

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK- ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNİN ELEKTRİK İLETİM ŞEBEKESİNDE
HİBRİT HVDC UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik- Elektronik Müh. Eda KARACA

HAZİRAN 2016
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNİN ELEKTRİK İLETİM
ŞEBEKESİNDE HİBRİT HVDC UYGULAMASI

Elektrik-Elektronik Müh. Eda KARACA

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"ELEKTRİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 / 05 / 2016

Tezin Savunma Tarihi : 03 / 06 / 2016

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Fatih Mehmet NUROĞLU

Trabzon 2016

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Eda KARACA Tarafından Hazırlanan**

**DOĞU KARADENİZ BÖLGESİ'NİN ELEKTRİK İLETİM ŞEBEKESİNDE HİBRİT HVDC
UYGULAMASI**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 17/ 05 / 2016 gün ve 1653 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Ayşen BASA ARSOY

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih M. NUROĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan KAHVECİ



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Enerji kavramının her geçen gün dünyada daha fazla yer edinmesiyle birlikte Türkiye'nin de bu gelişime ayak uydurabilmesi önemlidir. Enerji iletiminde kullanılan yüksek gerilimli doğru akımlar (HVDC) vasıtasıyla iletim henüz ülkemizde yaygın değildir. Bu tez çalışmasında Doğu Karadeniz Bölgesi'nde herhangi bir HVDC sistem kurulmasıyla enterkonnekte sistem üzerinde bu bölgenin yük akışının nasıl değişeceği incelenmiştir. Bu durumun getireceği avantajlar ve dezavantajlar irdelenmiştir.

Bu tez çalışmasının her aşamasında benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Fatih Mehmet NUROĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamdaki modellemeleri yaptığım Digsilent Power Factory programını 'DIG-CP-12992 / DIG-PF-12992-11336' lisansı ile ücretsiz sağlayan DIGSILENT firması ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca beni her an destekleyen ve yanımda olduğunu hissettiren değerli eşim Bilal KARACA'ya sabrı ve anlayışı için teşekkür ederim.

Beni yetiştirip bugünlere getiren ve her an yanımda olan annem Buket AKBULUT'a ve babam Nihat AKBULUT'a teşekkür ederim.

Eda KARACA

Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Doğu Karadeniz Bölgesinin Elektrik İletim Şebekesinde Hibrit HVDC Uygulaması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Fatih Mehmet NUROĞLU’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 03/06/2016

Eda KARACA

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Araştırması	2
1.3. Türkiye Enterkonnekte Elektrik İletim Şebeke Yapısı.....	4
1.4. Yüksek Gerilimle Enerji İletimi	4
1.4.1. HVAC Enerji İletimi	4
1.4.2. HVDC Enerji İletimi	5
1.5. HVDC Bağlantı Çeşitleri.....	6
1.5.1. Monopolar HVDC Bağlantı	6
1.5.2. Bipolar HVDC Bağlantı	7
1.5.3. Homopolar HVDC Bağlantı	7
1.6. HVDC Sistem Elemanları	8
1.6.1. Konvertörler	9
1.6.1.1. Akım Kaynaklı Konvertörler.....	9
1.6.1.2. Gerilim Kaynaklı Konvertörler	9
1.6.2. Konvertör Transformatörleri	10

1.6.3.	AC Filtreler.....	10
1.6.4.	DC Düzeltme Reaktörü	10
1.6.5.	DC Hat.....	10
1.6.6.	DC Filtreler.....	10
1.7.	HVDC Konfigürasyonları	11
1.7.1.	İki terminalli HVDC Sistem	12
1.7.2.	Sırt-sırta HVDC Sistem.....	12
1.7.3.	Hibrit AC ve DC Sistem.....	12
1.7.4.	Çok terminalli HVDC Sistem.....	12
1.8.	HVDC Avantajları.....	13
1.9.	HVDC Dezavantajları.....	13
1.10.	HVDC Sistem Kayıpları.....	14
1.10.1.	DC İletim Hattı Kayıpları	14
1.10.2.	Dönüştürücü Merkez Kayıpları	15
1.11.	Digsilent Power Factory	15
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	16
2.1.	Giriş	16
2.2.	Mevcut HVAC Sistemin Modellenmesi.....	17
2.3.	Enerji İletim Hattı Parametreleri	18
2.4.	Trafo Merkezlerinin (380kV) Tek Hat Şemaları	19
2.4.1.	Kalkandere TM Tek Hat Şeması	19
2.4.2.	Tirebolu TM Tek Hat Şeması.....	20
2.4.3.	Samsun DGKÇ TM Tek Hat Şeması.....	22
2.4.4.	Çarşamba TM Tek Hat Şeması.....	22
2.4.5.	Kayabaşı TM Tek Hat Şeması.....	24
2.4.6.	Kurşunlu TM Tek Hat Şeması.....	25

2.4.7.	Hasan Uğurlu TM Tek Hat Şeması	26
2.4.8.	Osmanca TM Tek Hat Şeması.....	27
2.4.9.	Altinkaya TM Tek Hat Şeması.....	28
2.4.10.	Boyabat TM Tek Hat Şeması	30
2.4.11.	Deçeko TM Tek Hat Şeması	30
2.4.12.	Ordu TM Tek Hat Şeması	31
2.4.13.	Bağlum TM Tek Hat Şeması.....	32
2.4.14.	Borçka TM Tek Hat Şeması	34
2.4.15.	Cengiz DGKÇ TM Tek Hat Şeması	35
2.5.	HVDC Sistem Modellemesi	36
2.6.	Sistemin Uygulanması ve Sonuçlar.....	38
2.6.1.	Durum 1 İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	38
2.6.2.	Durum 2 İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	42
3.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	48
4.	ÖNERİLER	51
5.	KAYNAKLAR.....	53
6.	EKLER	55

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNİN ELEKTRİK İLETİM ŞEBEKESİNDE HİBRİT
HVDC UYGULAMASI

Eda KARACA

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Fatih Mehmet NUROĞLU
2016, 54 Sayfa, 4 Ek Sayfa

Teknolojinin gelişmesiyle beraber her geçen gün enerjiye olan ihtiyaç artmaktadır. Bu noktada enerjinin üretim ve iletiminin de en güvenilir ve kayıpsız şekilde yapılması oldukça önem taşımaktadır. Türkiye’de enerji iletimi yüksek gerilimli alternatif akımlar (HVAC) vasıtasıyla yapılmaktadır. Enerjinin yüksek gerilimli doğru akımlar (HVDC) vasıtasıyla yapılması enerji iletiminde yeni trendlerden biridir. Doğu Karadeniz Bölgesi üretim kaynakları bakımından oldukça zengindir. Bu bölgede üretime nispeten tüketim daha azdır. Bu yüzden üretilen enerji, iletim hatları ile batıya taşınmaktadır. Üretim fazlalığı iletim hatlarında aşırı yüklenmeye ve zaman zaman bölgesel çökmelere neden olmaktadır. İletim hatlarının yüklenmesini ve kayıpları azaltmak için Doğu Karadeniz Bölgesi’nde hibrit olarak kurulacak bir HVDC iletim sistemi ele alınmıştır.

