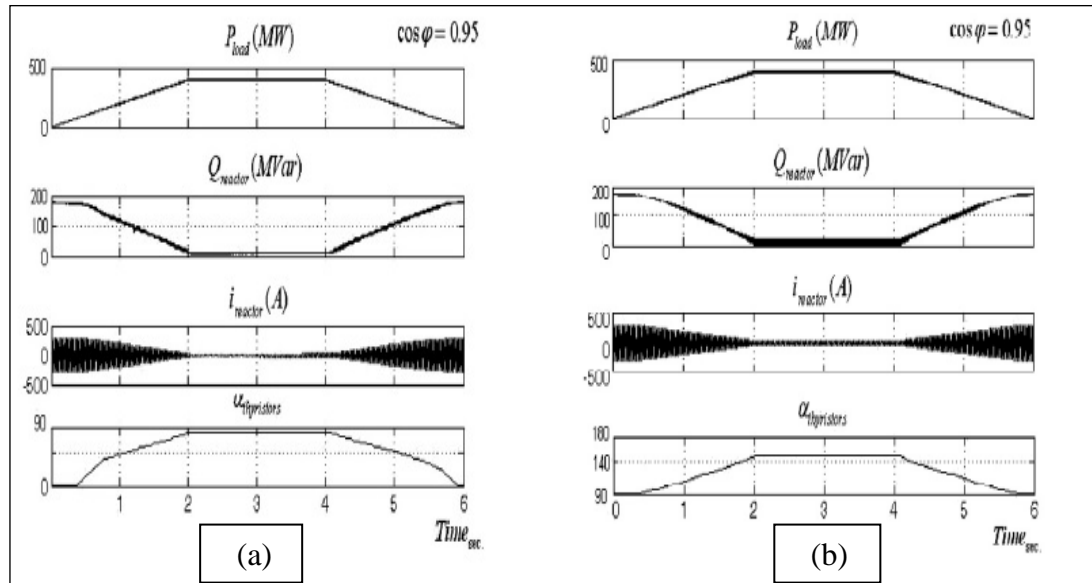
X_{cs} kondansatörü, güç frekans performansını bozmaksızın ferro-rezonans, harmonik altı salınımları bastırmak üzere tasarlanmış bir süzgeç devresi ile geçici etkiler ve arızalar nedeniyle oluşacak kısa süreli aşırı gerilim yüklenmelerine karşı koymaya çalışacak gereksiz seri kondansatör etkisinin getireceği ek maliyeti sınırlamak üzere tasarlanmış bir takım aşırı gerilim koruma araçlarına gerek duyar. Aslında DR bir sabit gerilim aracıdır ve sistem gerilim seviyesini V ayarlamak gerekirse, trafoya bir yükte tap değiştirici eklenir ve bu bir referans geriliminin %0,5 ile %1 basamaklarında %10 sahasında harici olarak kontrolünü sağlar. Bununla birlikte, bu

karakteristiklerdeki değişimlere sadece tap değiştiricinin çalışma hızında ulaşılabilir (tipik olarak her tap kademesinde birkaç saniye). DR kompanzatör dizgesi, birçok uygulamalarda oldukça başarılıdır. Eğim düzeltme kondansatörü devresi ile V/I karakteristiğini düzenleyen mekanik tap değiştirici, genellikle kullanılan araçların maliyetini yükseltir. Böylece geliştirme abaları, DR kompanzatör düzeneğinde istenen ayarlamaları sağlamak için alternatif, daha üstün ve daha ucuz yolların araştırılmasına yöneltiľmiştir.

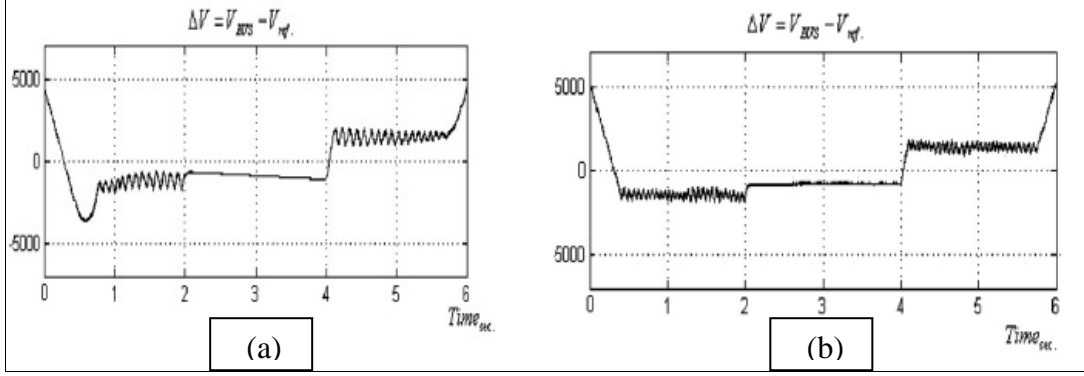
4.2. MCR ve TCR Karşılaştırılması

Mcr ve Tcr'li orta gerilim kompanzasyon da fiyat olarak aynı güçlerde MCR'li sistemin yaklaşık %30'luk fiyat avantajı vardır.

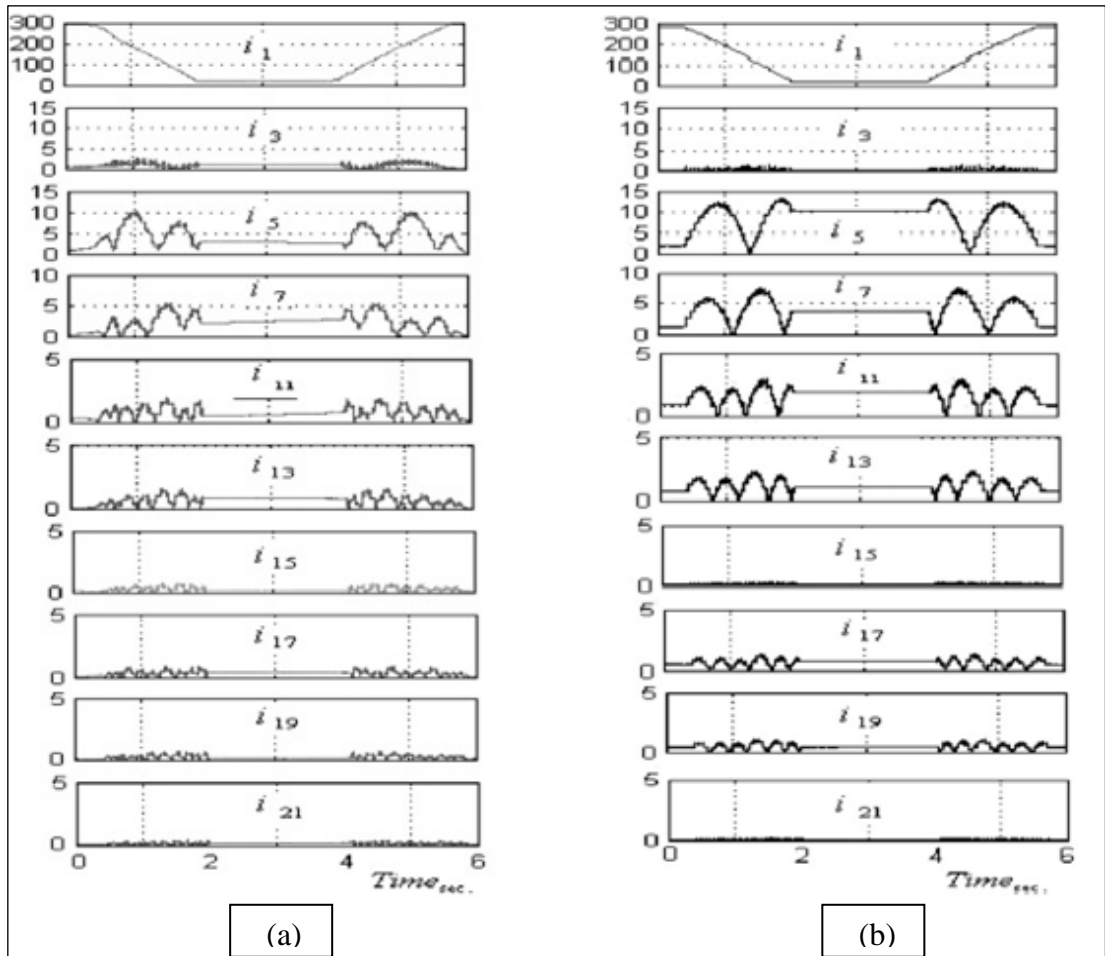
Matlab'da simüle edilmiş sistemler 6 sn boyunca ölçülp grafiği çizilmiştir [10].



şekil 4.6. Yükle değişme oranı, Reaktörde harcanan reaktif güç, Reaktörün akımı, Tristörlerin akısı, a) MCR'de, b) TCR'de



Şekil 4.7. ΔV değişim oranları, a) MCR'deki değişimler, b) TCR'deki değişimler



Şekil 4.8. 1., 3., 5., 7., 11., 13., 15., 17., 19. ve 21. akım harmonikleri, a) MCR'de, b) TCR'de

Tablo 4.1. MCR ve TCR kompanzatörlerin karşılaştırması

	MCR - SVC	TCR - SVC
Tepki Süresi	< 10 ms	< 10 ms
Harmonik Bozulma	5. hr < % 2,6 7. hr < % 1,5 11. hr < % 0,6 13. hr < % 0,3	5. hr < % 5 7. hr < % 2 11. hr < % 1 13. hr < % 0,7
Gerilim Dayanımı	Düşüktür, ardışıl seri SCR gerektirmez	Yüksektir, ardışıl seri bağlı SCR gereklidir
SCR Isınımı	Düşüktür, harici soğutma sistemi gerektirmez	Büyüktür, su / hava soğutmalı bir sistemle birlikte kullanılır
SCR Yerleşimi	Dahili / Harici	Dahili
Bakım	Gerektirmez	Periyodik bakım gerektirir
Güvenilirlik	25 yıl hatasız çalışabilir	SCR'ler sık arıza yapar
Aşırı Yüklenme Kapasitesi	1,5 katı	Aşırı yüklenemez
Elektromanyetik Kirlilik	Yoktur	Reaktör büyük manyetik alan oluşturur
Gürültü	70-72 db	<62 db
Aktif Güç Kaybı	% 0,8	% 0,8
Kurulumu için gerekli alan	Küçük	Büyük

5. POSCO ASSAN TST UYGULAMASI

Posco Assan TST Çelik Sanayi A.Ş. Güney Kore merkezli Posco, Kibar Holding ve Daewoo International'ın işbirliğiyle 14 Mart 2011'de kurulmuştur. Posco Assan TST Türkiye de soğuk haddeleme teknolojisi ile paslanmaz çelik üretiminde öncü bir kuruluştur. Posco Assan TST, Kocaeli Asım Kibar OSB'de 170.000 m² lik bir alana kurulmuştur. Tesisin yatırım maliyeti 357 milyon dolardır. Yıllık 200.000 ton kapasitesi bulunan tesisin 500 çalışanı ile 2013 yılının üçüncü çeyreğinden itibaren faaliyete geçmiştir. Posco Assan TST sahip olduğu etik değerler ile tüm yasa ve yönetmeliklere, insan haklarına, uluslararası sözleşmelere ve çevreye saygılı, sosyal sorumluluk bilinci yüksek bir şirkettir.

5.1. Genel Tanıtım

Normal alaşımsız ve az alaşımlı çelikler korozyon etkilere karşı dayanıklı olmadıklarından, bu tür uygulamalar için genellikle paslanmaz çeliklerin kullanılması gerekir. Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımları yanında, değişik mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmeleri, şekil verme kolaylığı, estetik görünümleri gibi özelliklere sahiptirler. Kullanımları giderek yaygınlaşan paslanmaz çeliklerin tüketimi, toplumlarda refah seviyesinin bir göstergesi sayılmaktadır.

5.2. Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri

- Korozyon Dayanımı
- Yüksek ve Düşük Sıcaklıklar
- İmalat Kolaylığı
- Mekanik Dayanım
- Görünüm
- Hijyenik Özellik
- Uzun Ömür

5.3. Paslanmaz Çelik Türleri

Paslanmaz çeliklerde kimyasal bileşim değiştirilerek farklı özelliklerde alaşımlar elde edilir. Krom miktarı yükseltilerek veya nikel ve molibden gibi alaşım elementleri katılarak korozyon dayanımı artırılabilir. Bunun dışında bakır, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, azot, kükürt ve selenyum gibi bazı elementlerle alaşımlama ile ilave olumlu etkiler sağlanabilir. Bu şekilde makine tasarımcıları ve imalatçıları değişik kullanımlar için en uygun paslanmaz çeliği seçme şansına sahip olurlar. Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri, önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır. Bunlardan öncelikle krom ve nikel içyapının ferritik veya ostenitik olmasını belirler.

Paslanmaz çelikler 5 ana grupta toplanırlar:

- Ferritik
- Martenzitik
- Ostenitik
- Ferritik-Ostenitik (dubleks)
- Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar

Bu gruplandırma malzemelerin içyapısına göre yapılmıştır. Posco Assan TST tesislerinde ostenitik ve ferritik çelik türlerini üretmektedir. Bu gruplar içinde en yaygın olarak kullanılanlar ostenitik ve ferritik çelikler olup, bunların kullanımları tüm paslanmaz çelikler içinde %95'e ulaşır.

Ferritik Paslanmaz Çelikler: Bunlar düşük karbonlu ve %12 - 18 krom içeren paslanmaz çeliklerdir.

Başlıca Özellikleri:

- Orta ila iyi derecede olan korozyon dayanımı, krom miktarının artması ile iyileşir.
- Isıl işleme dayanım artırılmaz ve sadece tavllanmış durumda kullanılır.
- Manyetikler.
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür.
- Ostenitik çelikler kadar kolay şekillendirilemezler.

Ostenitik Paslanmaz Çelikler; Paslanmaz çeliğin bileşiminde yeterince nikel bulunursa, içyapısı oda sıcaklığında dahi ostenitik olur. Ostenitik çeliklerin temel bileşimi %18 krom ve %8 nikeldir. Ostenitik paslanmaz çelikler, biçimlendirme, mekanik özellikler ve korozyon dayanımı bakımından çok uygun bir kombinasyon sunarlar. Süneklikleri, toklukları ve biçimlendirilme kabiliyetleri düşük sıcaklıklarda bile mükemmeldir. Manyetik olmayan bu çeliklere, ostenitik içyapıları dönüşüm göstermediği için normalleştirme veya sertleştirme ısı işlemleri uygulanmaz, mekanik dayanımları ancak soğuk şekillendirme ile artırılabilir. Toplam paslanmaz çelik üretimi içinde ostenitik çeliklerin payı % 70'tir ve aralarında en çok kullanılan 304 kalitedir.

Başlıca Özellikleri:

- Mükemmel korozyon dayanımına sahiptirler.
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri mükemmeldir.
- Sünek olduklarından kolay şekillendirilebilirler.
- Hijyeniktirler, temizliği ve bakımı kolaydır.
- Yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özelliklere sahiptirler.
- Düşük sıcaklıklarda mekanik özellikleri mükemmeldir.
- Manyetik değildirler.(tavlanmış halde)
- Dayanımları sadece pekleşme ile artırılabilir.

5.4. Üretim Teknolojisi

Taşlama: Döküm sırasında slab yüzeylerinde çeşitli kusurlar ortaya çıkabilir. Bekletilerek soğutulan yassı kütüklerin yüzey kusurları değişik ebatlardaki taşlama tezgahlarında yerel olarak veya yüzey tamamen taşlanarak giderilir.

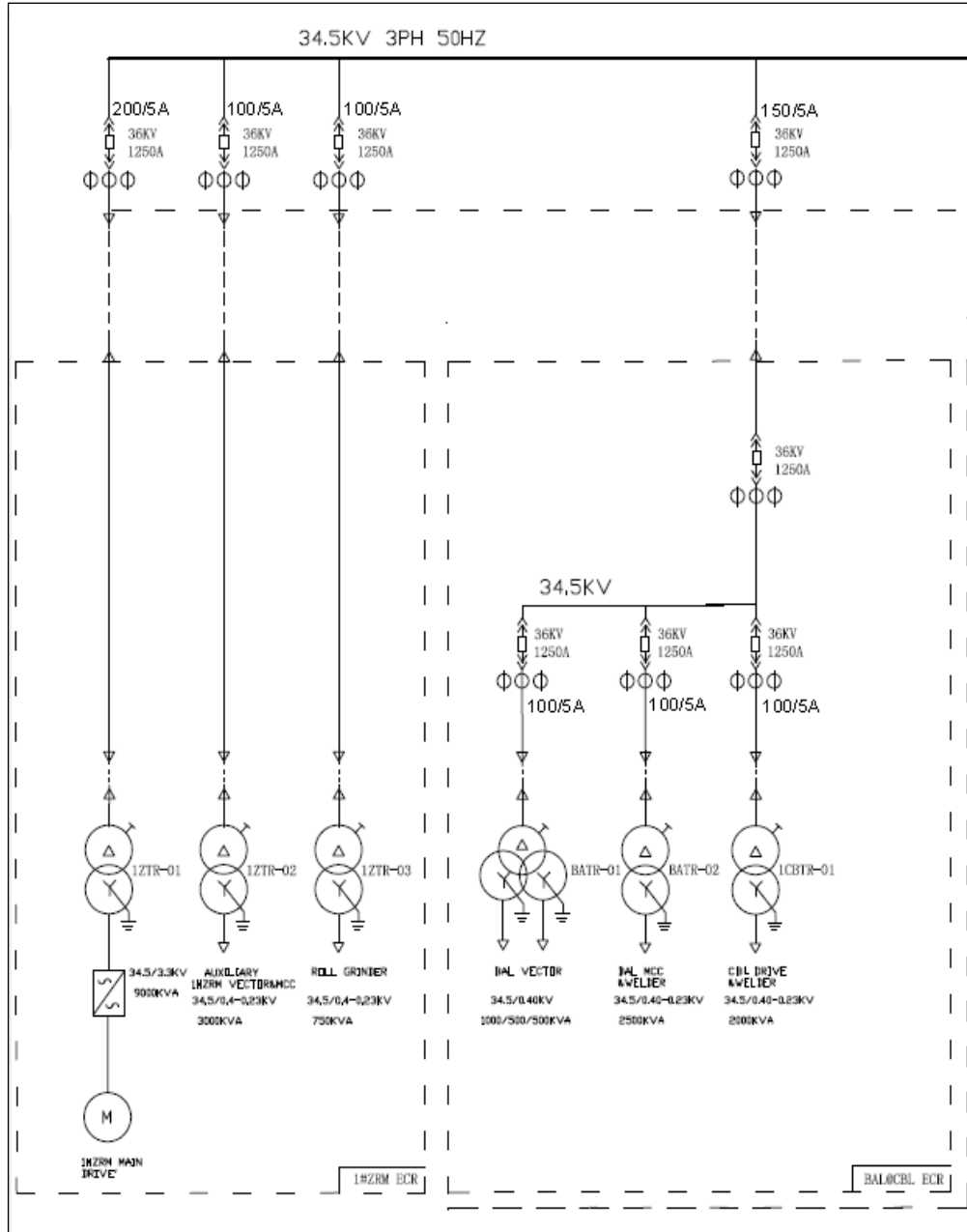
Tavlama ve Asit Banyosu: Sıcak haddeleme sonrasındaki yapılan ilk işlemler: malzemenin kontrolü, küçük rulolarda sarılı olan malzemelerin uçlarından kaynakla birleştirilerek daha büyük ruloların oluşturulması ve gerekirse şerit kenarlarının tıraşlanarak tesviyesidir. Ardından; tavlama ısı işlemi ile çeliğin yumuşatılması ve içyapısının homojenleştirilmesi, asit banyosu ile yüzeylerin temizlenmesi işlemleri yapılır. Bu işlemler ardışık sürekli hatlar üstünde yapılır. Bu hatlar üstünde fırınlar, kumlama ve asit banyosu üniteleri mevcuttur. Asit banyosunda malzeme yüzeyinin

temizlenmesi ve istenen yüzey özelliklerinin kazandırılması işlemi, soğuk haddeme öncesinde olduğu gibi, sıcak haddelenmiş olarak satışa sunulacak malzeme üzerinde de uygulanır. Soğuk haddeme öncesinde yapılan en son işlem, sıcak haddeme ve diğer işlemlerden kalma yüzey kusurlarının taşlama hattında giderilmesidir. Ayrıca, satışa sunulacak sıcak haddelenmiş bu ürünün müftleri istekleri doğrultusunda yüzey özelliklerini kazandırmak üzere parlatılması da yapılabilir.