Bu tez çalışmasında Doğu Karadeniz Bölgesi’nin mevcut iletim şebekesi Borçka’dan Osmanca’ya kadar modellenmiştir. Aynı hat üzerinde paralel olarak bir HVDC hat da modellenerek sisteme entegre edilmiştir. Tüm modellemeler DIGSILENT Gmbh firmasının ’DIG-CP-12992 / DIG-PF-12992-11336’ protokollü 1 yıllık ücretsiz lisansı ile Digsilent Power Factory 15.2.5 güç sistemleri analiz programı kullanılarak yapılmıştır. Gerçek sistem parametreleri kullanılarak farklı zaman dilimleri için sistem çıktıları incelenmiştir. Tasarlanan HVDC sistemin var olan sistemde yük akışına nasıl etki ettiği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: HVDC, HVAC, Yük Akış Analizi, Elektrik İletim Sistemi

Master Thesis

SUMMARY

APPLICATION OF HYBRID HVDC IN THE TRANSMISSION SYSTEM OF
EASTERN BLACK SEA REGION

Eda KARACA

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Fatih Mehmet NUROĞLU
2016, 54 Pages, 4 Appendix Pages

As a result of the developments in technology, the need for energy has increased. At this point, the production and transmission of energy in the most reliable and less lossless way is of vital importance. Energy transmission in Turkey is conducted through the high voltage alternating current. Transmission of high voltage direct current is one of the recent trends in energy transmission. East Black Sea region has a large quantity of production resources. Compared to production, consumption is lower in the region. For this reason; produced energy is transmitted to the west via the transmission lines. However; production surplus may lead to overloading and sometimes regional failures on the transmission line. A HVDC transmission line which would be established as hybrid in East Black Sea region was examined in order to prevent overloading and losses on the transmission lines.

In this study, the existing transmission network of East Black Sea Region, from Borçka to Osmanca, was modelled. A HVDC line, in parallel with the same line, was modelled and integrated into the system. All the modellings were done using Digsilent Power Factory 15.2.5 power systems analysis software. Digsilent Power Factory 15.2.5 power systems analysis software is provided by Digsilent through one year free licensed DIGSILENT firm's 'DIG-CP-12992 / DIG-PF-12992-11336' protocol. The system outcomes at different time frames were examined by using actual system parameters. Finally, the effect of the developed HVDC system on the load flow in the present system was determined.

Key Words: HVDC, HVAC, Load Flow Analysis, Electricity Transmission System

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	HVDC şematik gösterim	6
Şekil 1.2.1.	Toprak dönüşlü monopolar HVDC şematik gösterim.....	6
Şekil 1.2.2.	Metal dönüşlü monopolar HVDC şematik gösterim.....	7
Şekil 1.3.	Bipolar HVDC şematik gösterim	7
Şekil 1.4.	Homopolar HVDC şematik gösterim	8
Şekil 1.5.	HVDC sistemde bulunan elemanlar	8
Şekil 1.6.	Akım ve gerilim kaynaklı konvertör yapısı [5]	9
Şekil 1.7.	HVDC konfigürasyonları [17,18].....	11
Şekil 1.8.	AC ve DC hattın karşılaştırılması[5].....	14
Şekil 2.1.	Boçka-Osmanca arası elektrik iletim sistemi	17
Şekil 2.2.1.	Durum 1 için Kalkandere (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı	20
Şekil 2.2.2.	Durum 2 için Kalkandere (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı	20
Şekil 2.3.1.	Durum 1 için Tirebolu (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı.....	21
Şekil 2.3.2.	Durum 2 için Tirebolu (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı.....	21
Şekil 2.4.1.	Durum 1 için Samsun DGKÇ (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı... 22	
Şekil 2.4.2.	Durum 2 için Samsun DGKÇ (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı... 22	
Şekil 2.5.1.	Durum 1 için Çarşamba (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı.....	23
Şekil 2.5.2.	Durum 2 için Çarşamba (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı.....	23
Şekil 2.6.1.	Durum 1 için Kayabaşı (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı.....	24
Şekil 2.6.2.	Durum 2 için Kayabaşı (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı.....	25
Şekil 2.7.1.	Durum 1 için Kurşunlu (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı.....	25
Şekil 2.7.2.	Durum 2 için Kurşunlu (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı.....	26
Şekil 2.8.1.	Durum 1 için Hasan Uğurlu (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı	26
Şekil 2.8.2.	Durum 2 için Hasan Uğurlu (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı	26

Şekil 2.9.1. Durum 1 için Osmanca (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı.....	27
Şekil 2.9.2. Durum 2 için Osmanca (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı.....	28
Şekil 2.10.1. Durum 1 için Altinkaya (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı.....	29
Şekil 2.10.2. Durum 2 için Altinkaya (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı.....	29
Şekil 2.11.1. Durum 1 için Boyabat (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı	30
Şekil 2.11.2. Durum 2 için Boyabat (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı	30
Şekil 2.12.1. Durum 1 için Deçeko (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı	30
Şekil 2.12.2. Durum 2 için Deçeko (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı	31
Şekil 2.13.1. Durum 1 için Ordu (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı	31
Şekil 2.13.2. Durum 2 için Ordu (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı	32
Şekil 2.14.1. Durum 1 için Bağlum (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı	33
Şekil 2.14.2. Durum 2 için Bağlum (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı	33
Şekil 2.15.1. Durum 1 için Borçka (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı	34
Şekil 2.15.2. Durum 2 için Borçka (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı	35
Şekil 2.16.1. Durum 1 için Cengiz DGKÇ (380kV) TM tek hat diyagramı	36
Şekil 2.16.2. Durum 2 için Cengiz DGKÇ (380kV) TM tek hat diyagramı	36
Şekil 2.17. Borçka-Osmanca arasına kurulan HVDC sistem	37
Şekil 2.18. Trafo merkezlerinin Durum1 ve Durum2 için gerilim profili.....	47

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Dünyadaki bazı HVDC bağlantıları [9,10]	5
Tablo 2.1. Enerji iletim hat parametreleri.....	18
Tablo 2.2. DC hattın parametreleri.....	37
Tablo 2.3. Doğrultucu ve İnvörtör parametreleri.....	37
Tablo 2.4. Durum 1 için 380kV baraların aktif ve reaktif güç değerleri.....	39
Tablo 2.5. Durum 1 için Hat Yüklenmesi (%)	40
Tablo 2.6. Durum 1 için Borçka ve Osmanca AC baralarına ait sonuçlar	40
Tablo 2.7. Durum 1 için Hat Akımları (kA).....	41
Tablo 2.8. Durum 1 için Hat Üzerindeki Aktif Güç Kayıpları (MW).....	42
Tablo 2.9. Durum 2 için 380kV baraların aktif ve reaktif güç değerleri.....	43
Tablo 2.10. Durum 2 için Hat Yüklenmesi (%)	44
Tablo 2.11. Durum 2 için Borçka ve Osmanca AC baralarına ait sonuçlar	44
Tablo 2.12. Durum 2 için Hat Akımları (kA).....	45
Tablo 2.13. Durum 2 için Hat Üzerindeki Aktif Güç Kayıpları (MW).....	46
Tablo 2.14. Hat Üzerindeki Toplam Aktif Güç Kayıpları (MW).....	46

SEMBOLLER DİZİNİ

HVAC	High Voltage Alternating Current (Yüksek Gerilimli Alternatif Akım)
HVDC	High Voltage Direct Current (Yüksek Gerilimli Doğru Akım)
TM	Trafo Merkezi
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistör (İzole Edilmiş Kapılı Bipolar Transistör)
PWM	Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
HES	Hidro Elektrik Santrali
DGKÇ	Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali
TES	Termik Elektrik Santrali
CSC	Current Source Converter (Akım Kaynaklı Konvertör)
VSC	Voltage Source Converter (Gerilim Kaynaklı Konvertör)
AC	Alternating Current (Alternatif Akım)
DC	Direct Current (Doğru Akım)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Elektrik enerjisi üretimi Türkiye’de doğalgaz başta olmak üzere, hidrolik, taş kömürü ve linyit, güneş, rüzgar, jeotermal gibi farklı kaynaklardan sağlanmaktadır. Kaynakların genelde yerleşim birimlerinden uzak olması enerjinin iletimini zorunlu kılmaktadır. Üretilen elektrik enerjisi, enerji nakil hatları ile tüketiciye ulaştırılarak kullanıma sunulmaktadır. Bu noktada elektrik enerjisinin en verimli şekilde taşınması büyük önem arz etmektedir. Çünkü kayıp ne kadar az olursa ülke ekonomisine o kadar katkıda bulunulur. Bu sebeple elektrik enerjisinin taşınmasında her yol değerlendirilerek en uygun yöntem seçilmelidir.

1900’lü yıllara kadar eldeki imkanlar ile yapılacak en iyi iletim elektrik enerjisini alternatif akım (AC) ile taşımaktı. Daha sonra teknolojiye hızlı ilerlemelere bağlı olarak elektrik enerjisinin doğru akım (DC) ile taşınması yeni bir alternatif olarak belirdi. Dünyada peş peşe yüksek gerilimli doğru akımla (HVDC) enerji iletimi projeleri uygulanmaya başlandı. Türkiye’de HVDC ile elektrik enerjisi iletimi henüz başlamamıştır. Türkiye’nin sadece komşu ülkelerden Gürcistan ile sırt-sırtta asenkron HVDC bağlantısı mevcuttur.

Bu tez çalışmasında mevcut elektrik iletim sistemimize ilave bir HVDC sistem olması durumunda enerji taşınırken ne gibi avantajları ya da dezavantajları olacağı incelenmiştir. Mevcut sistemdeki yük akışına etkisinin ne olacağı gerçek şebeke verilerine göre saptanmıştır.

1.2. Literatür Araştırması

Elektrik enerjisi genellikle üç faz alternatif akım (AC) ile iletilirler. Bugün AC güç sistemleri dünyada kendini kabul ettirmiş bir teknolojidir. Ama elektrik iletiminin geçmişine gidilecek olursa bu Thomas Edison'un da katkılarıyla 19. yüzyılın sonlarına tekabül etmektedir. O yıllarda Edison'un doğru gerilimine rakip olarak Nikola Tesla'nın alternatif gerilimi çıkmıştı. Her iki tarafta iletim için en iyi yolun kendi teknolojisi olduğunu savunmaktaydı [1].

Edison bu çekişmede galip geldi. İlk elektrik enerji iletimi Thomas Alva Edison tarafından 1882 yılında 100 Volt'luk doğru gerilim ile Newyork'un Pearl sokağında 1.6 km'lik uzaklığa yapıldı [2].

Elektrik enerjisi taşınırken kayıpların az olması için gerilimin yüksek, akımların ise düşük olması gerekir. Ancak Edison'un sisteminde gerilim seviyesinin değişmesi çok zordu ve bu DC ile taşımaya engel teşkil ediyordu.

1890'da üç faz asenkron motorlar üretmeye yönelik çalışmalar başladı ve 1893 yılında 3kW, 1500rpm, 110V, 50 Hz, 3 fazlı ilk elektrik motoru üretildi [3]. Transformatörler ve asenkron motorların icadıyla iletim alternatif akımla yapılmaya başlandı. Çünkü gerilim kolayca arttırılarak taşınabiliyor ve dağıtımda gerilim seviyesi tekrar azaltılabiliyordu. Böylece hem kayıplar azalıyor hem de iletim daha güvenilir şekilde yapılıyordu. Böylece bir süreliğine DC iletim gözden düştü ve tüm dünyada AC iletim ilk tercih edilen enerji taşıma yöntemi olmaya başladı.

1920'de civa arklı doğrultucuların üretilmesi ile konvertör teknolojisinde yeni bir adım atılmış oldu [4].

Yaşanan tüm bu gelişmelerin ışığında da ilk ticari HVDC hat 1954 yılında Götland ve İsveç arasında tesis edildi. 20MW'lık bu HVDC sistem 98 km uzunluğunda deniz altı kablolarıyla bağlandı [5].

Bu ilk bağlantının ardından 1960'lı yıllarda bu teknoloji giderek yayılmaya başladı ve peşpeşe HVDC bağlantılar kuruldu.

Yeni Zelanda'da bir boğaz olan Cook Boğazı'na 600MW ve ± 250 kV bir HVDC bağlantı yapıldı. Bu boğaz kuzey adasını güney adasına bağladı ve bu bağlantıda hem uzun havai hatlar hem de denizaltı kablolar kullanıldı [6].

Yine bu yıllarda İsveç ve Danimarka arasında 250MW ± 275 kV HVDC sistem kuruldu [6].

Japonya'da Sakuma Projesi'nde 300MW ± 125 kV HVDC sistem kuruldu. Bu sistem 50/60Hz Frekanslı konvertör kullanılması bakımından dünyada ilkti [7].

1970'lerde Oregon ile Los Angeles arasına 1440 MW Pasifik HVDC kuruldu. Bu sistem bipolar olarak 856 mil uzunluğunda havai hatlar ile ± 400 kV gerilimde işletildi. Her bir kutupta 3 tane 133kV 6 darbeli konvertör kullanılan bu bağlantı aynı zamanda AC networke dahil edilen ilk HVDC hat olma özelliğine sahiptir [8].

Teknoloji hızla ilerlemeye devam ederken 1970'de tristör tabanlı konvertörler üretildi ve bu konvertörler HVDC uygulamada kendine yer edindi [4].

100kV Götland HVDC hattına 10MW tristör tabanlı konvertör grupları eklenerek kablonun voltaj seviyesi 150kV'a çıkarıldı [6]. HVDC sistemlerde yaşanan gelişmeler voltaj seviyesinin ve güç miktarının artması ile devam etti.

1980'li yıllarda yalıtılmış kapılı bipolar transistörlerin (IGBT) üretimiyle HVDC sistemlerde yeni bir çığır açıldı. Yalıtılmış kapılı bipolar transistörler konvertörlerde kullanılmaya başlandı ve bu teknoloji 'HVDC Light' ismini aldı. Bu sistemler PWM (darbe genişlik modülasyonu) tekniğini kullanarak filtrelerdeki kayıpların azalmasını ve DC voltaj seviyesinin iyileştirilmesini sağlar. IGBT'li konvertörler aktif güç kadar reaktif güçte ürettikleri için çok az hatta yok denecek kadar az reaktif güç kompanzasyonuna ihtiyaç duyar. IGBT'li konvertörlerin başka bir avantajı da konvertör istasyonlarının daha az yer kaplamasıdır. İlk HVDC Light projesi yani ilk IGBT'li konvertör kullanılan HVDC projesi Götland'ın güney kısmından Visby'e yer altı kabloları ile yapılmıştır [6].

1.3. Türkiye Enterkonnekte Elektrik İletim Şebeke Yapısı

Türkiyede elektrik enerjisi iletimi enterkonnekte sisteme göre yapılmaktadır. Enterkonnekte sistem enerji üretim ve tüketim merkezlerinin tümünün yer aldığı ve ihtiyaca göre enerji alışverişinin yönünü belirleyen sistemdir. Türkiye'nin ulusal elektrik enerjisi iletim sistemi diğer ülkelerin elektrik enerji iletim sistemleriyle bağlıdır. Bunun anlamı aynı enterkonnekte şebekeye bağlanan ülkeler arasında belli protokollere göre ihtiyaca göre enerji alışverişi sağlanmasıdır.

1.4. Yüksek Gerilimle Enerji İletimi

Enerji bir ülkenin temel gereksinimlerindedir. Herhangi bir ülkenin gelişmişliği o ülkenin enerji noktasındaki altyapısı ile doğrudan ilişkilidir. Teknolojide yaşanan gelişmeler ile enerjiye olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Bu da beraberinde enerjinin en etkili şekilde üretilmesi ve iletilmesi ihtiyacını doğurmaktadır.