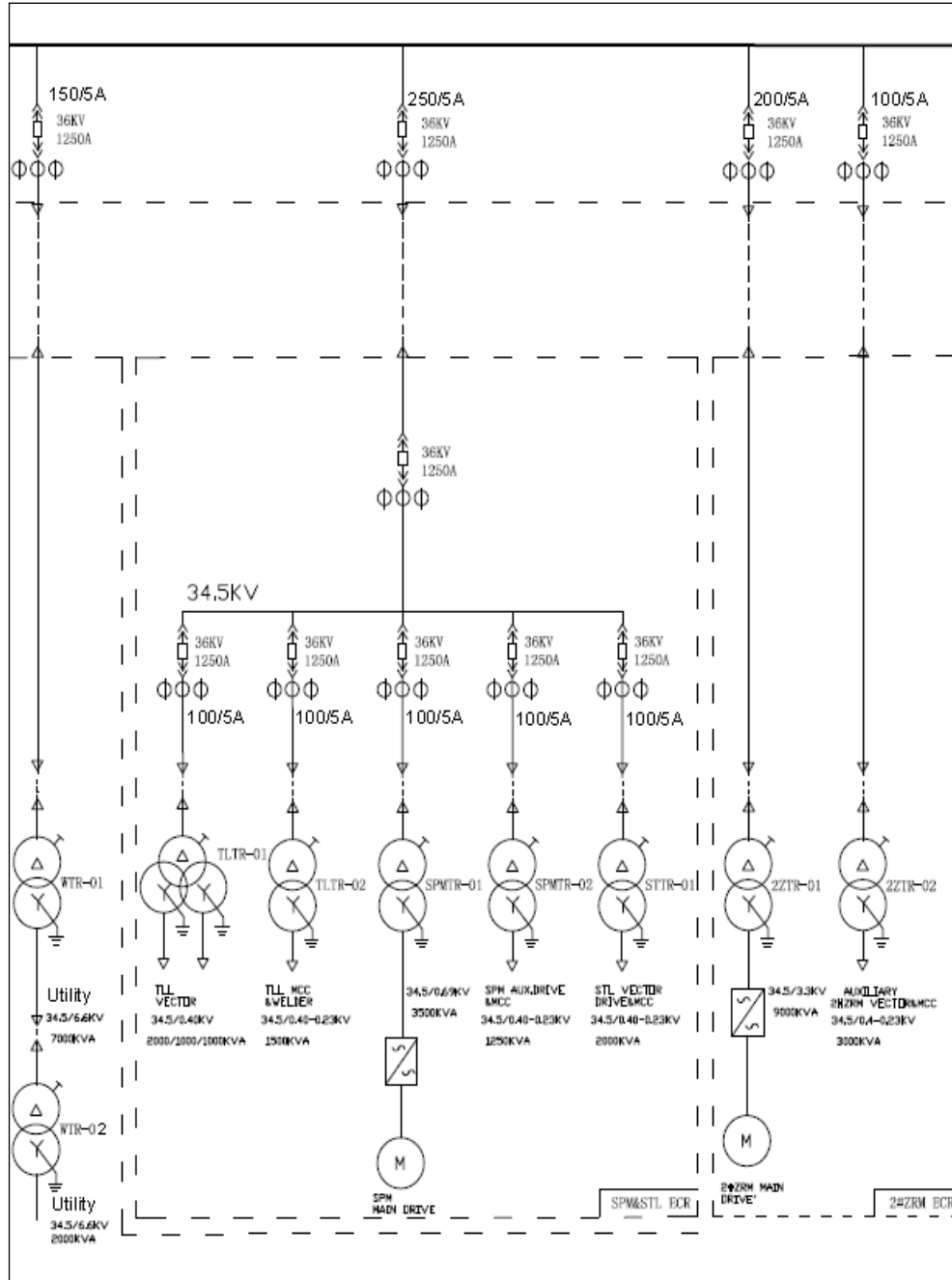
Soğuk haddeme ve son işlemler: Soğuk haddeme sürecinde paslanmaz çelik sac, ileri-geri hareket özelliğine sahip hadde tezgahında birbiri ardına uygulanan pasolar ile inceltilecek, kalınlıkta %80'e varan azalmalar sağlanabilir. Haddelenmeye devam etmek, yani parçayı daha fazla inceltmek gerekiyorsa, bir ara tav yapılması, yüzeyin tekrar asit banyosunda temizlenmesi ve ancak daha sonra yeniden haddemeye devam edilmesi gerekir. Soğuk haddelenme tamamlandığında, sıcak haddemede olduğu gibi yeniden tavlama ve asit banyosu işlemleri gerekir. Asit banyosunu takiben ikili merdane düzenine sahip bir tezgahta çok küçük bir paso ile son haddeme işlemi yapılır. Burada amaç şeridin yassılığını ve yüzey özelliklerini istenen seviyeye getirmektir. Satışa sunulan paslanmaz çelik, rulo halinde veya özel tezgahlarda dar boyut toleranslarında, istenen boy ve genişlikte kesilmiş/dilinmiş olarak temin edilebilir.

Boy kesme işlemi: Servis merkezinde bugün için verilen en önemli hizmet, üretici firmalardan temin edilen ruloların müşterinin ihtiyacı doğrultusunda levhalar haline dönüştürülmesi ve istenilen boylarda kesilmesidir. Günümüzde tamamen PLC kontrollü olarak tasarlanan özel üretim hatları ile bu işlemler artık çok hassas bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Boy kesme hatları esas olarak bir rulo açıcı, düzeltici, giyotin ve istifleme ünitesinden oluşmaktadır. Bunlara ilave olarak kağıt sarıcı, kağıt verici, plastik koruyucu film uygulama ünitesi gibi donanımlar da mevcuttur. Paslanmaz çelikler için kullanılan boy kesme hatları normal karbon çelikler için kullanılanlara şekil olarak bir benzerlik gösterse de, önemli farklılıklar içermektedir. Bu farklılık öncelikle malzeme yüzeyinin korunmasına gösterilen özendeyi yatar. Bu nedenle bu hatlarda bulunan merdaneler ya özel kauçuk veya poliüretan malzemelerle kaplı, ya da krom kaplı yüzeylere sahiptirler.

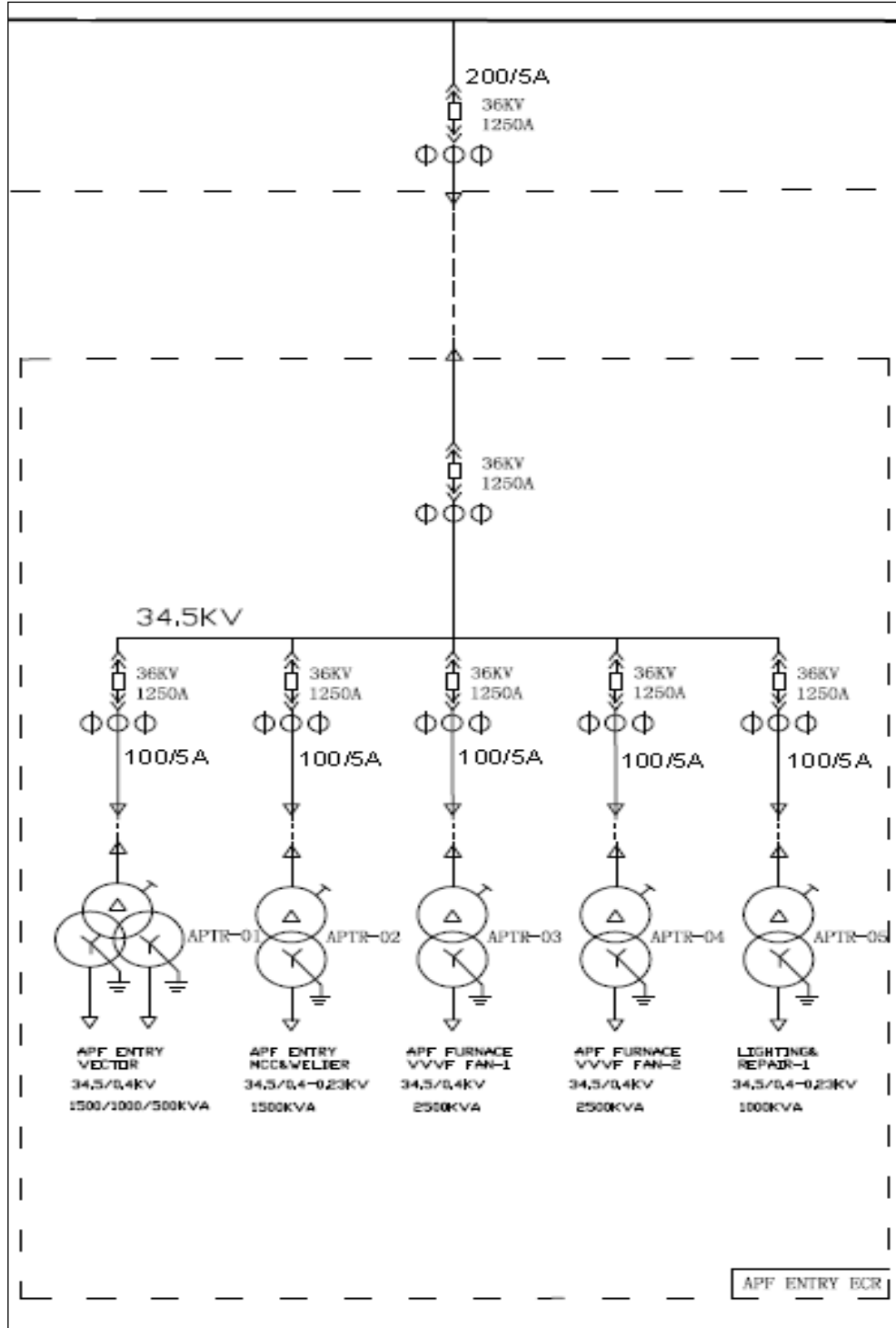
5.5. Posco Assan TST Tek Hat Şeması



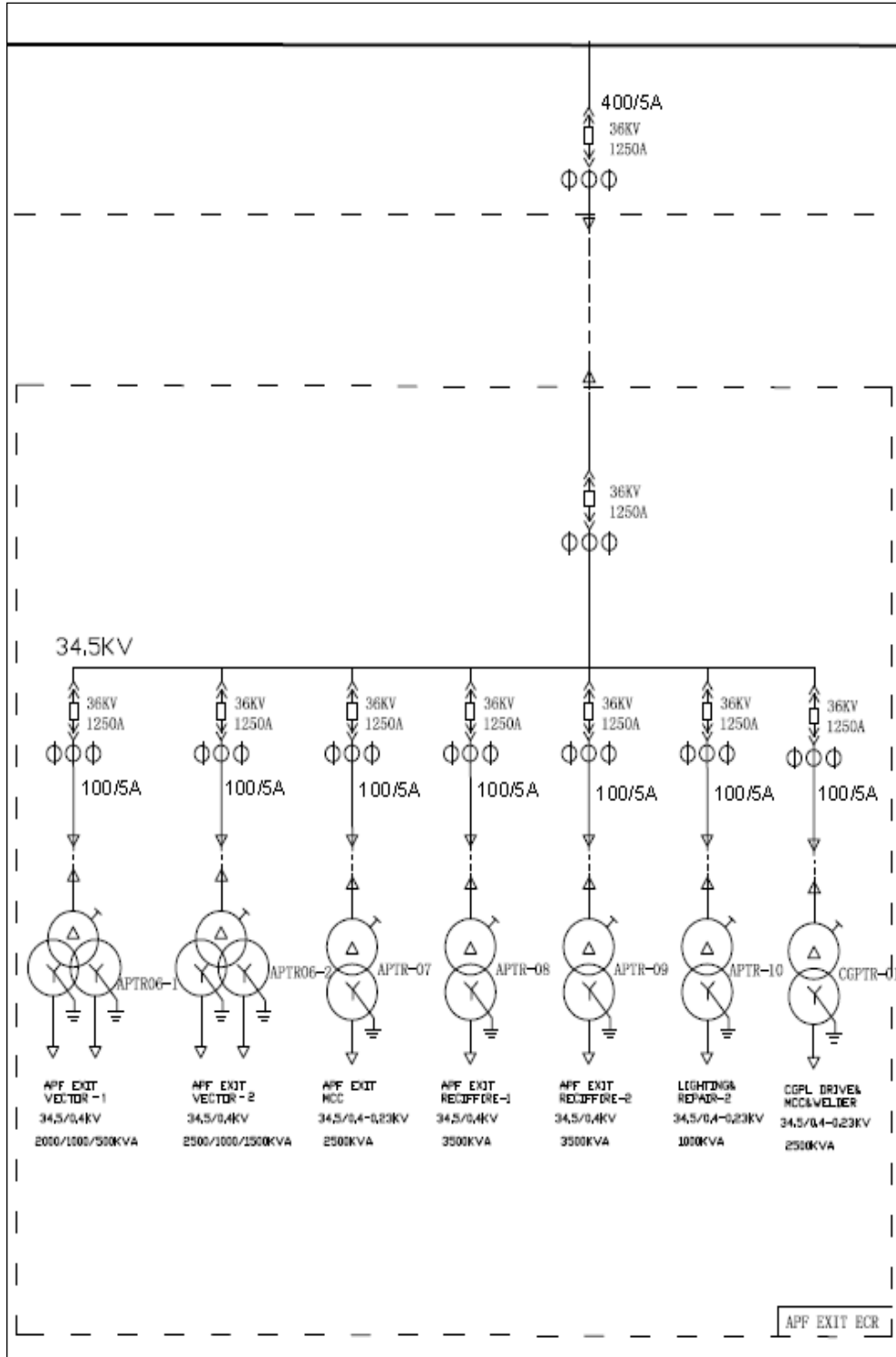
Şekil 5.1. Posco Assan TST tek hat şeması



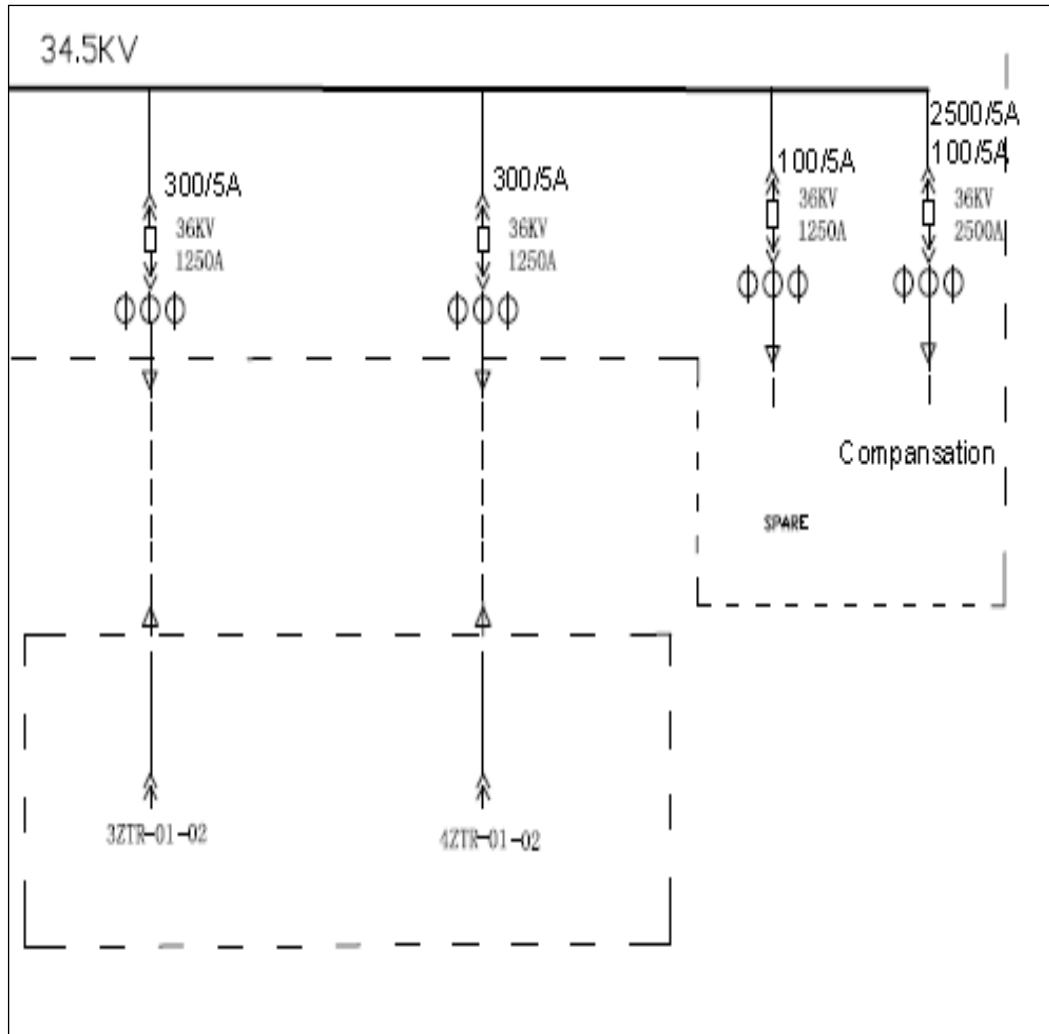
Şekil 5.1. (Devam) Posco Assan TST tek hat şeması