Elektrik enerjisinin üretimi farklı şekillerde olabilmektedir. Ülkemizde de buna örnek olarak su, rüzgar, güneş, jeotermal enerji verilebilir. Elektrik enerjisi genellikle yerleşim birimlerinden uzak yerlere kurulan tesislerden üretilir. Elektrik üretim tesisi kurulurken kaynağa yakınlık en önemli kısıtlardan biridir. Enerji üretildikten sonra uzak yerleşim birimlerine iletimi yapılmaktadır. İletim yapılırken kaybın minimum olması istenir. Bu yüzden enerji iletimi yüksek gerilim ile yapılmaktadır. Ayrıca herhangi bir santralin üreteceği elektrik enerjisi 380 kV'luk enerji iletim nakil hattı ile taşınırsa 154 kV veya 66 kV enerji iletim hattına göre daha az hat gerekir.

1.4.1. HVAC Enerji İletimi

Türkiye'deki Enterkonnekte sistemde elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım safhalarından geçerek tüketime sunulur. Bu aşamaların her birinde dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. Elektrik enerjisi iletim aşamasında hesaba katılması gereken en önemli hususlardan birisi de iletim kayıplarıdır. Üretim genelde yerleşim yerlerinden uzakta olduğu için elektrik enerjisi uzun elektrik iletim hatları yardımıyla taşınır. Enerji bir yerden bir yere taşınırken enerji nakil hattının uzunluğuna bağlı olarak hat direnci artar. Dolayısıyla kayıplar meydana gelir.

Türkiye’de mevcut enterkonnekte sistemde enerji yüksek gerilimli alternatif akımlar (HVAC) vasıtasıyla iletilir. Üretilen enerjinin gerilimi transformatörler yardımıyla yüzlerce kV seviyesine çıkarılır. Gerilimin yükseltilmesinin sebebi iletim kayıplarını azaltmaktır. Daha sonra gerilimi yükseltelen enerji AC iletim hatları yardımıyla taşınır ve dağıtım merkezlerine getirilir. Burada tekrar transformatörler yardımıyla enerjinin gerilim seviyesi voltlar seviyesine düşürülür ve kullanıma sunulur. AC olarak taşınmasının nedeni ise transformatörler yardımıyla kolayca enerjinin gerilim seviyesinin değiştirilebilmesidir.

1.4.2. HVDC Enerji İletimi

HVAC enerji iletimine alternatif olarak enerjinin DC taşınmasına yönelik çalışmalar 1900’lü yıllarda başlamıştır. Bu çalışmalar neticesinde ilk yüksek gerilimli doğru akımlar (HVDC) ile taşıma bağlantısı Götland (1954) ile Sardinya (1967) arasında denizaltı kabloları ile yapılmıştır [5].

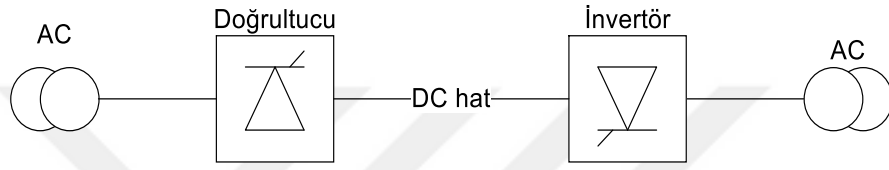
Bu yıllardan sonra ise gelişen teknolojiye paralel olarak bir çok HVDC bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Bu bağlantılardan bazıları teknik özellikleri ile Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1. Dünyadaki bazı HVDC bağlantıları [9,10]

ADI	YERİ	YILI	GERİLİM(KV)	GÜCÜ(MW)	ÜRETEN
EstLink 2	Estonya-Finlandiya	2010	450	670	Siemens
Gui-Guang	Çin	2004	500	3000	Siemens
Götland	İsveç	1970	150	30	Abb
Rio Madeira	Brezilya	2012	600	3150	Abb
Inelfe	Fransa-İspanya	2014	320	2000	Siemens
Xiangjiaba-Shanghai	Çin	2010	800	6400	Abb
Black Sea T.N.P	Gürcistan	2013	96	700	Siemens
Cahora Bassa	Afrika	1998	533	1920	Siemens
Baltic Cable	İsveç	1994	450	600	Abb
Rihand-Delhi	Hindistan	1990	500	1568	Abb
Sapei	İtalya	2011	500	1000	Abb
Acaray	Paraguay	1981	25	55	Siemens

1.5. HVDC Bağlantı Çeşitleri

HVDC sistem, kullanılan iletkenin sayısına ve işletme tipine göre temelde 3 çeşittir. HVDC sistemin şematik gösterimi Şekil 1.1.'de gösterilmektedir. HVDC sistem en temel olarak iki konvertör ve bir DC iletim hattından meydana gelmektedir. Güç akış yönüne bağlı olarak konvertörlerin biri doğrultucu diğeri ise invertör konumunda çalıştırılır. Her iki konverter de bir uçta DC iletim hattına bağlı iken diğeri uçtan AC iletim hattına bağlıdır. AC şebekeden gelen işaret konvertöre girer ve burada doğrultulup DC iletim hattı boyunca taşınır. İnvörtöre gelen işaret de alternatifife dönüştürülerek sisteme verilir.

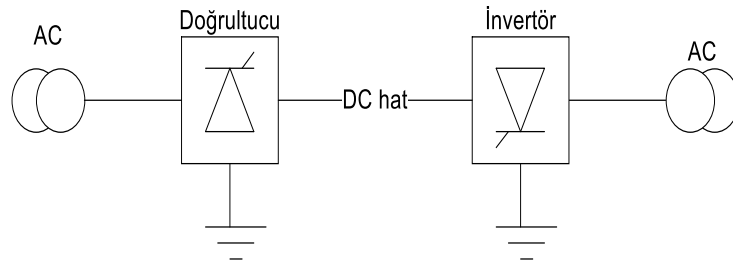


Şekil 1.1. HVDC şematik gösterim

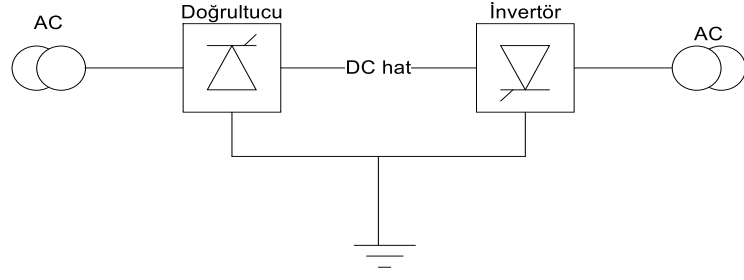
1.5.1. Monopolar HVDC Bağlantı

Monopolar bağlantı iki adet konvertör ve bir adet iletkenin bağlantısından oluşur. Monopolar bağlantı da kendi içinde dönüş yoluna bağlı olarak ikiye ayrılır.

Şekil 1.2.1.'de gösterildiği gibi toprak dönüşlü monopolar bağlantıda her iki konvertör de ayrı ayrı toprağa bağlı iken, Şekil 1.2.2.'de gösterildiği gibi metalik dönüşlü monopolar bağlantıda ise konverterler birbirlerine kısa devre edilerek toprağa bağlanırlar.



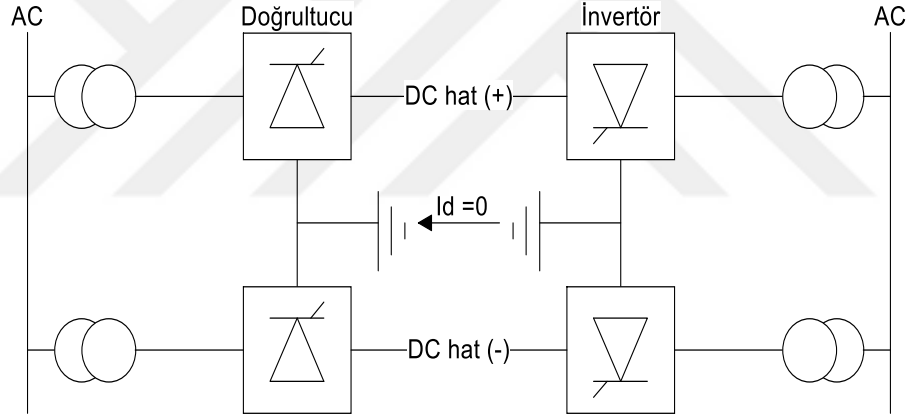
Şekil 1.2.1. Toprak dönüşlü Monopolar HVDC şematik gösterim



Şekil 1.2.2. Metal dönüşlü Monopolar HVDC şematik gösterim

1.5.2. Bipolar HVDC Bağlantı

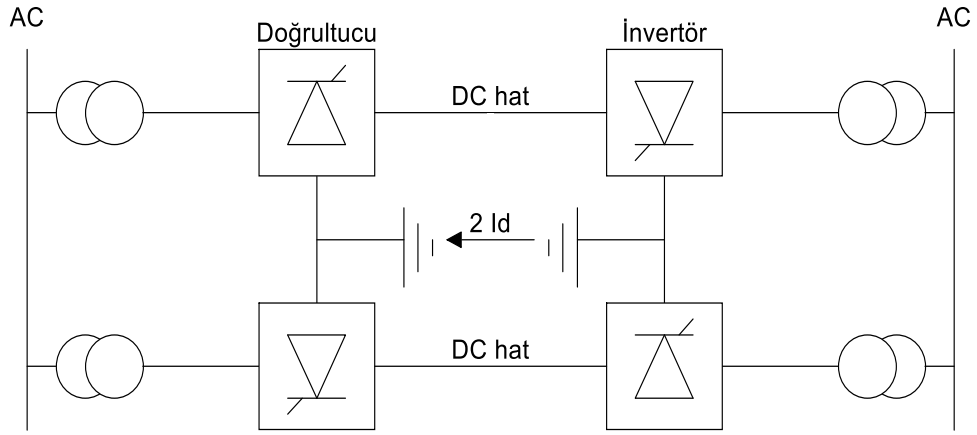
Şekil 1.3.'de görüleceği gibi bipolar bağlantıda monopolar bağlantıdan farklı olarak iki adet iletken vardır. İletkenlerin biri pozitif polaritede işletilirken diğeri negatif polaritede işletilir. Bu durumun getirdiği avantaj ise işletme esnasında herhangi bir kutupta bir problem meydana geldiğinde diğerkutup üzerinden ilettime devam edilebilmesidir.



Şekil 1.3. Bipolar HVDC şematik gösterim

1.5.3. Homopolar HVDC Bağlantı

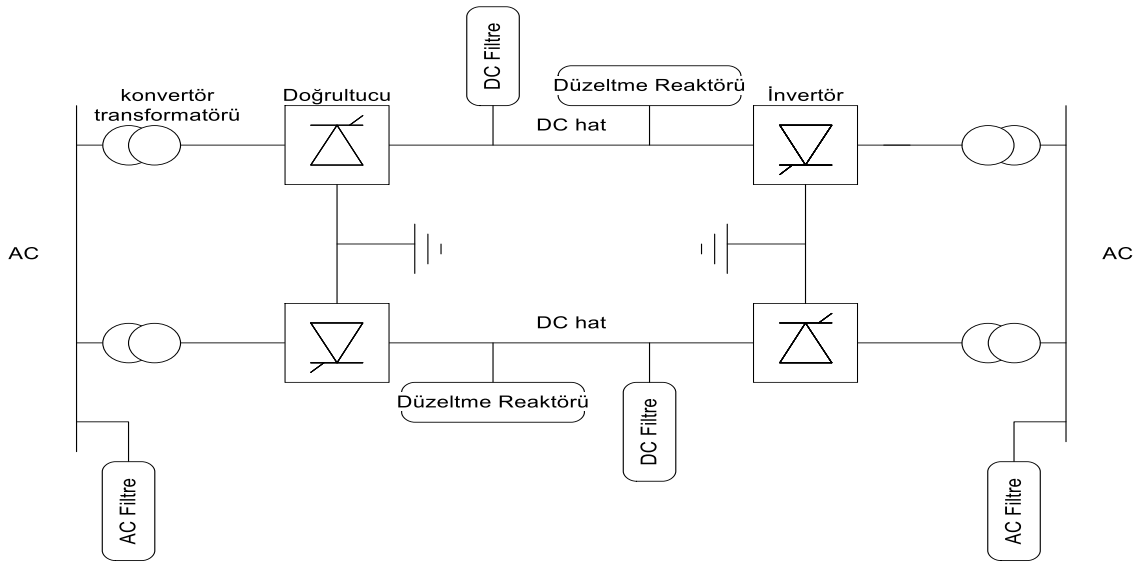
Homopolar sistemlerde, genellikle negatif olan, aynı polaritede iki ya da daha fazla iletken bulunur. Homopolar sistemler her zaman toprak dönüşü ile çalışırlar. İletkenlerden birinde hata oluşması durumunda, tüm konvertör çalışan bir kutba bağlanabilir ve artan hat kaybı pahasına aşırı yükleme (iki kutup) ile gücün yarısından fazlası taşınabilir [11]. Şekil 1.4.'de örnek bir homopolar HVDC sistem gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Homopolar HVDC şematik gösterim

1.6. HVDC Sistem Elemanları

Bir HVDC sistemde konvertör ve DC hattın dışında yardımcı elemanlar da bulunmaktadır. Konvertör transformatörleri, AC ve DC filtreler, düzeltme reaktörü buna örnek olarak verilebilir. Şekil 1.5.' de HVDC sistemin elemanları gösterilmiştir. Sistemde her bir elemanın bir işlevi bulunmaktadır. Aşağıdaki bölümlerde bunlar daha detaylı olarak açıklanmıştır.

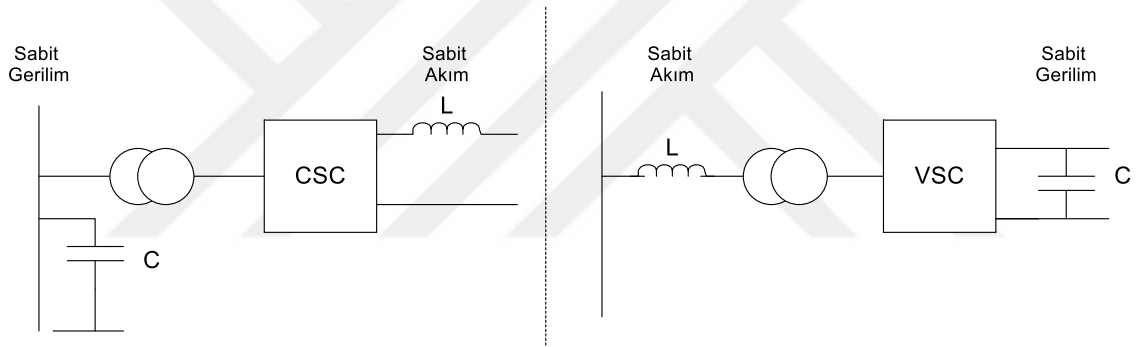


Şekil 1.5. HVDC sistemde bulunan elemanlar

1.6.1. Konvertörler

Konvertörler sistemin en temel elemanlarıdır. Konvertörlerin temel amacı işareti AC'den DC'ye veya DC'den AC'ye çevirmektir. Gönderen uçtan gelen AC işaret ilk konvertörde DC'ye çevrilip, iletilir. İlk konvertör doğrultucu olarak görev yapar. Alıcı uca ulaşan DC işaret ise ikinci konvertörde AC'ye çevrilir. İkinci konvertör de invertör olarak görev yapar. Terminal sayısı arttıkça konvertör sayısı da artar. Konvertörün içerisinde tristörler vardır ve bu tristörler işletmeye göre seri veya paralel bağlanarak darbeleri oluşturular. Genelde konvertör 12 darbeli olarak bağlanır [12].