Şekil 5.1. (Devam) Posco Assan TST tek hat şeması



Şekil 5.1. (Devam) Posco Assan TST tek hat şeması



Şekil 5.1. (Devam) Posco Assan TST tek hat şeması

5.6. Posco Assan TST Toplam Kapasitif Güç İhtiyacı

Tablo 5.1. Posco Assan toplam reaktif güç ihtiyacı

TR ADI	PANEL ADI	AKTİF GÜÇ	REAKTİF GÜÇ	GÖRÜNÜR GÜÇ	TOPLAM REAKTİF GÜÇ
		[Kw]	[Kvar]	[Kva]	
APTR-01	3100-IC-101	803,3	0,0	874,1	0,0
	3200-IC-101	58,4	0,0	68,8	
APTR-02	3100-LV-201	612,6	170,2	647,7	521,2
	3100-MCC-101	215,2	169,9	274,9	
	3100-MCC-201	274,2	181,1	330,8	
APTR-03	3200-IC-201	1086,8	602,7	1245,1	721,7
	3200-IC-E201	226,1	118,9	255,4	
APTR-04	3200-IC-301	950,9	504,0	1076,2	770,6
	3200-IC-401	879,3	266,6	918,8	
APTR-05	3100-LV-502	791,0	0,0	791,0	0,0
APTR-06-1	3300-IC-101	685,9	0,0	745,1	0,0
	3300-IC-201	820,0	0,0	872,9	
APTR-06-2	3400-IC-101	1164,4	0,0	1227,0	0,0
	3500-IC-101	753,4	0,0	802,7	
APTR-07	3500-LV-201	541,2	183,3	579,5	1151,8
	3300-MCC-101	361,1	253,5	441,6	
	3300-MCC-201	360,2	260,9	445,0	
	3300-MCC-301	142,5	90,5	170,1	
	3300-MCC-E101	106,1	75,9	130,5	
	3400-MCC-101	187,2	113,5	219,1	
	3500-MCC-101	253,6	174,3	309,2	
APTR-08	3500-LV-301	3387,1	1113,4	3565,4	1113,4
APTR-09	3500-LV-401	3387,1	1113,4	3565,4	1113,4
APTR-10	3500-LV-501	743,3	0,0	743,3	0,0
BATR-01	4100-IC-101	315,6	0,0	346,7	0,0
	4400-IC-101	620,0	0,0	681,3	
BATR-02	4000-LV-202	983,7	279,8	1069,0	867,1
	4100-MCC-101	217,0	145,1	264,7	
	4200-MCC-101	341,6	268,9	435,1	
	4400-MCC-101	253,0	173,3	307,5	
WTR-01	WLV-01A	2485,0	1535,0	2890,0	1535,0
SPMTR-01	5000-IC-101	3083,3	0,0	3211,8	0,0

Tablo 5.1. (Devam) Posco Assan toplam reaktif güç ihtiyacı

TR ADI	PANEL ADI	AKTİF GÜÇ	REAKTİF GÜÇ	GÖRÜNÜR GÜÇ	TOPLAM REAKTİF GÜÇ
		[Kw]	[Kvar]	[Kva]	
SPMTR-02	5000-LV-202	252,4	12,2	255,3	233,4
	5000-IC-201	112,1	0,0	127,8	
	5000-MCC-101	265,6	154,8	307,8	
	5000-MCC-201	110,5	66,4	129,1	
CBTR-01	6000-LV-102	536,6	176,8	572,7	279,4
	6000-IC-101	564,4	0,0	594,3	
	6000-MCC-101	142,6	102,5	176,9	
CGPLTR-01	7000-LV-102	787,8	108,3	809,9	557,4
	7000-IC-101	432,4	0,0	459,3	
	7100-IC-101	379,9	132,1	456,8	
	7000-MCC-101	212,8	132,9	255,4	
	7100-MCC-101	231,9	161,0	268,6	
	7100-MCC-201	32,4	23,2	39,6	
TLTR-01	8000-IC-101	720,8	0,0	767,9	0,0
	8000-IC-201	1112,2	0,0	1160,0	
TLTR-02	8000-LV-202	465,0	30,5	471,6	224,2
	8000-MCC-101	341,6	193,6	400,4	
STTR-01	9000-LV-102	709,4	174,3	745,0	301,1
	9000-IC-101	727,3	0,0	771,1	
	9000-MCC-101	191,2	126,8	231,2	
NO.1 ZRM	+AU10	77	0	77	976,7
	+AH01	129	0	129	
	+AU83	10	0	10	
	+AC03	18	25	31	
	+AS02	0	0	0	
	+AC06	4	5	7	
	+AD02	25	18,7	31,2	
	+AC02	20	15	25	
	+AC01	608	382	718	
	+AC04	644	399	757	
	+AC05	214	132	252	

Tablo 5.1.(Devam) Posco Assan toplam reaktif güç ihtiyacı

TR ADI	PANEL ADI	AKTİF GÜÇ	REAKTİF GÜÇ	GÖRÜNÜR GÜÇ	TOPLAM REAKTİF GÜÇ
		[Kw]	[Kvar]	[Kva]	
NO.2 ZRM	+AU10	77	0	77	976,7
	+AH01	129	0	129	
	+AU83	10	0	10	
	+AC03	18	25	31	
	+AS02	0	0	0	
	+AC06	4	5	7	
	+AD02	25	18,7	31,2	
	+AC02	20	15	25	
	+AC01	608	382	718	
	+AC04	644	399	757	
	+AC05	214	132	252	
				TOPLAM	11342,8

Tablo 5.2. Posco Assan'daki trafoların reaktif gücü

Transformatör gücü (kVA)	Adet	Transformatör reaktif güç kaybı (kVAr)	Toplam reaktif güç (kVAr)
750	1	15	15
1000	3	20	60
1250	1	25	25
1500	3	30	90
2000	5	40	200
2500	6	50	300
3000	2	60	120
3500	3	70	210
7000	1	140	140
9000	2	180	360
		Toplam	1520

Tablo 5.3. Posco Assan'da ki kabloların reaktif gücü

Xlpe kablolar	Metraj(km)	Kapasitif etki (kVAR/km)	Toplam kapasitif güç (kVAR)
3x(1x120mm2)	2,4	62,6	150,24
3x(1x240mm2)	11,5	78,1	898,15
		Toplam	1048,39

İletim ve dağıtım ekipmanlarının ihtiyaç duyduğu kapasitif güç =

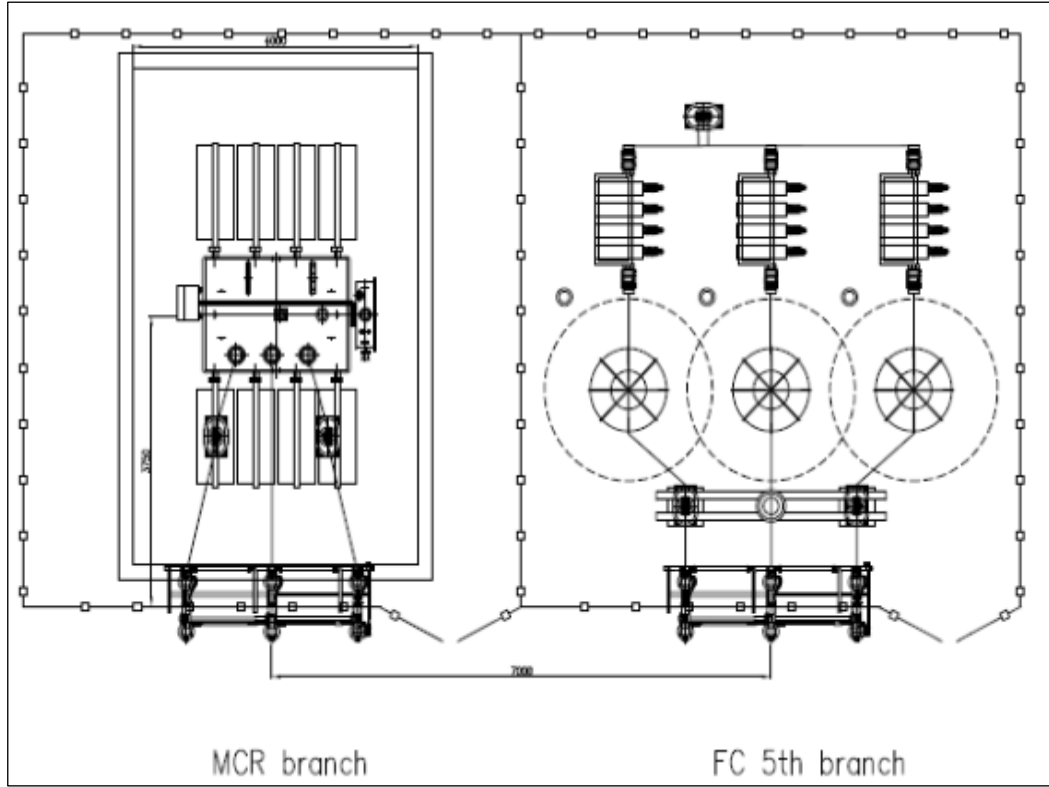
$$1520-1048,39=471,61\text{kVAR}$$

Toplam ihtiyaç duyulan kapasitif güç = $11342 + 471 = 11813$ kVAR

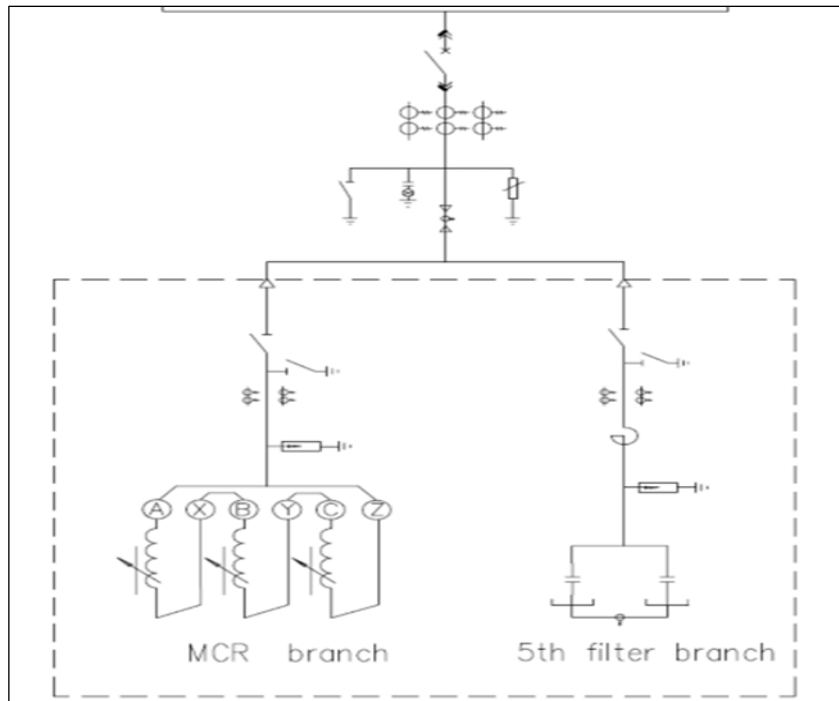
5.7. Posco Assan TST MCR Sistemi

Önceleri sadece yüksek gerilim sistemlerinde, uzun iletim hatlarının kapasitif reaktif gücün kontrolünde kullanılan manyetik nüveli reaktör (MCR) günümüzde endüstriyel tesislerin kompanzasyon sistemi olarak da kullanılmaktadır. Uygulanan kompanzasyon sistemi değişken karakteristikli yük durumları için reaktör/kapasitör sistemi kontrol edilebilirdir. Reaktif güç kompanzasyon sistemlerinin geleneksel yöntem; kesiciler ile anahtarlanması olup bu beraberinde birçok problemi beraberinde getirmektedir. Kurulan sistem, reaktif güç kontrolünün kademesiz ve hızlı bir yöntemi olan manyetik doymalı reaktör sistemidir. Diğer statik kompanzatlara göre de büyük avantajları olan MCR sistemi, İzmit Alikahya'da bulunan Türkiye'nin ilk paslanmaz çelik fabrikası Posco Assan'da, sistemde ki yükler için gerekli kapasitif reaktif gücün karşılanması için kurulmuştur.

Posco Assan Alikahya fabrikası toplam 50 MVA'ya göre tasarlanmıştır. Sistemde 1 KVA-9 MVA güçlerinde değişen 27 adet transformatör vardır. 400 V ve 3,3 kV yüklerin çoğu frekans konvertörlüdür ve güç faktörü 0,96'nın üzerindedir. Yapılan hesaplamalara göre sistemin toplamda 11.815 MVAr kapasitif reaktif güç ihtiyacı belirlenmiştir. Bu kapasitif gücü 34,5 kV'da 5 MVAr SVC sistemi ve 2 adet 2000 kVAr, 5 adet 500 kVAr 400 V ile (Toplam 11.500 kvar) karşılanması tasarlanmıştır. 5 MVAr SVC sistemi 5 MVAr MCR ve 5 MVAr tam odaklı harmonik filtre grubundan oluşmaktadır. 400 V kompanzatlara, de-tuned p: 5,67% reaktörler ile harmonik filtreli olarak uygulanmıştır.



Şekil 5.2. SVC sisteminin yerleşimi

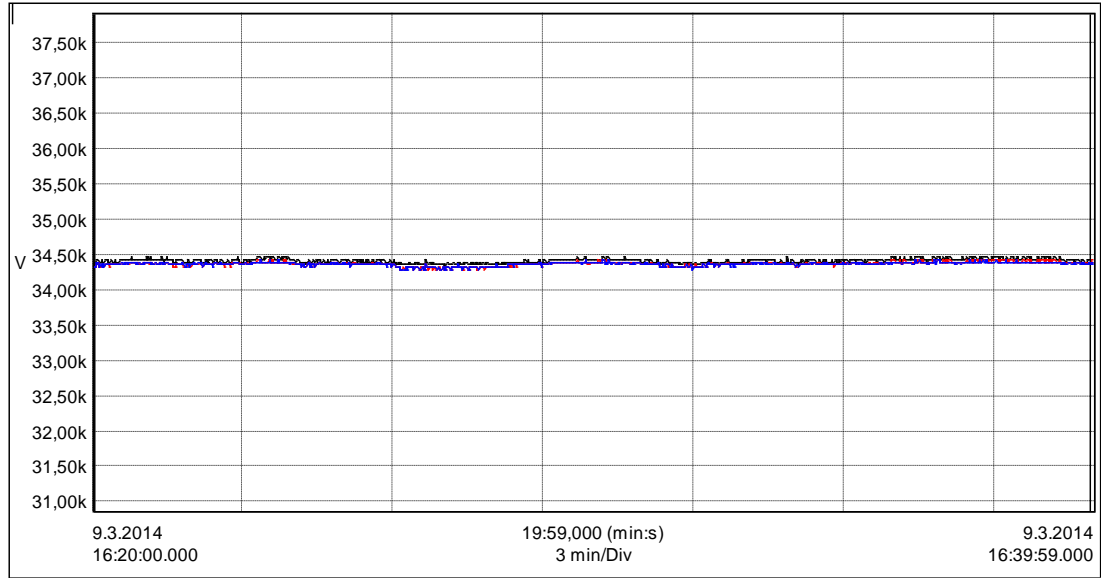


Şekil 5.3. Posco Assan MCR'li SVC sistemi tek hat şeması

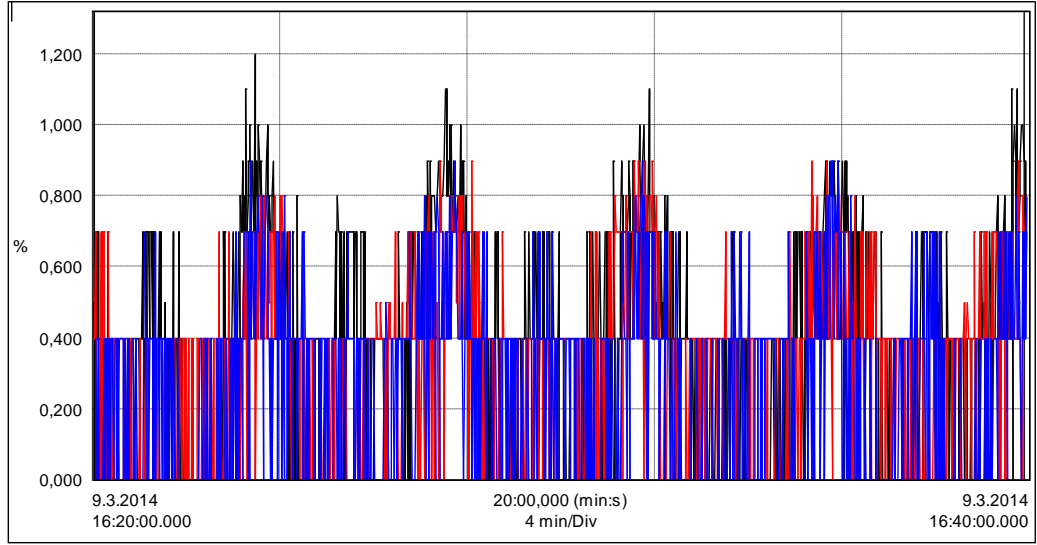
5.8. Posco Assan TST MCR Sisteminin Ölçüm Raporu

Posco Assan TST giriş kesicisinde ki (H01 nolu kesici) akım ve gerilim trafolarından alınan bilgilerini kullanarak, Chauvin Arnoux marka C.A. 8332B modeli güç analizörüyle aşağıdaki ölçümler alınmıştır. Grafiklerdeki siyah, kırmızı ve mavi renkler R,S ve T fazlarını belirtmektedir. Ölçümler 20 dakika aralıklarla her 1 saniyede kayıt yapılacak şekilde kaydedilmiştir. Fabrikanın faturalandırılması 1 no'lu tarifeden yapıldığı için saatlik olarak reaktif güç ölçümü yapılmaktadır. Saatlik olarak faturalanması sebebiyle sistemin cezaya girmemesi için 17:50 ve 18:10 saatleri arasında MCR ve kapasitör grubu (SVC) H01 kesicisinden devre dışı bırakılmıştır. İşletmede ki giriş kesicisinden 09.03.2014 tarihinde alınan ölçümlere ilişkin grafikler şu şekildedir;

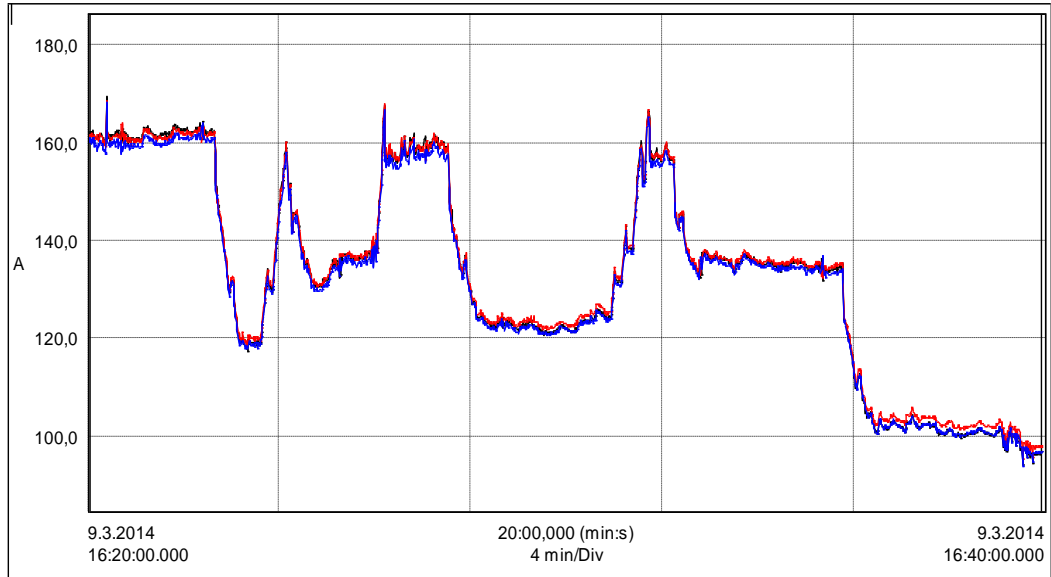
MCR'li sistem devrede iken;



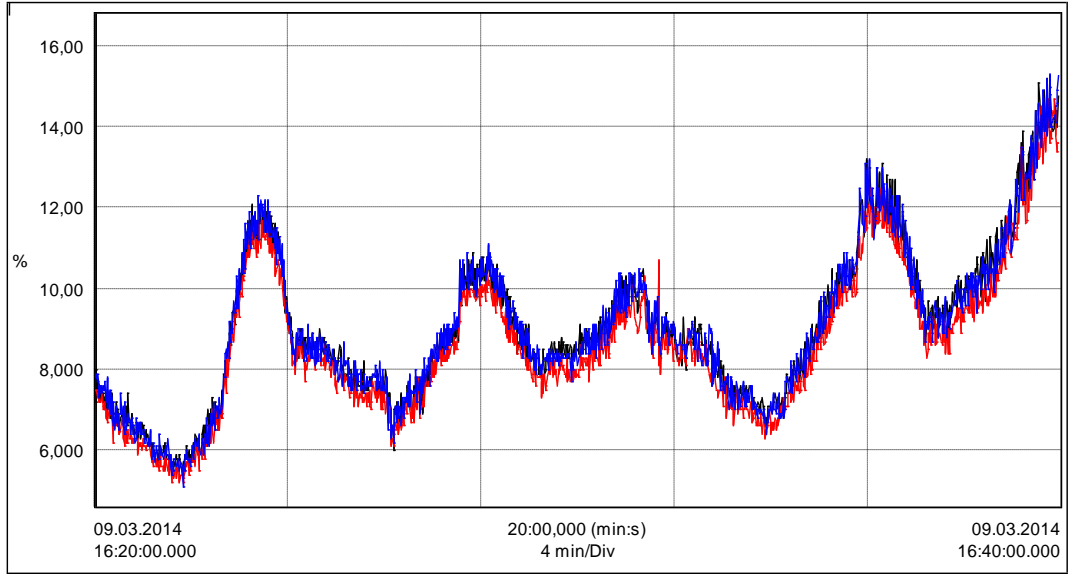
Şekil 5.4. MCR'li sistem devredeyken gerilim grafiği



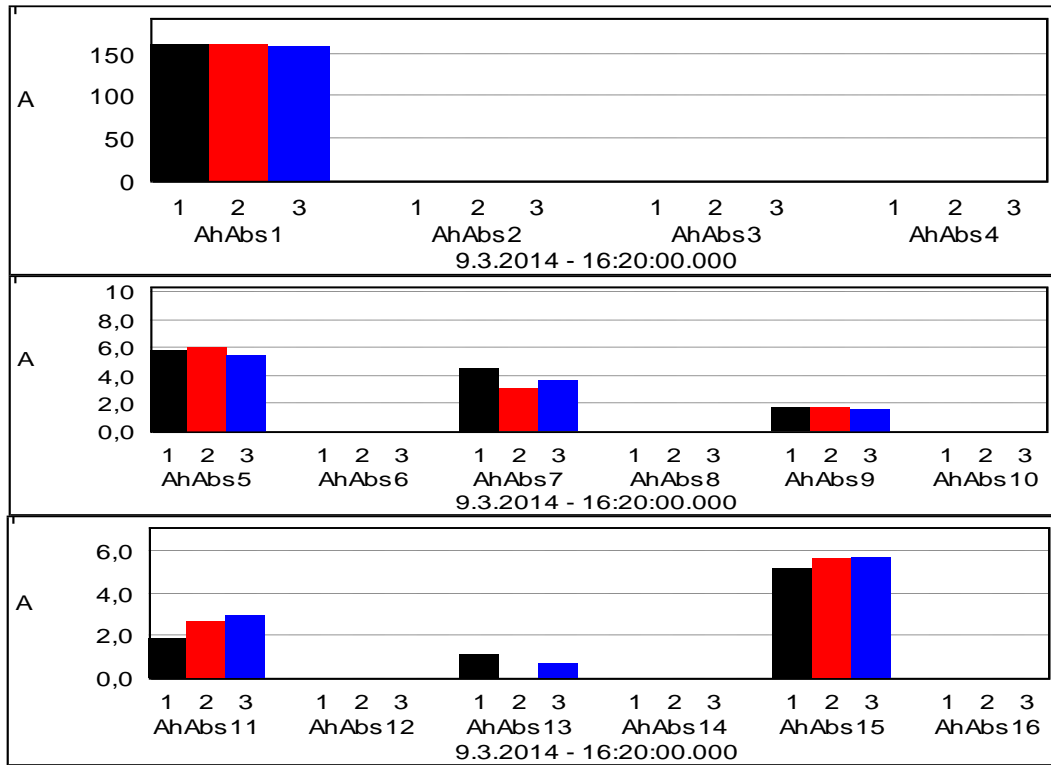
Şekil 5.5. MCR'li sistem devredeyken gerilim harmonikleri



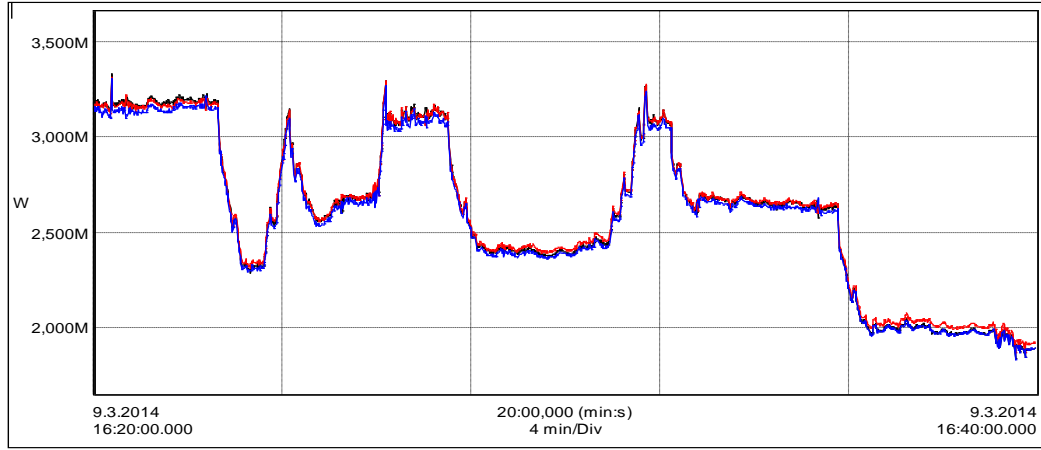
Şekil 5.6. MCR'li sistem devredeyken akım grafiği



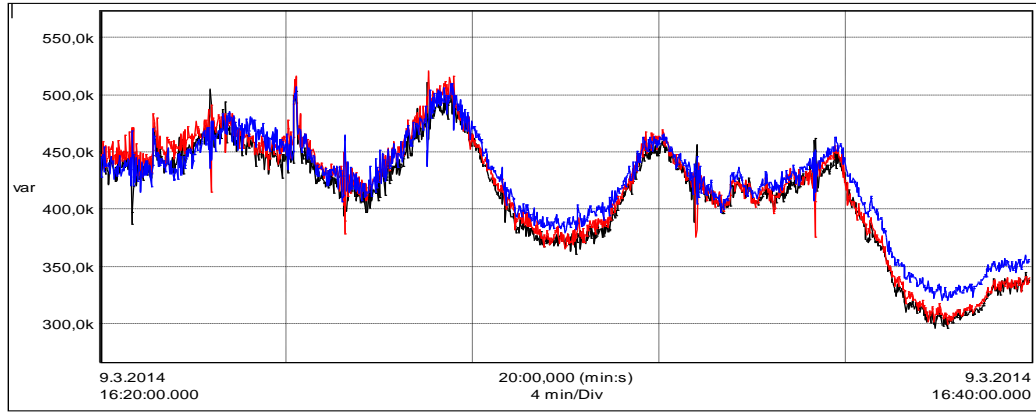
Şekil 5.7. MCR'li sistem devredeyken akım harmonikleri



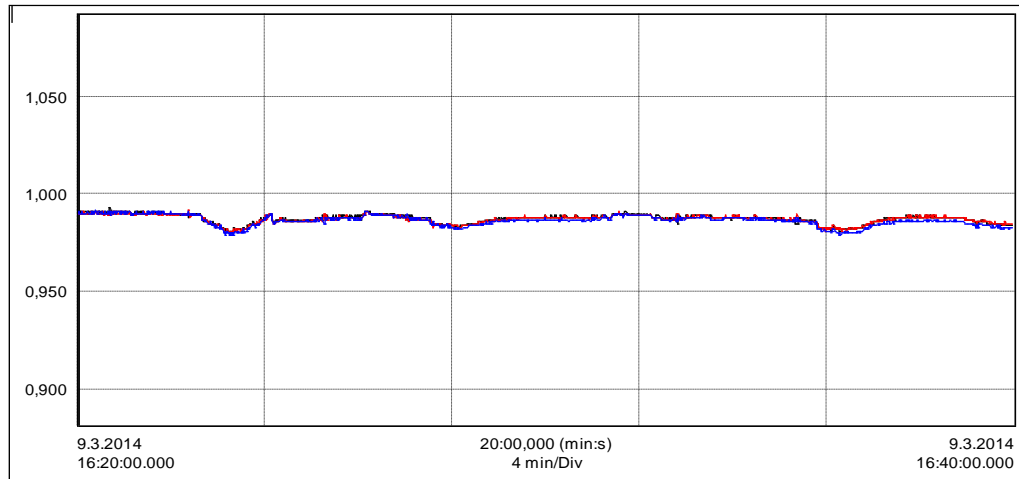
Şekil 5.8. MCR'li sistem devredeyken akım harmonikleri spektrumları



Şekil 5.9. MCR'li sistem devredeyken aktif güç

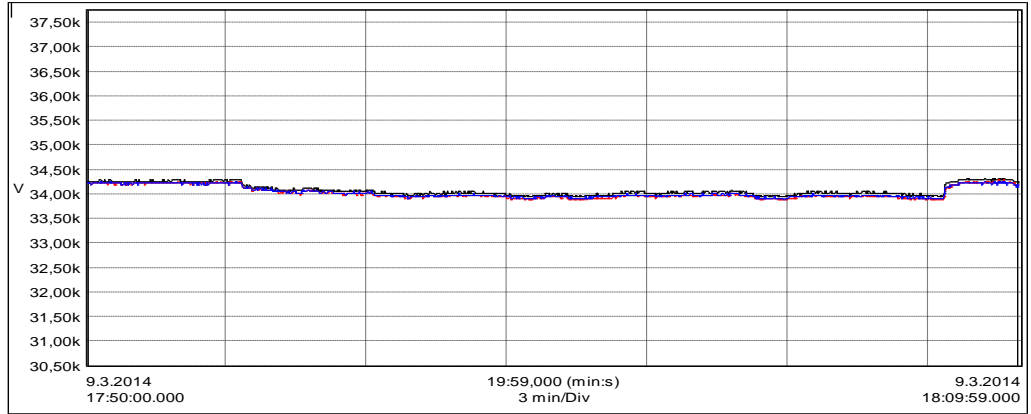


Şekil 5.10. MCR'li sistem devredeyken reaktif güç

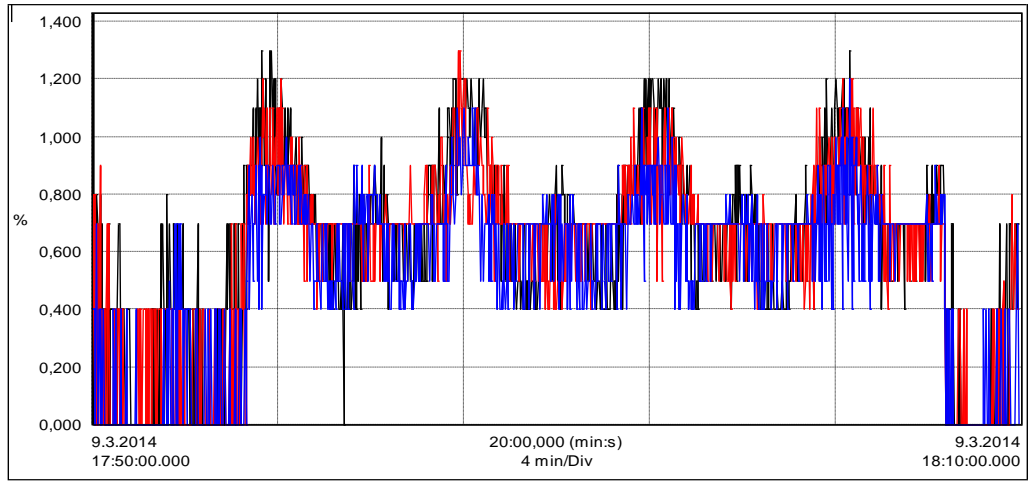


Şekil 5.11. MCR'li sistem devredeyken güç faktörü

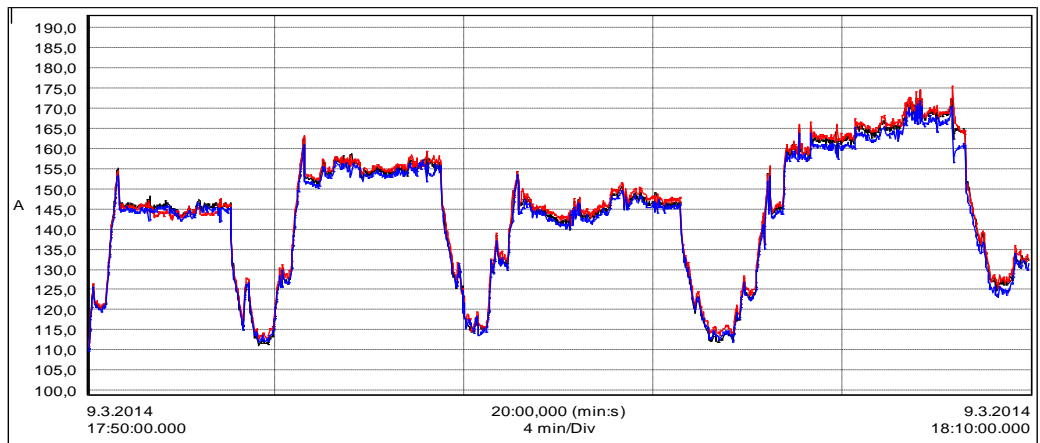
MCR'li sistem devrede değil iken;



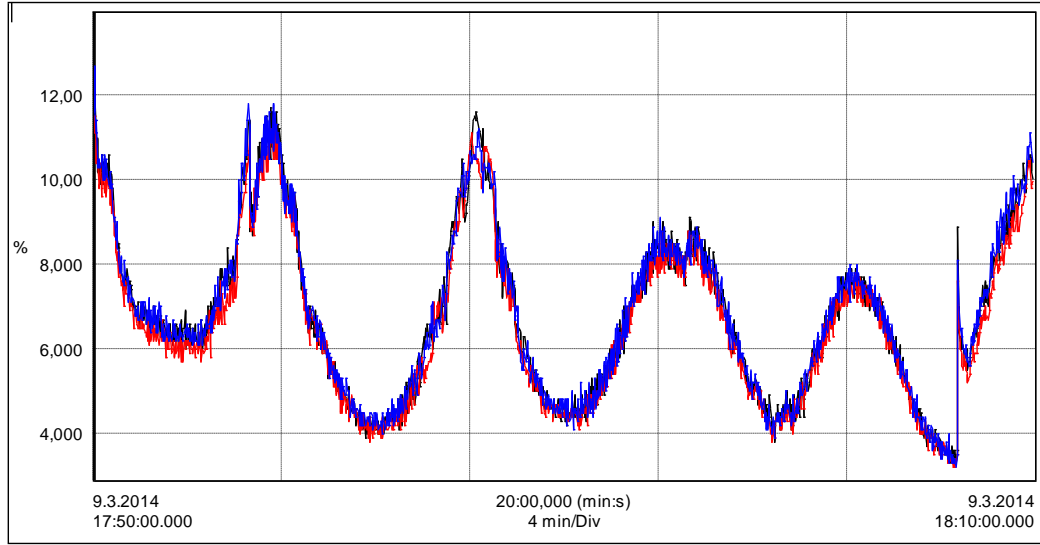
Şekil 5.12. MCR'li sistem devrede değilken gerilim grafiği



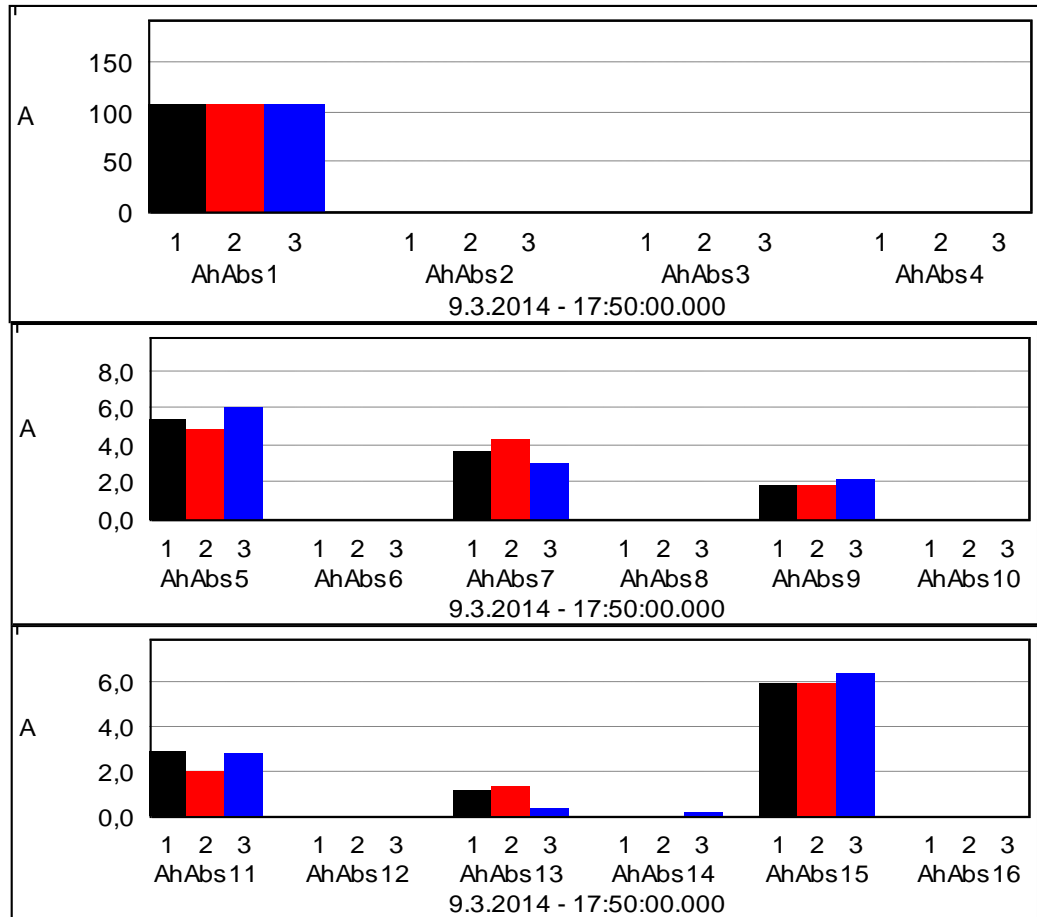
Şekil 5.13. MCR'li sistem devrede değilken gerilim harmonikleri