Konvertörde kullanılan anahtarlama elemanının tipine göre konvertörler, akım kaynaklı konvertörler (CSC) ve gerilim kaynaklı konvertörler (VSC) olmak üzere 2'ye ayrılır. Şekil 1.6.'da [5] akım ve gerilim kaynaklı konvertör yapıları gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Akım ve gerilim kaynaklı konvertör yapısı [5]

1.6.1.1. Akım Kaynaklı Konvertörler

1950 ile 1990 yılları arasında HVDC sistemlerde sadece akım kaynaklı konvertörler kullanıldı. 1970 yılına kadar akım kaynaklı konvertör teknolojisinde civa arklı anahtarlar kullanılırken daha sonraları tristörlü anahtarlar kullanılmaya başlandı. 1990 yılından sonrada gerilim kaynaklı konvertörler ortaya çıkmıştır [5].

1.6.1.2. Gerilim Kaynaklı Konvertörler

Gerilim kaynaklı konvertörlerde izole edilmiş kapılı bipolar transistörler ile anahtarlama yapılmaktadır. Bu şekilde anahtarlama yapmanın getirdiği avantaj komütasyon için ayrıca bir gerilim kaynağı gerektirmemesidir. Diğer bir avantajı da reaktif

güç akışını, aktif güç kontrolünden bağımsız olarak kontrol edebilme yeteneğidir. Ancak bu teknoloji daha yüksek güç kayıplarına neden olur ve pahalıdır [13].

1.6.2. Konvertör Transformatörleri

Konvertör transformatörleri, AC sistem ile konvertörlerin arasında bulunur. Genelde 12 darbeli bir konvertör transformatörü Y/Y/ Δ formunda bağlanır [14]. Örneğin 2 tane 3 faz transformatör kullanılarak 12 darbeli yapılacaksa ilk bağlantı Y-Y , diğeri Y- Δ bağlanabilir. Yani primerinde yıldız bağlı sargılar bulunurken sekonderinde de hem yıldız hem üçgen sargılar mevcuttur.

1.6.3. AC Filtreler

AC filtreler, konvertör transformatörünün AC tarafına bağlanırlar ve alçak geçiren filtre özelliği gösterirler [14]. Sistemde bulunmasının amacı sisteme giren harmonikleri ve yüksek frekanslı bileşenleri engellemektir. Böylece iletindeki yüksek frekanslı bileşenler süzülür ve konvertör transformatöründe herhangi bir hataya sebep teşkil etmez.

1.6.4. DC Düzeltme Reaktörü

DC hat üzerine yerleştirilen düzeltme reaktörünün amacı DC akımı düzleştirmektir. Yani iletim hattı üzerindeki DC akımda oluşan dalgalanmaları azaltırlar. Ayrıca DC hatta meydana gelen herhangi bir arıza durumunda oluşacak kaçak akımın artışı sınırlandırılır [15].

1.6.5. DC Hat

HVDC sistemin temel elamanlarından olan iletim hatları, havai hatlar veya kablolar ile temsil edilebilirler. Bu HVDC sistemin nerede kurulacağı ile doğrudan ilgilidir. Ayrıca DC hat; hattın hafifliği, eğilme yarıçapı, kısa devre dayanımı gibi belli özelliklerine göre seçilir.

1.6.6. DC Filtreler

DC filtreler adından da anlaşılacağı üzere DC hat üzerine konumlandırılır. Konvertörün çalışmasıyla hatta AC harmonik bileşenler meydana gelir. Bu bileşen DC hatta AC akımların akmasına neden olur. Bu istenmeyen durum parazitlere neden olur. DC

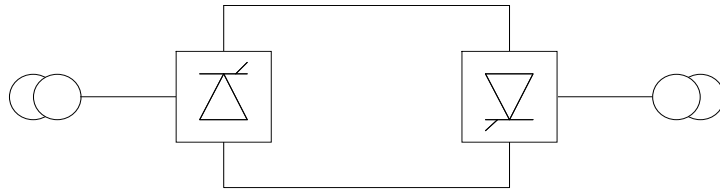
filtreler yardımıyla bu harmonikler sınırlandırılır. Konvertör istasyonunun DC tarafında meydana gelen harmonik voltajlar iletim hattında direk akımların üst üste geldiği AC akımlara sebep olur. Yüksek frekanslarda değişen bu akımlar düzeltici reaktörlerin sınırlamalarına rağmen komşu telefon sistemlerinde enterferanslara sebep olabilir. İstasyon kutuplarına paralel bağlanan DC filtre devresi bu tarz problemlere karşı koymak için etkili bir araçtır. DC filtrelerin konfigürasyonu HVDC istasyonlarının AC tarafındaki filtrelere oldukça benzemektedir [16].

1.7. HVDC Konfigürasyonları

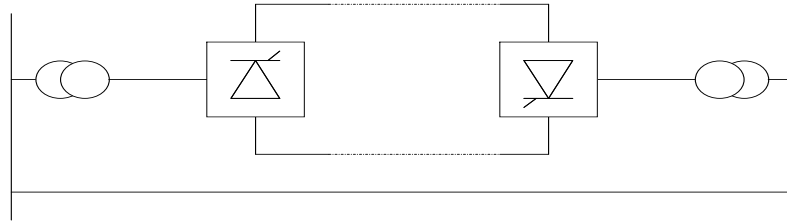
Bağlantı çeşitlerinin dışında HVDC sistemlerde konvertör istasyonunun yerine ve işleyişine göre farklı konfigürasyonlar bulunmaktadır. Bu konfigürasyonlar iki terminalli HVDC sistem, sırt-sırta HVDC sistem, çok terminalli HVDC sistem ve hibrit AC ve DC sistemlerdir. Bu konfigürasyonlar Şekil 1.7.'de gösterilmektedir [17,18].



(a) İki terminalli HVDC sistem



(b) Sırt-sırta HVDC sistem



(c) Hibrit AC ve DC sistem

Şekil 1.7. HVDC Konfigürasyonları [17,18]

1.7.1. İki terminalli HVDC Sistem

Bu konfigürasyon Şekil 1.7 (a)'da gösterilmektedir. Uzak iki bölgede DC iletimle güç aktarmada bu konfigürasyon tercih edilebilir. Konvertör istasyonlarının arasında iletim hattı veya kablo bulunmaktadır [19]. İki terminal arasındaki bağlantı deniz altından da sağlanabilmektedir.

1.7.2. Sırt-sırta HVDC Sistem

Bu konfigürasyonda konvertör istasyonları aynı tarafta konumlandırılırlar ve aralarında herhangi bir kablo yada iletim hattı bulunmaz. HVDC sistemin bağlantısı monopolar veya bipolar olabilir. Şekil 1.7 (b)'de blok diyagramı gösterilmiştir. Sırt sırta konfigürasyonda aynı veya farklı frekansta iki AC sistem birbirine bağlanır [18]. Gürcistan ile Türkiye arasında sırt-sırta asenkron HVDC bağlantısı bulunmaktadır.

1.7.3. Hibrit AC ve DC Sistem

Şekil 1.7 (c)'de gösterilen bu konfigürasyon genelde şebekede oluşan kararsızlık problemlerini çözmek için kullanılmaktadır [17]. Aynı AC baralara hem AC iletim hattı hem de HVDC sistem bağlanmaktadır. Bu tez çalışmasında da hibrit HVDC sistem modellenmiştir. Böyle bir sistemde taşınan gücün bir kısmı DC hat üzerinden gideceğinden AC hatların yüklenme yüzdesi düşer ve sistem daha karalı çalışır.