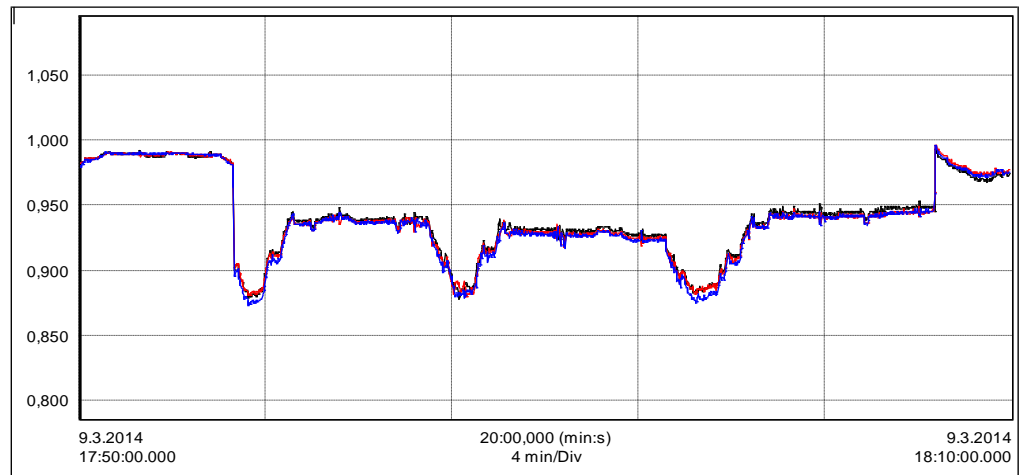
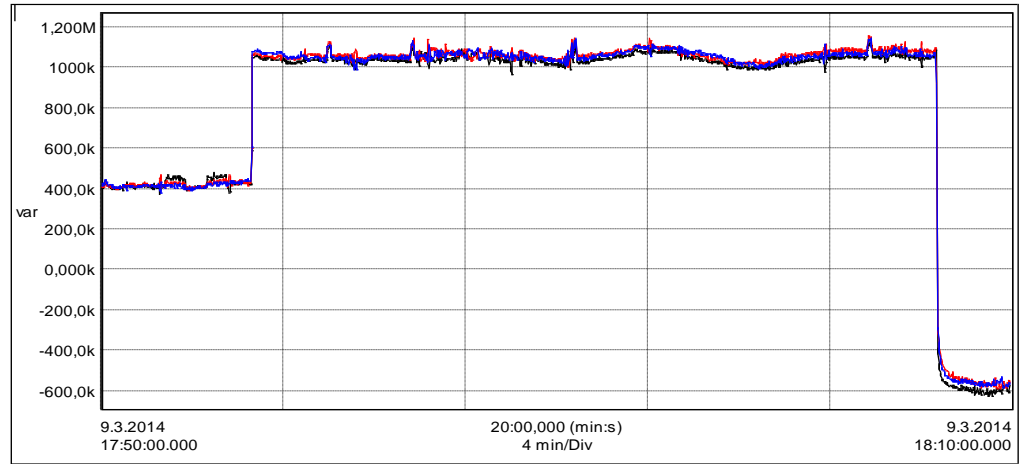
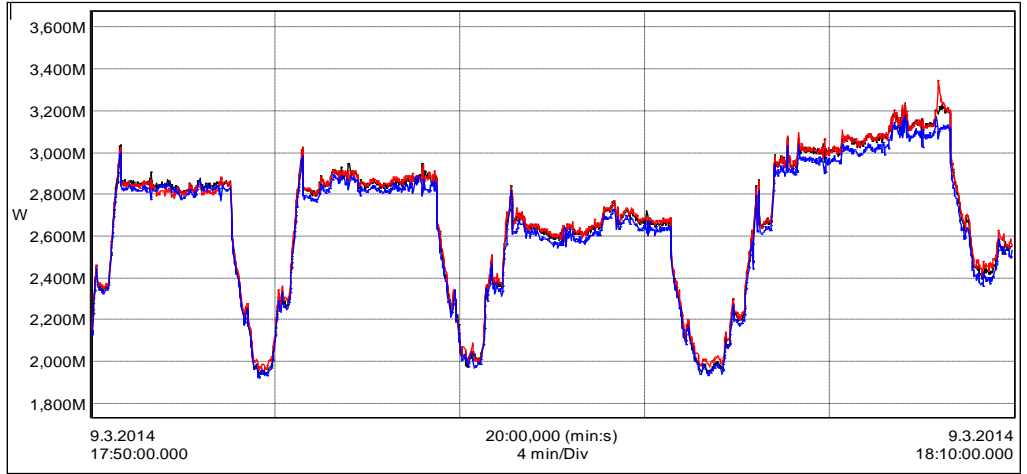
Şekil 5.14. MCR'li sistem devrede değilken akım grafiği



Şekil 5.15. MCR'li sistem devrede değilken akım harmonikleri



Şekil 5.16. MCR'li sistem devrede değilken akım harmonikleri spektrumları



Fabrika çalışırken MCR'li sistemde çalışmaktadır. Sistemin nominal yükü 160A (Şekil 5.6 ve Şekil 5.14) civarındadır. Bu güçlerde reaktif güç kompanzasyonunu hızlı bir şekilde yapmaktadır. Reaktif güç +1000kVAr, -600kVAr (Şekil 5.18) aralığında salınmaktadır. Bunun sebebi ise orta gerilim motorlarının yüksek güçlerde devreye girip çıkmasıdır.

MCR'li sistemin devrede olduğu (Şekil 5.4) ve devrede olmadığı (Şekil 5.12) durumlardaki gerilim grafiğini baktığımız zaman, MCR'li sistemin devrede olmadığı zamanlarda ki gerilim düşmesini (yaklaşık %5) ve dolayısıyla kompanzasyon sisteminin enerji kalitesi üzerine etkisi görülmektedir.

MCR'li sistemin devrede olduğu (Şekil 5.5) ve devrede olmadığı (Şekil 5.13) durumlardaki gerilim harmonikleri grafiğine baktığımız zaman, MCR'li sistemin devrede olmadığı zamanlarda ki gerilim harmoniklerinin arttığı ve kompanzasyon sisteminin enerji kalitesi üzerine etkisi görülmektedir.

MCR'li sistemin devrede olduğu (Şekil 5.7) ve devrede olmadığı (Şekil 5.15) durumlardaki akım harmonikleri grafiğine baktığımız zaman, MCR'li sistemin devredeyken 5. harmoniğe tam odaklı filtre grubunun harmonik akımlarını süzerek harmoniklerin düşmesini sağlamıştır.

MCR'li sistemin devrede olduğu (Şekil 5.10) ve devrede olmadığı (Şekil 5.18) durumlardaki reaktif grafiğine baktığımız zaman, MCR'li sistemin; tesisin reaktif güç ihtiyacının karşılanması için anlık ve ihtiyaca uygun şekilde ayarlanan değerlere getirdiği görülmektedir.

MCR'li sistemin devrede olduğu (Şekil 5.11) ve devrede olmadığı (Şekil 5.19) durumlardaki güç faktörü grafiğine baktığımız zaman, MCR'li sistemin; tesisin güç faktörünü çok hızlı ve doğru bir şekilde ayarladığı görülmektedir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Türkiye’de endüstriyel tesislerde ilk defa kullanılan, kurulumunu ve işletmesini bizzat yapmış olduğum Manyetik Nüveli Reaktör sisteminin Posco Assan TST firmasının reaktif güç ihtiyacını çok hızlı ve doğru bir şekilde ayarladığını ölçümlerle kanıtlanmıştır. Tezimin birinci bölümünde güç kalite problemlerinin neler olduğu, nasıl meydana geldiği ve ne gibi zararlar verebileceğini incelenmektedir. Ayrıca harmonikler ile ilgili genel bir bilgi verilmiş olup harmonik seviyeleri ve filtrasyon ile ilgili detaylardan bahsedilmiştir.

İkinci bölümde orta gerilim reaktif güç kompanzasyonu konu edinilmiştir. Orta gerilimdeki kompanzasyon sisteminde kullanılacak malzemelerin seçimini, kondansatörlerin yapısı ve bağlantı şekillerinin nasıl yapılabileceği ve bağlantı şekilleri hakkında bilgi verilmiştir. Reaktif güç kompanzasyonu hem cezai oranlar bakımından ki gittikçe sınırlar düşmektedir, hem de kaliteli enerji için önemli bir etkidir. Teknolojinin gelişimi ile birlikte bu konuda da pek çok ilerleme olmuştur. Güçler büyüdükçe orta gerilimdeki kompanzasyon ön plana çıkmaya başlamıştır. Orta gerilimde ise geleneksel kontaktörlü sistemin yanında bu sistemin cevap veremeyeceği yerler için anahtarlama elemanı olarak tristörler kullanılmaktadır. Çok kısa sürede ve fazla sayıda anahtarlama yapma kapasitesine sahiptirler. Bu yüzden de reaktif yüklerin sıkça değiştiği kısımlarda tercih edilmektedirler.

Üçüncü bölümde tristör ile yapılan kompanzasyon sistemi olan Statik VAR Kompanzasyon sistemi hakkında bilgi verilmiştir. Statik VAR Kompanzasyon sisteminin özellikleri ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Statik VAR Kompanzasyon sistemleri incelenmiş olup, ana harmonik frekansındaki davranışları hakkında bilgi verilmiştir. En yaygın olarak kullanılan Tristör Kontrollü Reaktör hakkında genel bilgi verilmiş olup, modellenmesinden yararlanılarak bulunan ölçümlerden bahsedilmiştir. Bir Statik VAR Kompanzasyon sisteminin çalışma prensibi kısaca şöyle özetlenebilir; kondansatör veya reaktörlerin hesaplanan tetikleme açalarına bağlı olarak şebekeye sokup çıkarılarak değişken değerli şönt empedans elde etme yöntemidir. Uygun bir tetikleme ile Statik VAR Kompanzasyon bağlı olduğu barada

maksimum kapasitif reaktif güç değerinden maksimum endüktif reaktif güç değerine kadar geniş bir aralıkta reaktif güç ayarı yapabilmektedir.

Dördüncü bölümde Manyetik Nüveli Reaktör'ün yapısı ve çalışma şekli hakkında bilgi verilmiş olup sistemin avantaj ve dezavantajları incelenmiştir.

Ayrıntılı olarak Manyetik Nüveli Reaktörün tarihinden, reaktörde bulunan AC ve DC sargıdan, DC sargı yardımıyla manyetik alanın değiştirildiğinden, değiştirilen manyetik alanın geçirgenliği değiştirdiğinden, geçirgenliği değişen reaktörün endüktansının değiştiğinden ve dolayısıyla reaktansının değiştiğinden bu sayede endüktif gücün ayarlanabildiğinden bahsedilmiş olup. Ayrıca harmonikler ve tepki sürati, aşırı yük kapasitesi ve dâhili kontrol karakteristiğinin ayarlanması hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde anlatılmış olan Tristör Kontrollü Reaktör ve Manyetik Nüveli Reaktör'ün karşılaştırılması yapılmış, avantaj ve dezavantajları listelenmiş, yük değişme oranı, reaktörde harcanan reaktif güç, reaktörün akımı, tristörlerin akısı, ΔV değişim oranları ve 1.,3., 5., 7., 11., 13., 15., 17., 19. ve 21. akım harmoniklerine göre grafiklerle karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölümde Posco Assan TST firmasının yapısı, ürettiği paslanmaz çelik türleri, paslanmaz çeliğin üstünlükleri ve üretim teknolojisi hakkında genel bilgi verilmiştir. Ayrıca Posco Assan TST'nin tek hat şeması ve reaktif güç ihtiyacı hesabı tablosu ayrıntılarıyla verilmiştir. Tablodan yararlanılarak alçak gerilim tarafında 6,5 MVAR ve 5 MVAR'lık Statik VAR kompanzasyon ile toplamda 11,5 MVAR'lık sistem anlatılmış. Posco Assan'da kurulan ve faaliyette olan 5 MVAR'lık Statik VAR kompanzasyon sisteminin yerleşim planı ve tek hat şeması incelenmiştir. Son bölümde de giriş kesicisine güç analizörü bağlanarak ölçüm yapılmış, Sistem devredeyken ve değilken ki gerilim grafiği, gerilim harmonikleri, akım grafiği, akım harmonikleri, akım harmonikleri spektrumları, aktif güç, reaktif güç ve güç faktörü grafikleri elde edilmiş ve bu grafikler yorumlanmıştır. Şekil 5.8 ve Şekil 5.16'de ki verilere göre 34,5 kV'da tristörlü anahtarlama yapılarak yapılan kompanzasyon sistemi ile birlikte kullanılan 5.harmoniğe tam odaklı 5 MVAR filtre grubu, Statik VAR Kompanzasyonun oluşturduğu tüm harmonik akımlarını süzerek gerilim harmoniklerinin düşmesini sağladığı anlaşılmıştır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, endüstriyel bir tesise ait kompanzasyon sisteminde kullanılan manyetik nüveli reaktör sistemin hızı ve doğruluğu kontrol edilmiştir. Kontrol sonrasında sistemin güvenli olduğu saptanmıştır.

Reaktif gücün hızlı değiştiği sistemlerde hassas ve hızlı kompanzasyon yapabilmek için kademeli kondansatör veya motor ve generatör grupları yerine reaktif güçleri kontrol edilen sabit kondansatörlü sistemler kullanmak kompanzasyon işleminin hızını ve hassasiyetini artırır. Yaptığım bu çalışmada manyetik nüveli reaktör ile dengelenen sabit kondansatörlü kompanzasyon sisteminin kontrolü PLC ile sağlanmış ve sistem hassasiyeti ve hızı test edilmiştir. Dolayısıyla burada sürekli ve kesintisiz denetim, meydana gelebilecek değişikliklere sistemin en fazla 10 milisaniye de cevap verebilmesi sağlanmıştır.

MCR tipi kompanzasyonda klasik kontaktörlü kompanzasyon sistemlerine göre daha az şalt malzemesi kullanılır, sistemin kapladığı hacim daha azdır. Kondansatörler sürekli devrede olduklarından, anahtarlama dezavantajı yoktur ve kondansatör ömürleri daha uzundur. Hızlı yük değişimi olan sistemlerde MCR tipi kompanzasyon önerilmektedir.

Ülkemizde uygulanmakta olan O.G kompanzasyon sistemlerinin tamamı yurtdışından ithal edilmektedir. İthal sistemler çok büyük maliyetlerle kuruluyorlar. MCR kullanılarak yapılan bu kompanzasyon sistemi, yerli üretim sistemlerin oluşturulmasına örnek teşkil ederek ileriye dönük ekonomik yarar sağlayacağı öngörüsü oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Vardar T., Yıldırım F., Çam E., Yeni nesil kompanzasyon sistemi SVC, *TMMOB EMO Ankara şubesi haber bülteni*, 2011, **4**, 14-17.
- [2] Cao J., Davidson C., Moulson S., Dynamic modelling of saturable reactor, *Science, measurement & technology*, DOI: 10.1049/iet-smt.72.
- [3] Lotfi A., Faridi M., Design optimization of gapped-core shunt reactors, *IEEE transactions on magnetics*, 2012, **48**, 1673-1676.
- [4] Wass T., Hörnfeldt S., Magnetic circuit for a controllable reactor, *IEEE transactions on magnetics*, 2006, **42**, 2196-2200.
- [5] Yan-ping L., Yue Z., Hai-ting Z., Zhen A., The 500 kV MCSR modelling and steady-state characteristics analysis, *Electrical machines and systems international conference*, DOI: 10.1109/icems.6073997.
- [6] Andjelic Z., Pusch D., Yang, X., Controllable reactor simulation using integral equation method, *International conference on power system technology*, DOI: 10.1109/powercon.5666367.
- [7] Xuxuan C., Baichao C., Cuihua T., Novel control method for magnetic valve controllable reactor, *First international workshop on database technology and applications conference*, DOI: 10.1109/dbta.137.
- [8] Xuxuan C., Baichao C., Cuihua T., Yuan J., Modelling and harmonic optimization of a two-stage saturable magnetically controlled reactor for an arc suppression coil, *IEEE transactions on industrial electronics*, 2012, **59**, 2824-2831.
- [9] Ebadian M., Dastyar F., Performance comparison of transient behaviors of magnetically and thyristor controlled reactor, *Electric power components and system*, 2010, **38**, 85-99.
- [10] Karymov R. R., Ebadian M., Comparison of magnetically controlled reactor and thyristor controlled reactor from harmonics point of view, *Electrical power and energy systems*, 2007, **29**, 191-198.