1.7.4. Çok terminalli HVDC Sistem

Bu konfigürasyon üç veya daha fazla HVDC istasyonuna sahiptir. Seri ve paralel çok terminalli HVDC sistem olmak üzere iki çeşittir [18]. Konvertör sayısının artmasına bağlı olarak sistem daha karmaşıklaşır. Havai hatlar veya kablolar ile terminaller arası bağlantı sağlanır. Dolayısıyla kablolar ile deniz altı bağlantıya da olanak sağlar.

1.8. HVDC Avantajları

E.W.Kimbark'a [2] göre HVDC sistemin avantajları aşağıdaki maddelerde sıralanmıştır.

- Deri etkisi yoktur.
- İletken başına düşen güç fazladır.
- Toprak dönüş yolu olarak kullanılabilir.
- Farklı frekanstaki AC sistemler birbirine bağlanabilir.
- DC hatta kısa devre akımı düşüktür.
- Senkron işletme gerekmez.
- Korona kaybı ve radyo interferansı düşüktür.
- Kablolar yüksek gerilim gradyanında çalıştırılabilir.
- Her bir iletken bağımsız devre olarak işletilebilir.
- Güç kolayca kontrol edilebilir.
- Reaktif güç kompanzasyonu gerekmez.
- AC ile aynı voltaj seviyesi için daha az yer kaplar.

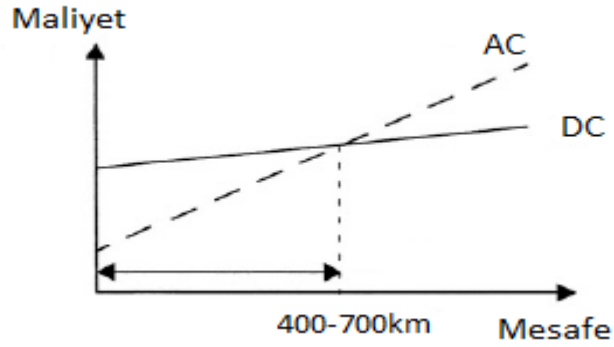
Güç aktarılırken kararlılık en önemli kıstaslardandır. AC sistemlerde ferranti etkisinden dolayı hat sonu gerilimi, hat başı geriliminden fazla olur [20]. Buda sistemde kararsızlığa neden olur. Ayrıca deri etkisinin sadece AC sistemlerde olması ve korona kayıplarının AC sistemlerde DC sistemlere göre fazla olması da HVDC iletimin olumlu özelliklerindedir.

1.9. HVDC Dezavantajları

E.W.Kimbark'a [2] göre HVDC sistemin dezavantajları aşağıdaki maddelerde sıralanmıştır.

- Konvertörler pahalıdır.
- Konvertörler harmonik üretirler buyüzden filtre gerektirirler.
- Konvertörlerin aşırı yüklenme kapasiteleri düşüktür.
- Konvertörler yüksek reaktif güce ihtiyaç duyarlar.

HVDC sistemlerin kullanımda ve kaliteli güç iletiminde olumlu özelliklerine rağmen şuan için pahalı bir teknolojidir. Ama belli bir mesafeden sonra ekonomik hale gelir. Şekil 1.8.'de iletimin mesafeye bağlı değişimi gösterilmektedir.



Şekil 1.8. AC ve DC hattın karşılaştırılması [5].

AC sistem, DC sisteme göre 400-700 kilometreden daha düşük uzaklıklarda daha ekonomik olmaktadır. Ancak iletim mesafesi arttıkça, DC sistem daha ekonomik hale gelmektedir. Kablolular hatlarda ise bu mesafe 25 ile 50 kilometre arasındadır [5].

1.10. HVDC Sistem Kayıpları

HVDC sistemde temel olarak iki çeşit kayıp vardır. HVDC sistemin girişinde konvertör transformatörü AC-DC dönüşüm yaparken kayıplar oluşur. Bu kayıplar dönüştürücü merkez kayıpları olarak isimlendirilir. DC iletim hattında ise hattın direncinden kaynaklı kayıplar oluşur.

1.10.1. DC İletim Hattı Kayıpları

DC iletim hattında korona etkisinden kaynaklı kayıplar meydana gelir. Bir DC hattın korona kaybı, iletkenlerin çapı ve sayısına, kutupların yerden yüksekliğine ve birbirlerine olan mesafelerine bağlıdır. Ayrıca hava şartlarının kötü olması (yağmurlu, karlı, buzlu) korona kaybının artmasına neden olur. Ancak korona kayıpları AC hatlarda, DC hatlara göre çok daha fazladır [21].

Havai hatlarda hattın direncinden dolayı kayıplar meydana gelir. Ama bu kayıplar DC hatlarda, AC hatlara göre daha düşük seviyededir. Çünkü DC hatlarda hattın kilometre başına düşen direnç değeri daha azdır.

1.10.2. Dönüştürücü Merkez Kayıpları

Transformatörün yükte ve boşa çalışma durumlarında oluşan kayıplardır. Boşa çalışma da histerisiz ve eddy akımlarından kaynaklı kayıplar oluşur. Yükte çalışmada ise yük akımının karesi ile doğru orantılı kayıplar oluşmaktadır [22].

1.11. Digsilent Power Factory

Enterkonnekte sistemlerde çok sayıda bara vardır. Bu baralar arasındaki bağlantılar çok sayıda ve karmaşıktır. Herhangi bir barada arıza durumunda tüm sistem etkilenmektedir. Baranın tespiti ve sorunun çözümü çok kısa sürelerde gerçekleştirilememektedir. Bu hususta güç akış analizi programları çözüm sunmaktadır. Elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım için planlama yapmada yardımcı olan bu programlar çok sayıda bara kullanımına da imkan sağlamaktadır. Böylece gerçek bir sistem veya kurulması planlanan bir sistem için durumlar ve bu durumların doğuracağı sonuçlar önceden kestirilebilir. Piyasa da güç akış analizine izin veren çok sayıda program vardır.

Digsilent Power Factory programında bunlardan birisidir. Bu tez çalışmasındaki tüm modellemeler Digsilent Power Factory ile gerçekleştirilmiştir. Digsilent Power Factory programında modellemelerin nasıl yapılacağı ayrıntılı olarak Ekler'de verilmiştir. Digsilent Power Factory programında yeni projenin nasıl oluşturulacağı Ek 1'de, bara modelleme Ek 2'de, iletim hattı modelleme Ek 3'te, reaktör modelleme Ek 4'te, konvertör modelleme Ek 5'te, harici şebeke modelleme Ek 6'da gösterilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Giriş

Enerjinin daha verimli ve daha güvenilir taşınmasına yönelik yapılan çalışmalar dünyada hız kazanmıştır. Türkiye’de mevcut elektrik iletimi yüksek gerilimli alternatif akımlar (HVAC) vasıtasıyla yapılmaktadır. Enerjinin yüksek gerilimli doğru akımlar (HVDC) vasıtasıyla yapılması enerji iletiminde yeni trendlerden biridir ve dünyada bir çok örneği bulunmaktadır. Ülkemizde tamamlanan ilk HVDC iletim sistemi Borçka-Gürcistan arasında tesis edilmiş olup, mevcut kapasitesinin arttırılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Bunun dışında İran ve Suriye ile yapılacak enerji alışverişinin miktarını arttırmak için Van’da ve Şanlıurfa’da HVDC sistem kurulmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir [23].