EKLER

Ek-A

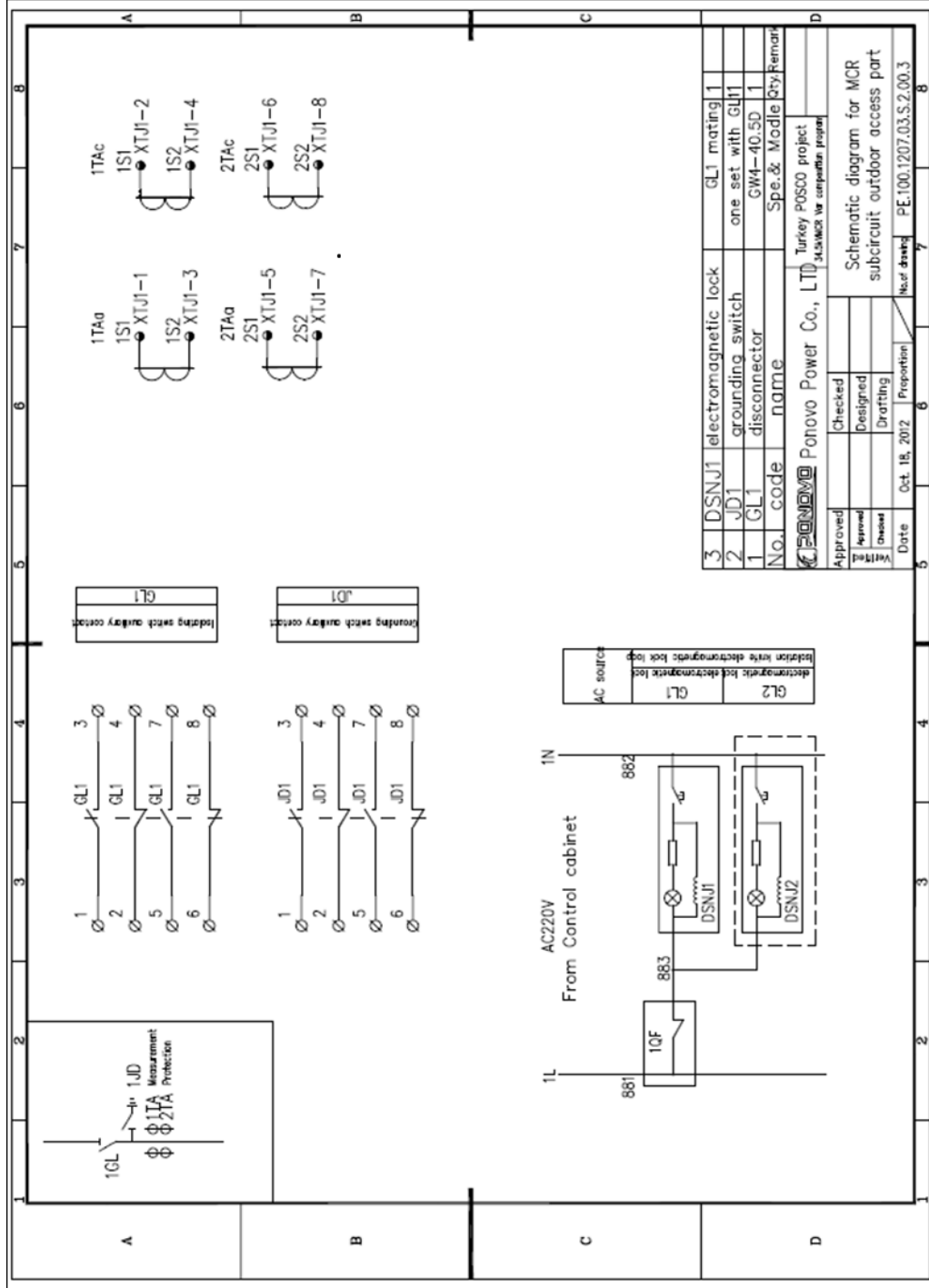


Şekil A.1. MCR genel görünüm

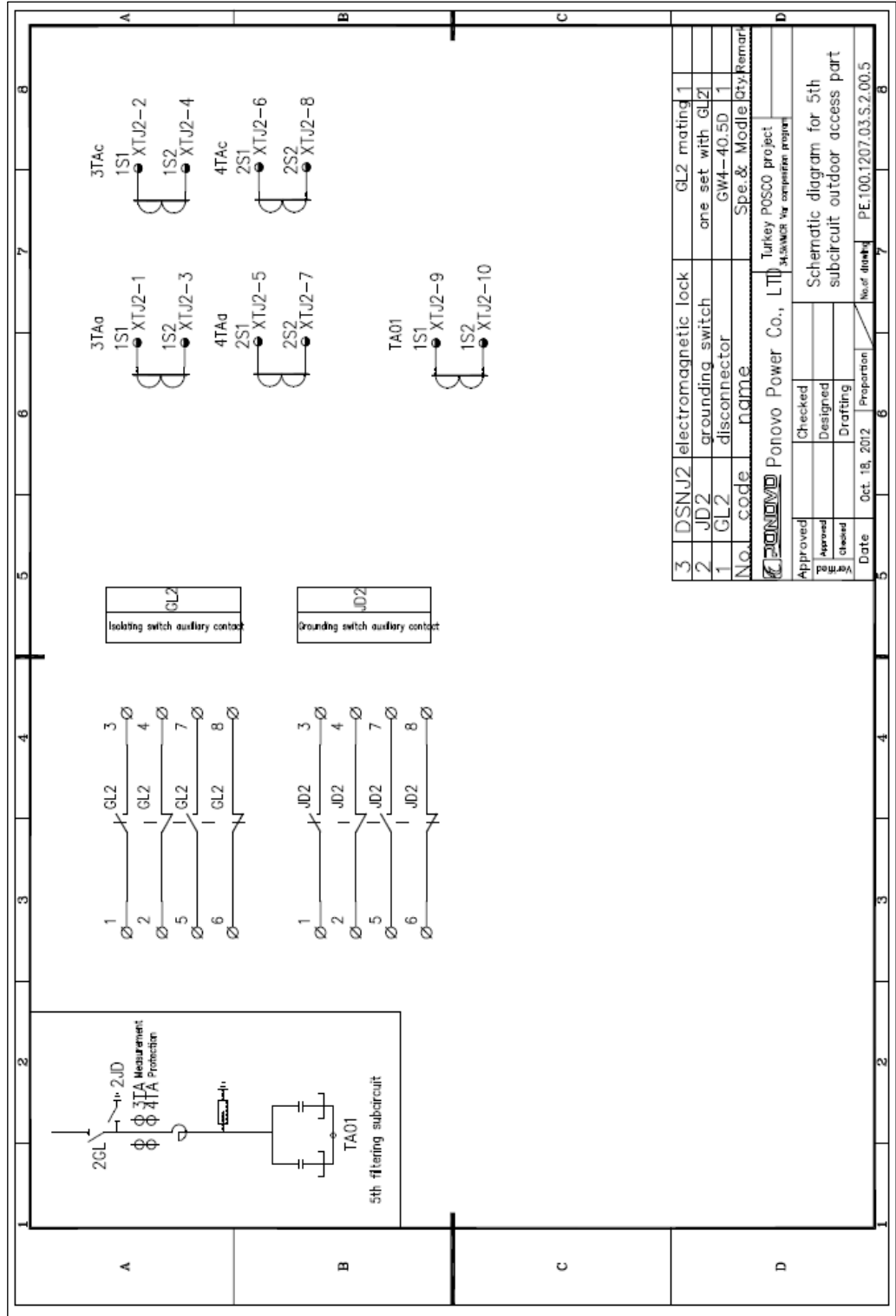


Şekil A.2. Tristörlerin bulunduğu kısım

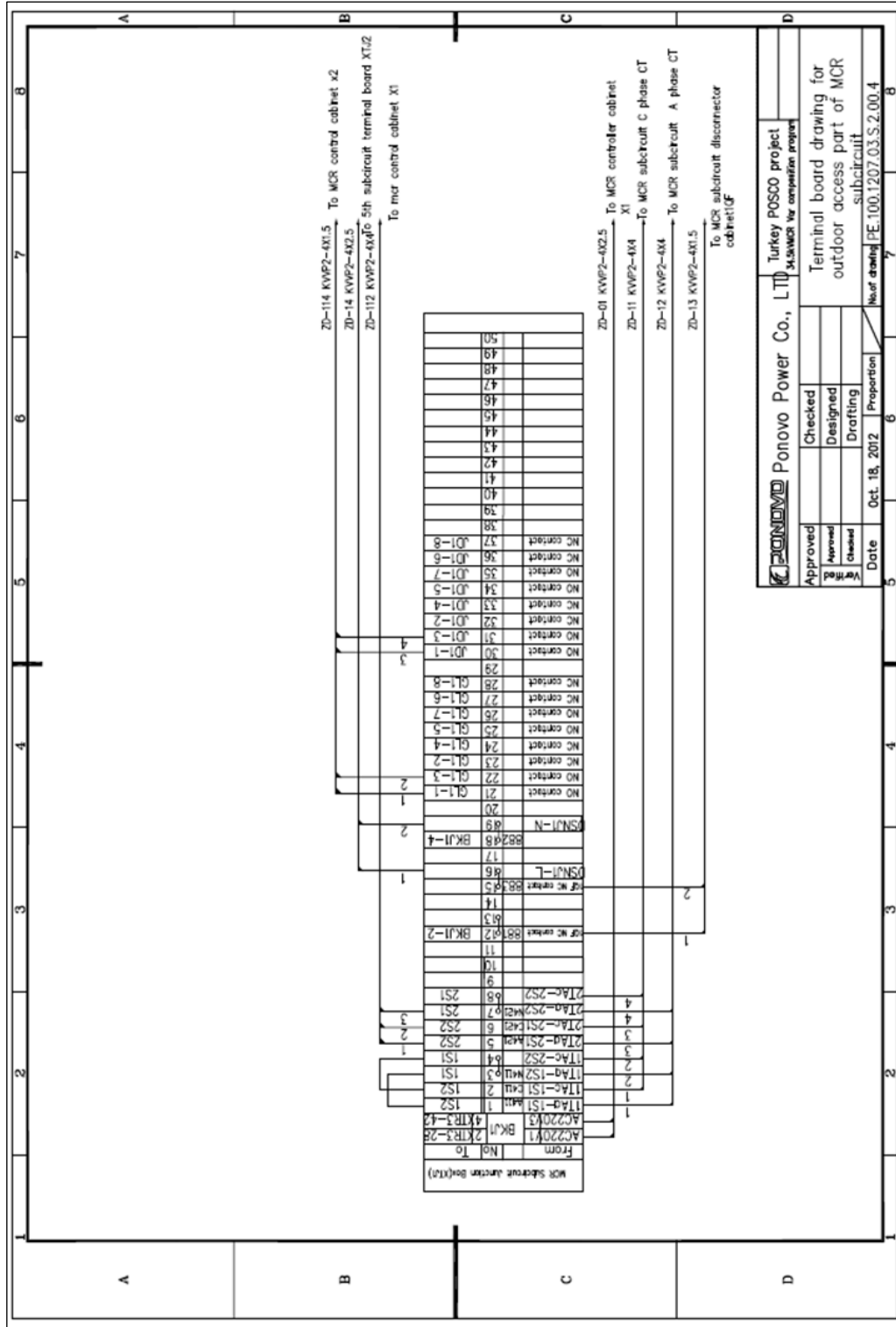
Ek-B



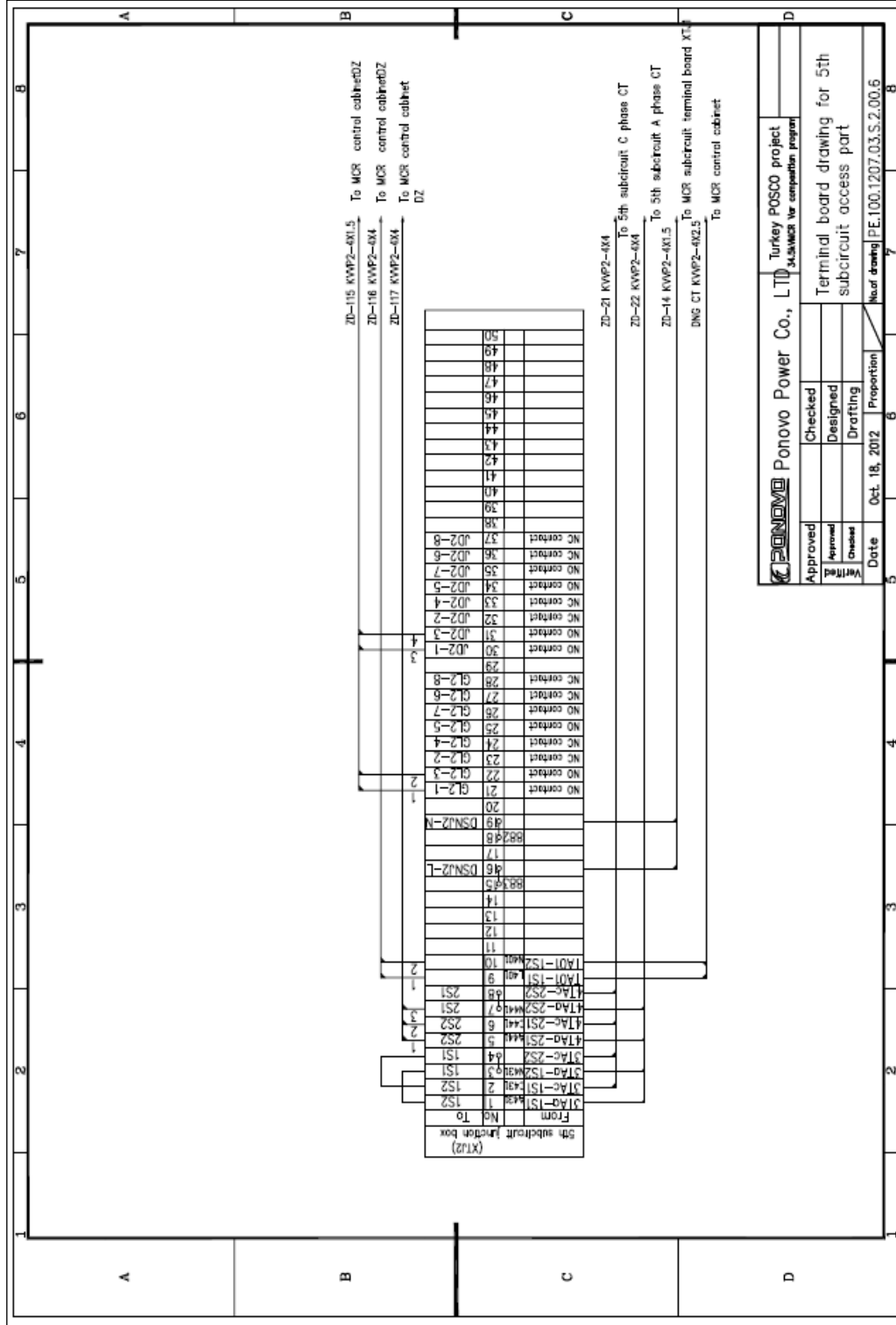
Şekil B.1. Dış mekân geçiş kısmı MCR devre şema diyagramı



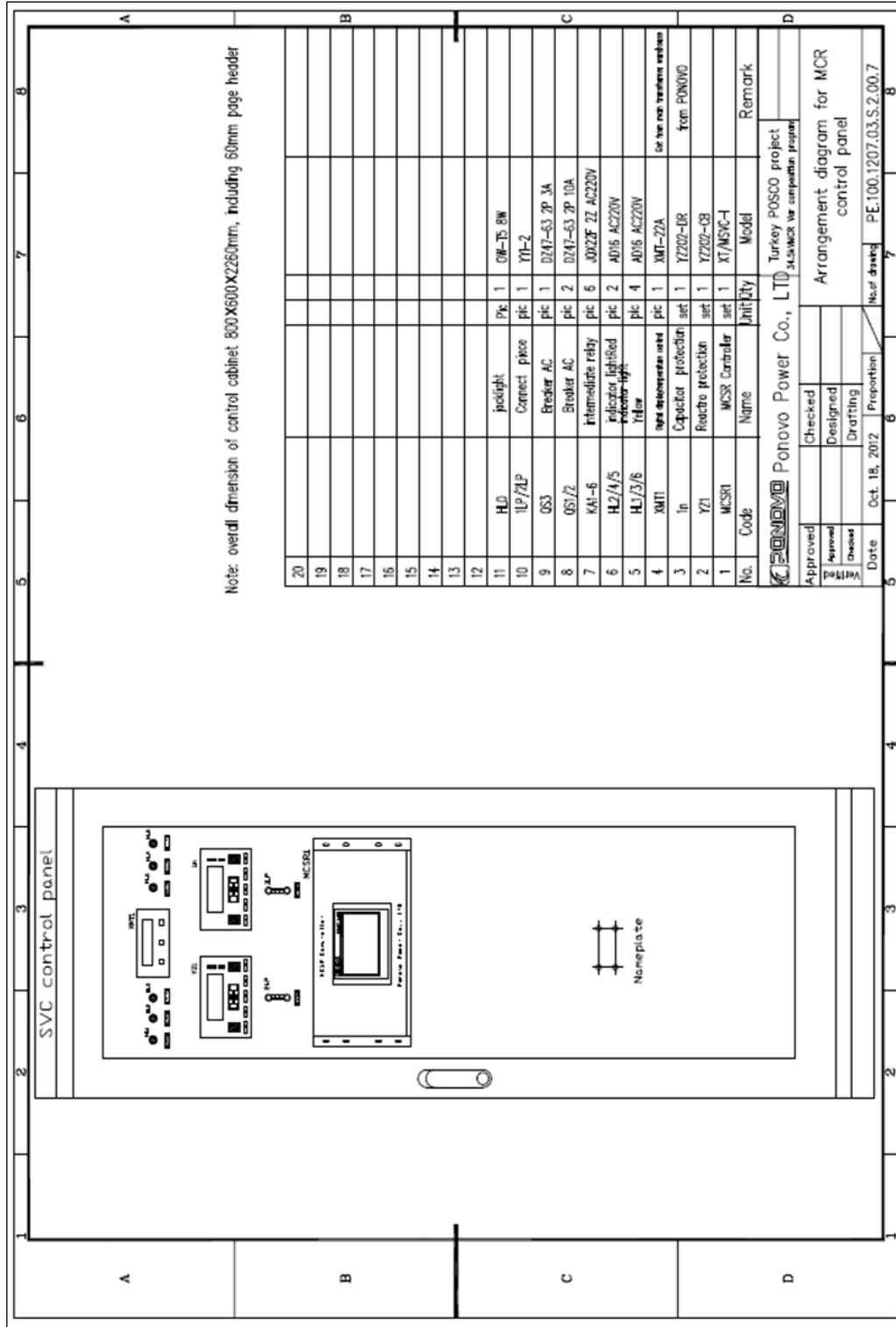
Şekil B.2. Dış mekân geçiş kısmı MCR devre bağlantı kutusu şeması çizimi



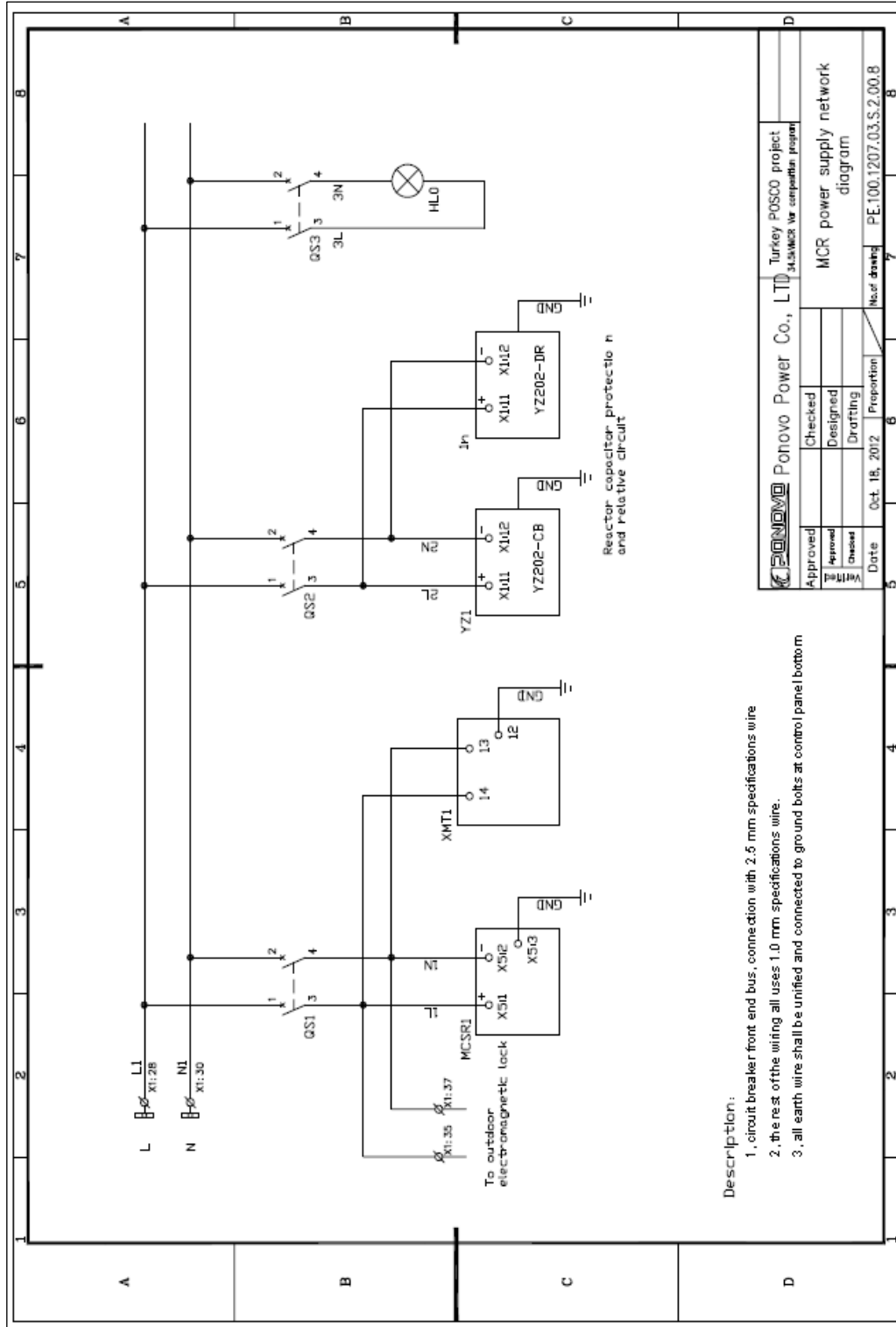
Şekil B.3. Dış mekân geçiş kısmı filtre devresi şema diyagramı



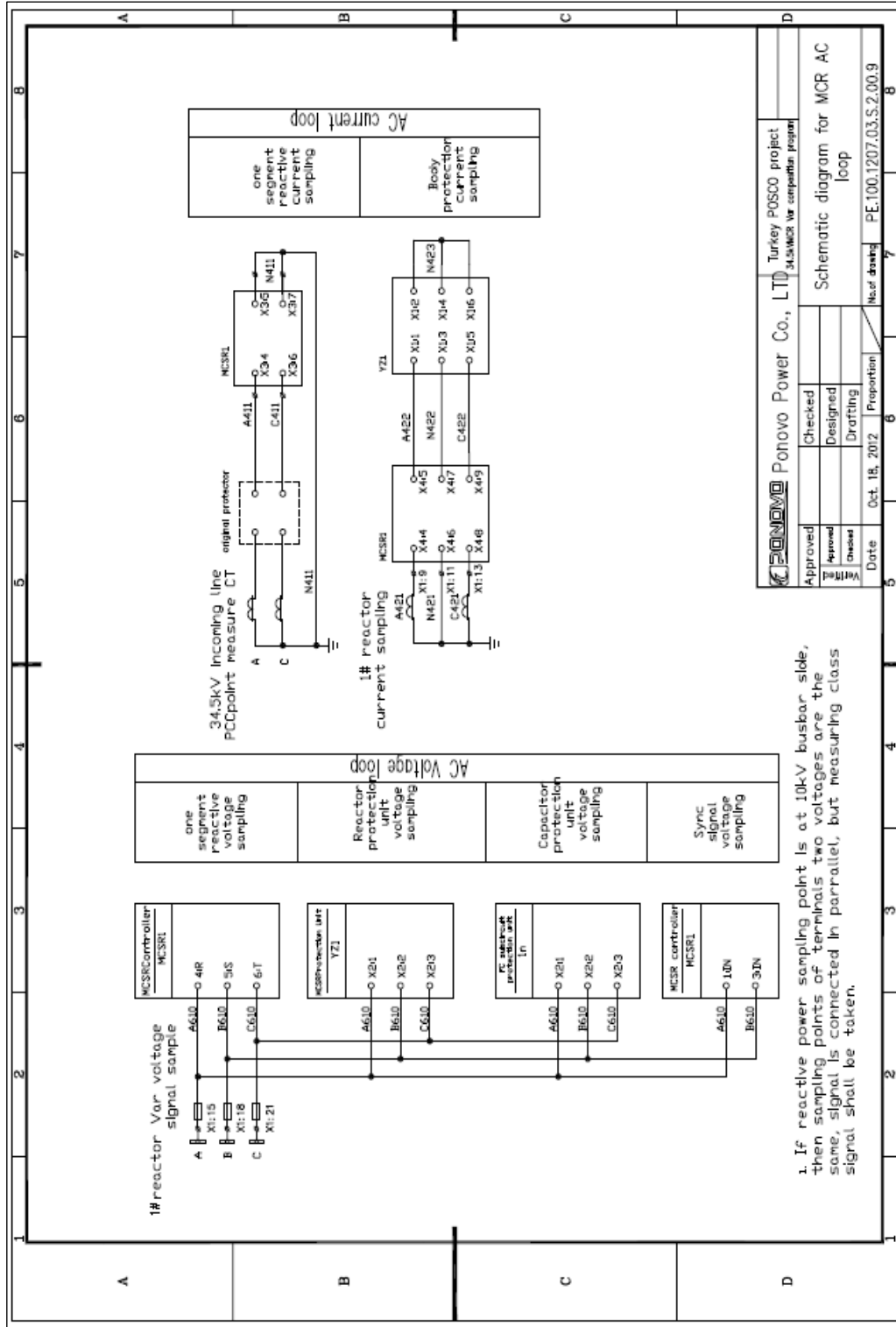
Şekil B.4. Geçiş parçası filtre devresi bağlantı kutusu çizimi



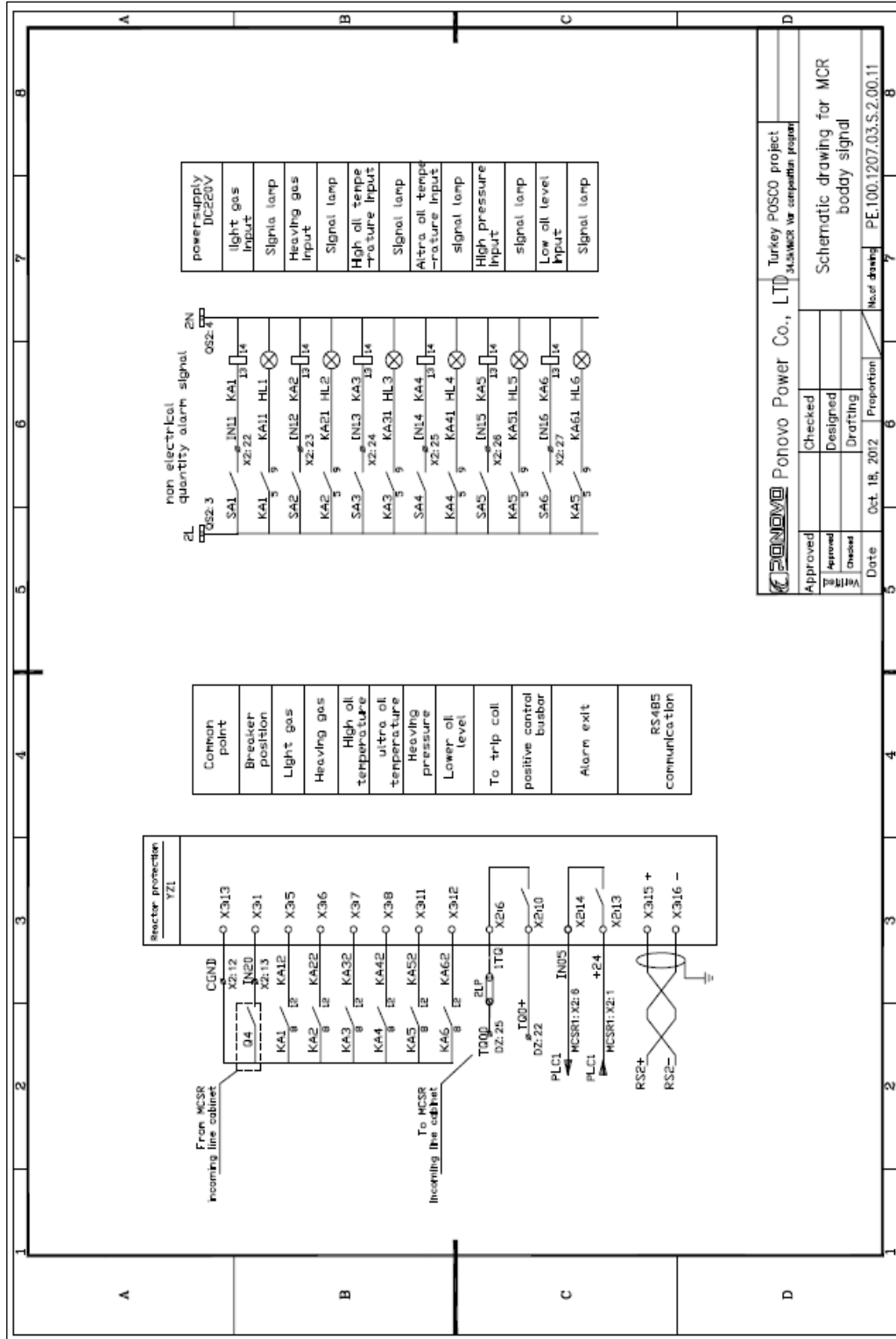
Şekil B.5. MCR kontrol panosu yerleşim diyagramı



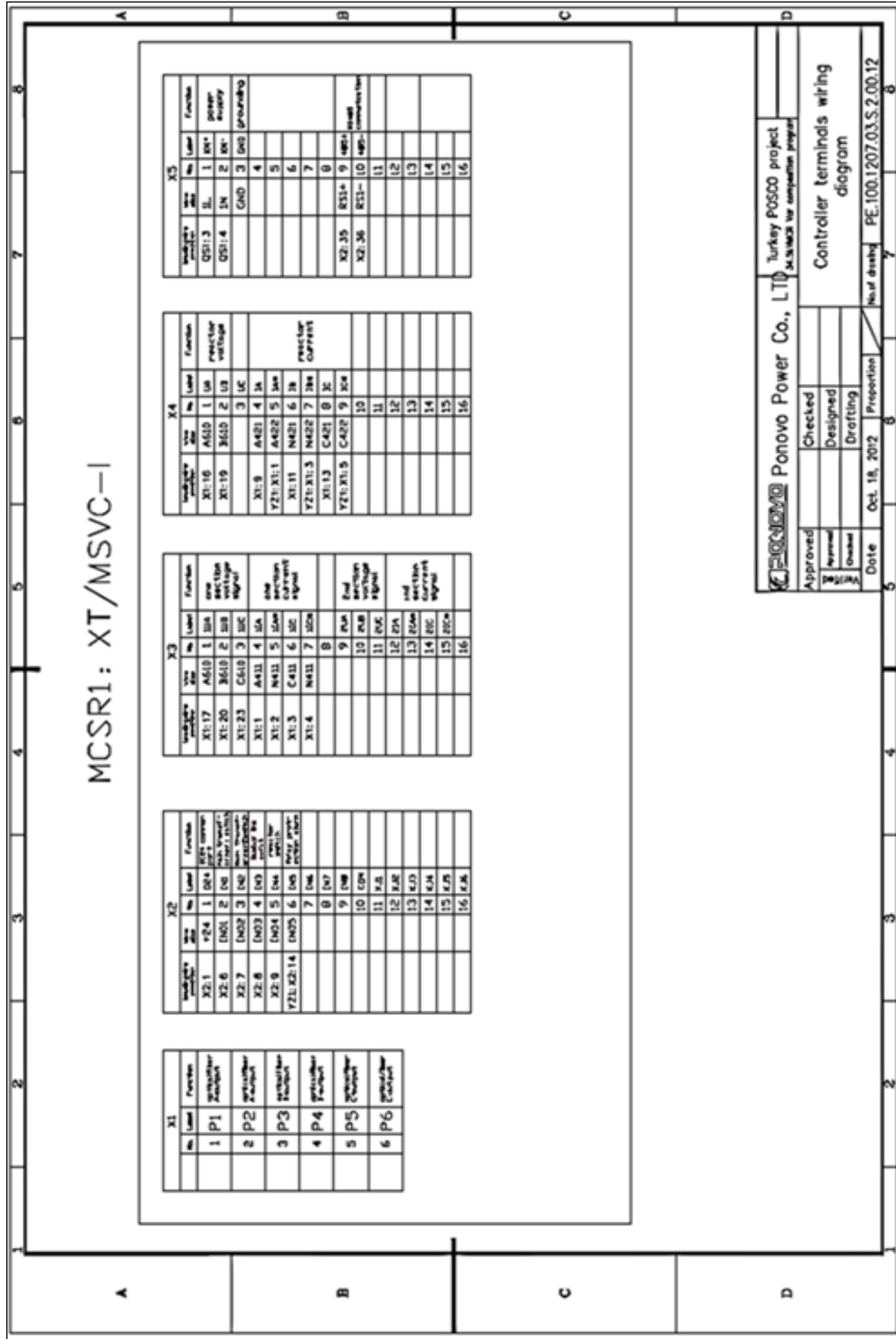
Şekil B.6. MCR güç dağıtım diyagramı



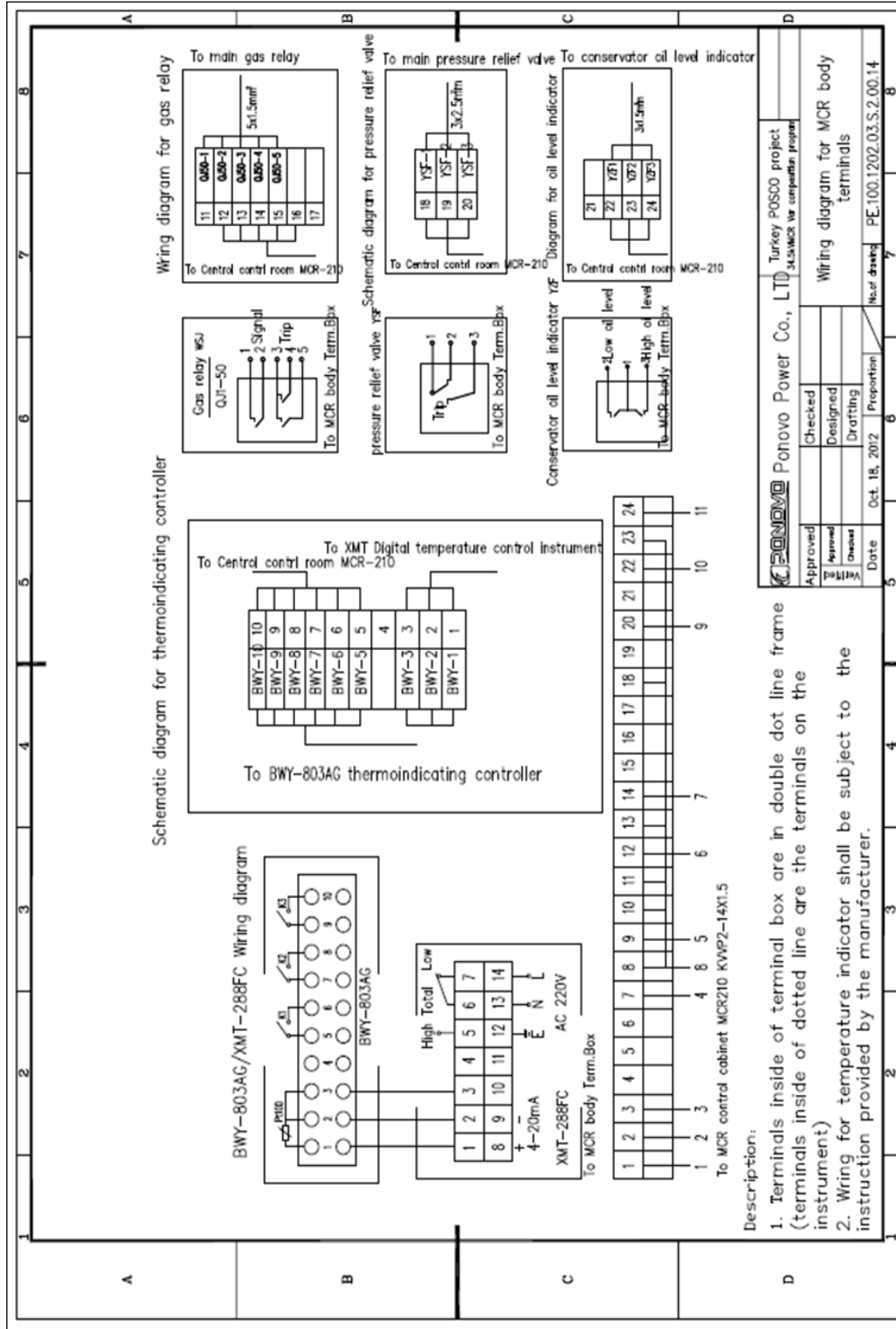
Şekil B.7. MCR alternatif akım döngü şema diyagramı



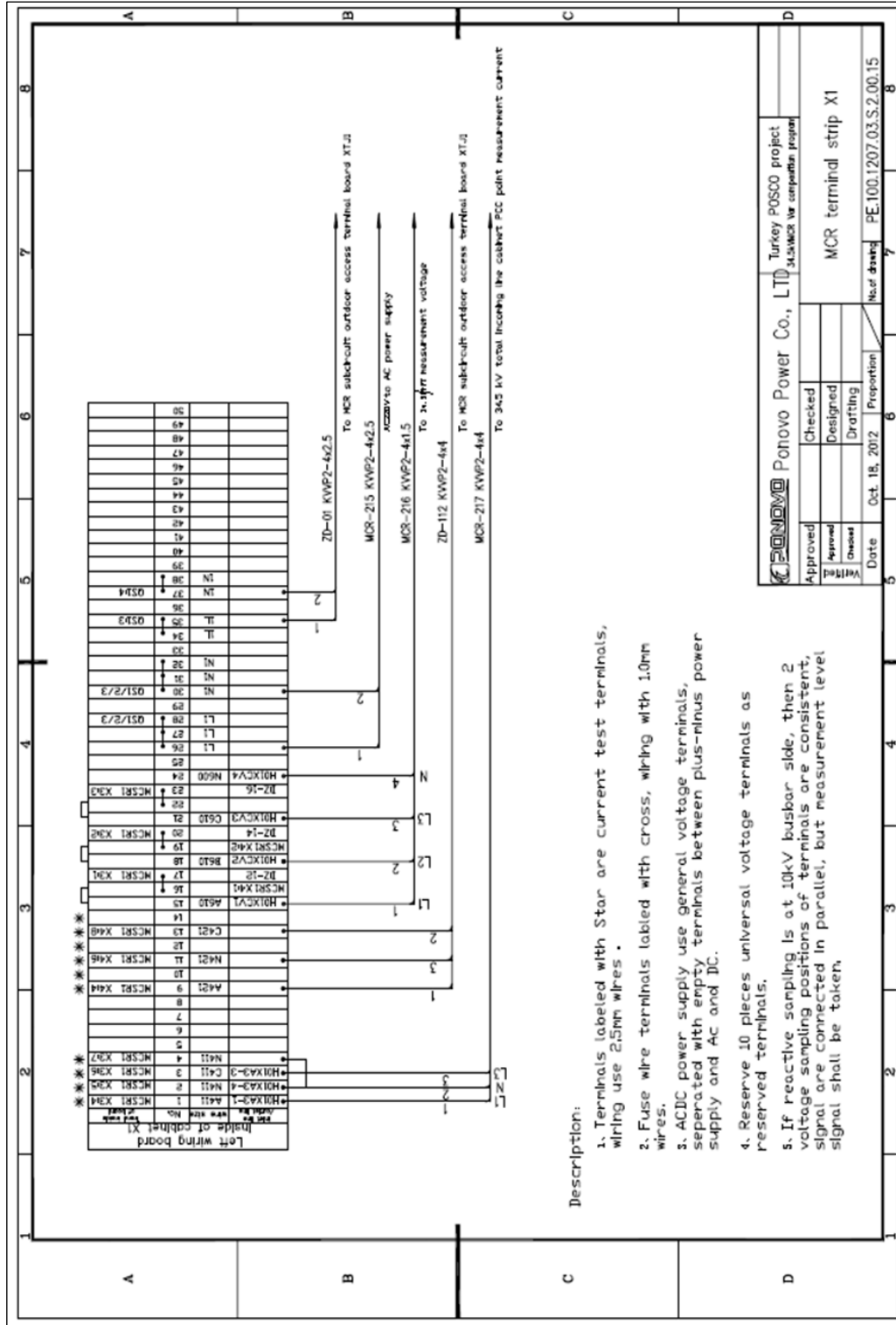
Şekil B.9. MCR gövde sinyalizasyon şema çizimi



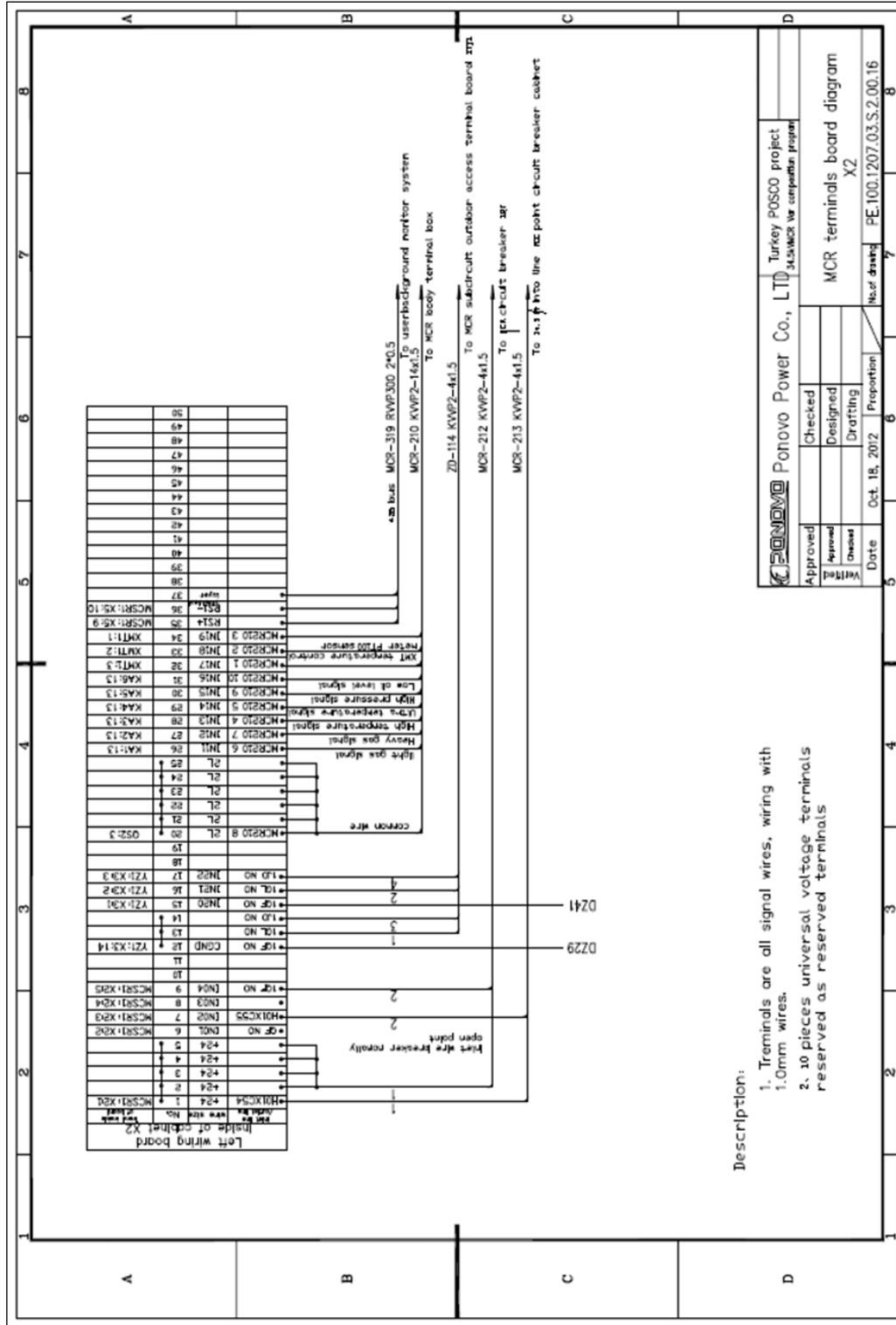
Şekil B.10. Kontrol ünitesi terminal kablo diyagramı



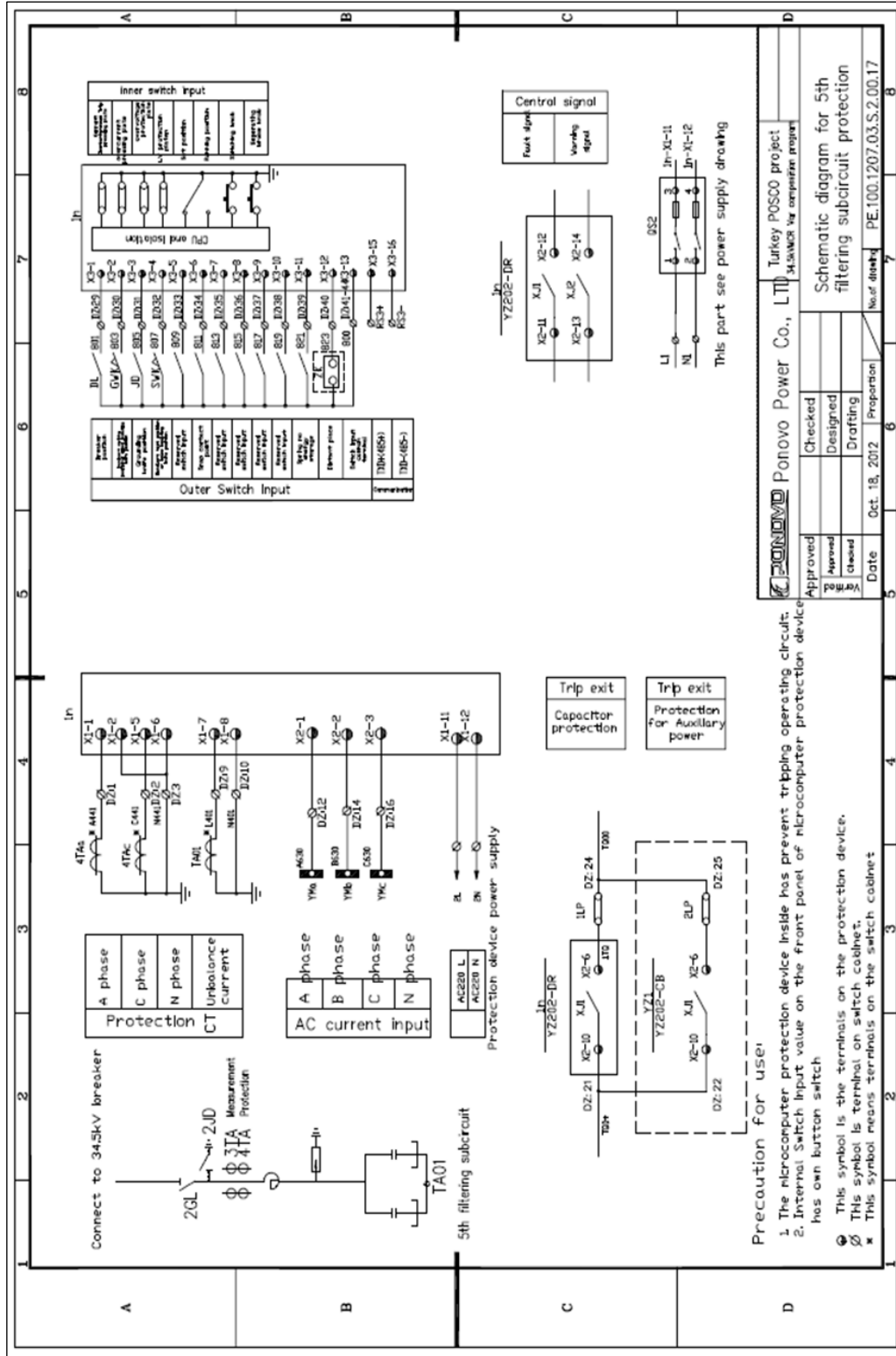
Şekil B.12. MCR gövde terminali kablo diyagramı



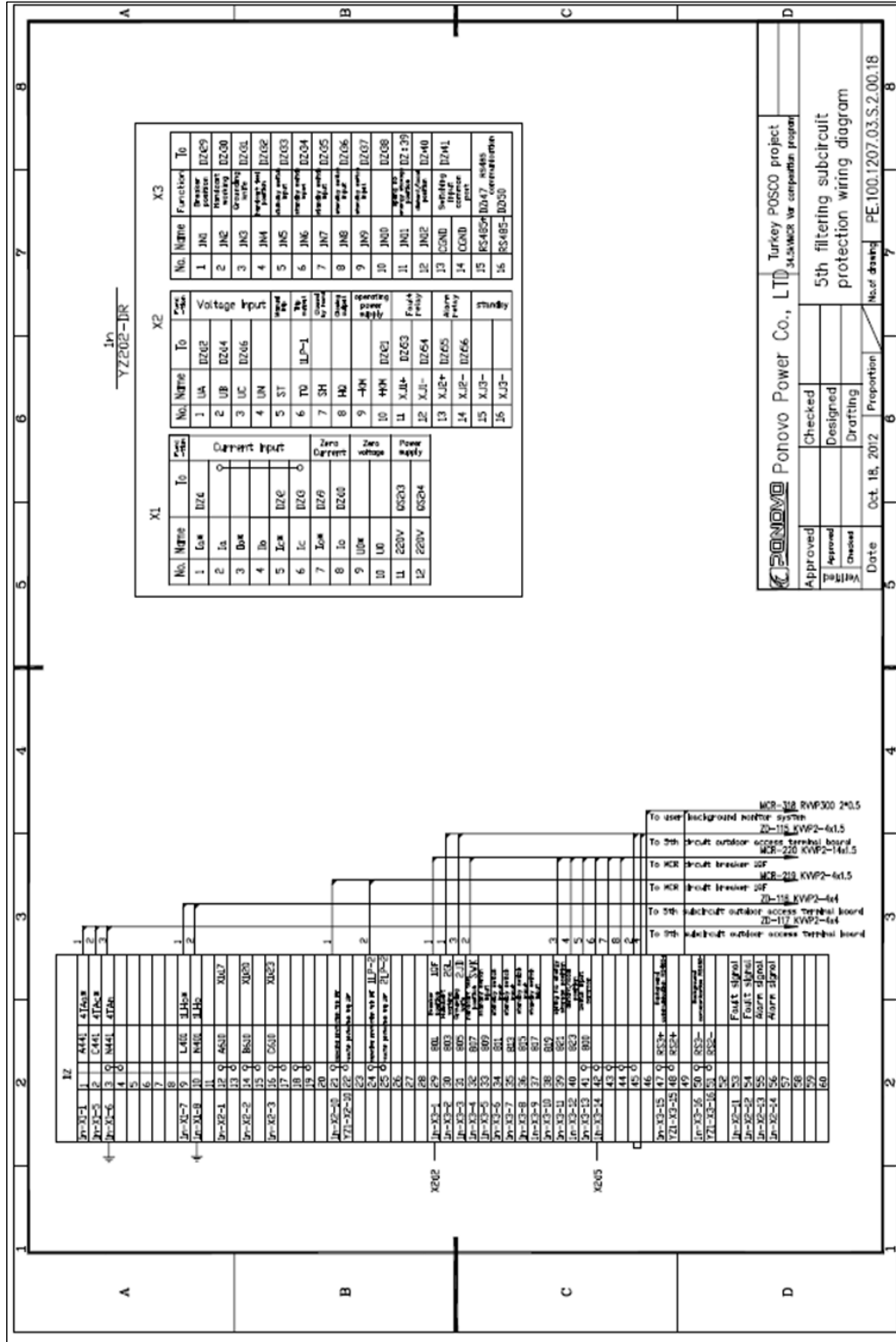
Şekil B.13. MCR X1 terminali



Şekil B.14. MCR X2 terminali



Şekil B.15. Filtre koruma devresi şema diyagramı



Şekil B.16. Filtre koruma devresi kablolama diyagramı

Ek-C

Page : 2/3

Inspection Data Sheet

Rating : 34500/ 6300 V AC 1Φ 50Hz 300kvar

Type : TAF - T345300S06R

Quantity : 26 EA

Result of Test

1. Withstanding Voltage Test

1-1 Terminal to Terminal

13.6 kV AC 10 Sec **Result : PASS**

1-2 Terminals to Case

55.0 kV AC 10 Sec **Result : PASS**

2. Sealing test

65 °C 2 Hours **Result : PASS**

3. Capacitance Test

Tolerance : +5% ~ -1% **Result : PASS**

4. Loss Tangent Test

Less than : 0.03% **Result : PASS**

5. Size

Only Permitted Inner Tolerance to Relative Drawing. **Result : PASS**

Şekil C.1. Kondansatör test raporu-1

Inspection Data Sheet

Type : TAF - T345300S06R

Rating : 34500/ 6300 V AC 1Φ 50Hz 300kvar

No.	MFG. No.	Capacitance						-	Loss Tangent (%)
		U-VW	V-UW	W-UV	Total Cap.(μF)	kvar	Tolerance (%)		
1	T3X7901				24.78	308.98	2.99		0.020
2	T3X7902				24.67	307.61	2.54		0.019
3	T3X7903				24.79	309.11	3.04		0.018
4	T3X7904				24.69	307.86	2.62		0.019
5	T3X7905				24.73	308.36	2.79		0.019
6	T3X7906				24.86	309.98	3.33		0.018
7	T3X7907				24.72	308.23	2.74		0.019
8	T3X7908				24.66	307.49	2.50		0.019
9	T3X7909				24.72	308.23	2.74		0.019
10	T3X7910				24.69	307.86	2.62		0.019
11	T3X7911				24.75	308.61	2.87		0.019
12	T3X7912				24.80	309.23	3.08		0.018
13	T3X7913				24.79	309.11	3.04		0.018
14	T3X7914				24.79	309.11	3.04		0.019
15	T3X7915				24.82	309.48	3.16		0.019
16	T3X7916				24.84	309.73	3.24		0.018
17	T3X7917				24.70	307.98	2.66		0.019
18	T3X7918				24.79	309.11	3.04		0.018
19	T3X7919				24.78	308.98	2.99		0.019
20	T3X7920				24.75	308.61	2.87		0.019
21	T3X7921				24.74	308.48	2.83		0.019
22	T3X7922				24.80	309.23	3.08		0.019
23	T3X7923				24.85	309.85	3.28		0.018
24	T3X7924				24.69	307.86	2.62		0.018
25	T3X7925				24.78	308.98	2.99		0.019
26	T3X7926				24.82	309.48	3.16		0.019

Şekil C.2. Kondansatör test raporu-2

Measurement item and test result				
No.	Test item	Specified value	Measured value	Result
		Standard		
1	Winding DC resistance measurement	Provide winding resistance value	A-B: 1.398 B-C: 1.399 C-A: 1.397	Qualified
2	Winding resistance measurement	Provide insulation resistance measured value	See Page2	Qualified
3	Applied withstand voltage test	Winding to earth	85kV 60s	Qualified
4	Induction withstand voltage test	Applied Voltage (kV) 2Ur Last time (S): 120 (f _r /f) Frequency (Hz): >50	69 40 150	Qualified
5, 6	Loss measurement	Provide measured loss value	See Page 3	Qualified
7	Relationship between control angle and current, and reactance measurement	Provide measured value	See Page 3	Qualified
8	Harmonic measurement	Provide measured value	See Page 4	Qualified
9	Voltage measurement between control terminals	Provide measured value	See Page 4	Qualified
10	Seal Test	Applied pressure (MPa): 0.05 Last time (h) :24 No leakage & no damage	0.049 24 No leakage & no damage	Qualified
11	Insulating oil test	breakdown voltage (kV) : ≥40	40	Qualified

Page 1/4

Şekil C.3. MCR test raporu-1

Test Parameter

Name	Three Phase Oil-immersed Shunt MCR		Type	BKST-5000/34.5	
Rated capacity	5000kVar	Rated current	83.7A	Rated voltage	34.5kV
Adjusted mode	Stepless adjustable	Rated frequency	50Hz	Joint mode	D
Phase	Three phase	Leave factory date	2012.10	Serial number	0040

Appearance check

- 1) The appearance structure and main dimensions of the tested product meet the requirements of the product drawings.
- 2) Nameplate formats, performance data, specification of the tested product meet the requirements of the design drawing.
- 3) The appearance of the tested product has no damage.

1. Winding DC Resistance Measurement

18℃

Measured position	(Ω) Measured resistance value	(%) Three-phase unbalance ratio
A—B	1.398	0.14
B—C	1.399	
C—A	1.397	

2. Insulation Resistance Measurement

18℃

Winding to earth	2000M Ω
------------------	----------------

3. Power Frequency Withstand Voltage Test

Test position	(kV) Test voltage	(S) Test time
Winding to earth	85	60

4. Induction Withstand Voltage Test

Magnetic controlled status	(kV) Applied voltage	Induction multiple	(Hz) Frequency	(S) Time
Without Magnetic controlled	69	2	150	40

Şekil C.4. MCR test raporu-2

5. No-load Test

Magnetic controlled status	(kV) Test voltage	(%) No-load current	(kW) No-load loss
Without Magnetic controlled	34.5	0.82	6.366

6. Load Test

Magnetic controlled status	(A) Applied current	75°C (kW) Load loss
Magnetic controlled	83.7	77.862

7. Relationship between control angle and current, and reactance measurement

Magnetic controlled status	(α) Control angle	(A) Applied current	(kV) Applied voltage	(Ω) Measured phase reactance
Magnetic controlled	75.6	84	34.5	711.4
Magnetic controlled	71.1	76	34.5	786.2
Magnetic controlled	66.5	67	34.5	891.8
Magnetic controlled	61.7	59	34.5	1012.8
Magnetic controlled	56.7	50	34.5	1195.1
Magnetic controlled	51.4	42	34.5	1422.7
Magnetic controlled	45.6	34	34.5	1757.5
Magnetic controlled	39.2	25	34.5	2390.2
Magnetic controlled	31.8	17	34.5	3514.9
Magnetic controlled	22.4	8	34.5	7469.3

Şekil C.5. MCR test raporu-3

8、 Harmonic Wave Measurement

Harmonic wave times	(%) Harmonic content
3 times	0.7
5 times	1.3
7 times	0.8
9 times	0.0
11 times	0.0
13 times	0.0
Total harmonic content	1.68

9、 Voltage Measurement Between Control Terminals

Phase A		Phase B		Phase C	
$U_{AB}=34.5kV$		$U_{BC}=34.5kV$		$U_{CA}=34.5kV$	
Test voltage		Test voltage		Test voltage	
k_1d_1	k_2d_1	k_1d_1	k_2d_1	k_1d_1	k_2d_1
350.2V	350.2V	350.2V	350.2V	350.2V	350.2V

10、 Seal Test

Test method	(MP _a) Applied pressure	(h) Last time	(MP _a) residual pressure	Test result
Static pressure method	0.05	24	0.049	No leakage, no damage

11、 Insulating oil

Oil No.	compressive strength (6 times average value)
45#	40kV

12、 Test results: The results of the tested product meet the GB1094.6-2011 standard and so on.

Inspector:

Supervisor:

Şekil C.6. MCR test raporu-4

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] Yörükeren N., Gencer Ö., **Malkoç A.**, Kartal H., Orta gerilim tristörlü kompanzasyon sistemi tasarımı ve uygulaması, *5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Kocaeli, 23-24 Mayıs 2013.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Tekirdağ’da tamamladı. 2003 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü’nden 2008 yılında mezun oldu. 2012-2014 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2011 yılından beri Posco Assan TST’ de kıdemli bakım mühendisi olarak görev yapmaktadır.