Türkiye topraklarında doğan Çoruh Nehri’nin aktığı topraklar Çoruh Havza’sı olarak adlandırılmaktadır. Doğu Karadeniz Bölgesi’nde bulunan Çoruh Havza’sı bu bölgede elektrik üretimine katkı sağlayan en önemli kaynaktır. Çünkü Çoruh Nehri’nin akış hacmi oldukça yüksektir. Özellikle bahar aylarında artan debisi ile Çoruh Nehri elektrik üretimine daha da elverişli hale gelmektedir. Çoruh Havza’sı üzerinde kurulu bir çok baraj ve HES bulunmaktadır. Çoruh Havza’sından elde edilen elektrik, HES’lerden üretilen toplam elektrik miktarın %21’ine tekabül edecek kadar fazladır. Ayrıca yine Doğu Karadeniz Bölgesi’nde bulunan Gümüşhane’den doğup Tirebolu’dan Karadeniz’e dökülen Harşit Çayı üzerinde de kurulu barajlar ve HES’lerden elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Nisan – Mayıs aylarında akış hızı artan Harşit Çayı bu bölgenin önemli su kaynaklarından.

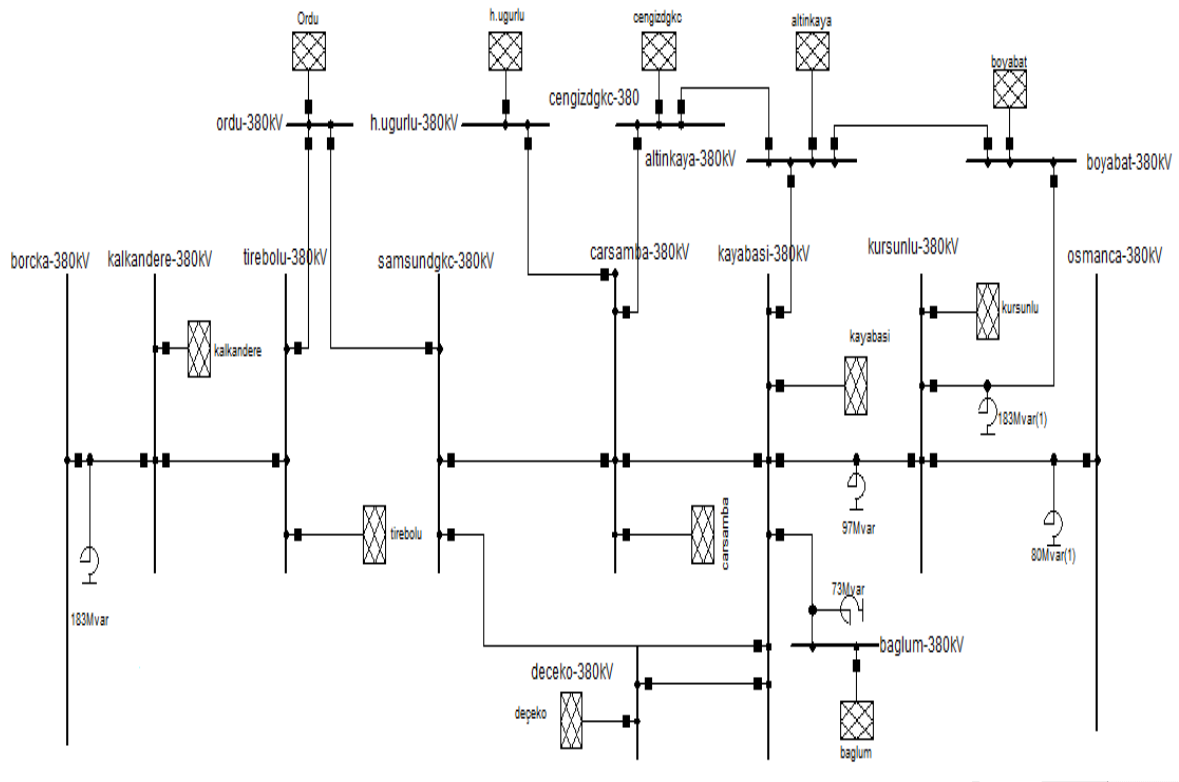
Doğu Karadeniz Bölgesi’nde özellikle de feyezan dönemi üretim talep edilenden oldukça fazladır. Bu fazla üretim enterkonnekte sistem üzerinden ihtiyacın daha çok olduğu bölgelere iletilir. Üretimin fazla olmasından kaynaklı iletilen güç miktarı da artar. Bu da hatlarda aşırı yüklenmeye sebep olur. Aşırı yüklenen hatlarda çökme oluşabilir. Hatta bu olay paralelinde diğer hatlarda da çökmelere neden olabilir. Bu yüzden bu bölgedeki aşırı üretim taşınırken hatların aşırı yüklenmesini önleyecek alternatif çözüm olarak HVDC sistem düşünüldü.

Bu çalışmada iletimin yoğun olduğu yer ve zaman dilimi belirlenmiştir. Buna göre 25 Nisan 2016’da Borçka-Osmanca arasındaki elektrik iletim şebekesi modellenmiştir. Bu

bölgenin yük akışını rahatlatmak için bir de HVDC sistem tasarlanarak aynı hat üzerine yerleştirilmiştir. 25 Nisan 2016 tarihinde bu bölgeden alınan gerçek yük akışı verileri ile program çıktıları kıyaslanarak böyle bir sistemin kurulmasının getireceği katkılar değerlendirilmiştir.

2.2. Mevcut HVAC Sistemin Modellenmesi

Bu çalışmada ilk olarak Türkiye'nin mevcut enterkonekte elektrik iletim sistemine tabii kalınarak Borçka (380kV) ile Osmanca (380kV) arası elektrik iletim sistemi Digsilent PowerFactory programında modellenmiştir. Bu hat üzerinde bulunan diğer 380kV Trafo merkezleri olan Kalkandere, Tirebolu, Samsun DGKÇ, Çarşamba, Kayabaşı, Kurşunlu, Ordu, Hasan Uğurlu, Altinkaya, Boyabat, Bağlum da modellenerek sisteme dahil edilmiştir. Modellenen bu sistem Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Borçka-Osmanca arası elektrik iletim sistemi

2.3. Enerji İletim Hattı Parametreleri

Enerji iletim hatları modellenirken genellikle yüksek gerilimde kullanılan uzun hatlar π (pi) eşdeğer devresiyle modellenir. π (pi) eşdeğer devresinin empedansı iletkenin direnci ile reaktans değerinin toplamına eşittir. Admitans ise kapasitans değerine eşittir [24].

Enerji iletim hatları modellenirken göz önüne alınması gereken parametreler bulunmaktadır. Bunlara hattın uzunluğu, kesiti, gerilimi örnek verilebilir. Ayrıca uzunluğuna bağlı olarak değişen kilometre başına düşen direnç, endüktans, kapasitans değerleride Teiaş'dan [25] alınarak sisteme girilmiştir.

Tablo 2.1. Enerji iletim hat parametreleri

	Kesit(MCM)		
	3x1272	C2x954	C3x954
R (ohm/km)	0,016901	0,035081	0,022784
X (ohm/km)	0,259855	0,319628	0,265818
R0 (ohm/km)	0,308446	0,293318	0,304636
X0 (ohm/km)	0,984493	1,059258	0,999139
Y (uS/km)	4,288671	3,504224	4,19149
Y0 (uS/km)	2,636582	2,38065	2,486033

(a) Hat kesitlerinin R,X,Y değerleri

Yer	Uzunluk(km)	Gerilim(kV)	Kesit(MCM)
Borçka-Kalkandere	128,722	380	3x1272
Tirebolu-Kalkandere	135,939	380	3x1272
SamsunDGKÇ-Tirebolu	142	380	3x1272
Çarşamba-SamsunDGKÇ	47,334	380	3x1272
Kayabaşı-Çarşamba	126,08	380	C2x954
Kurşunlu-Kayabaşı	216,516	380	C3x954
Osmanca-Kurşunlu	206,954	380	C3x954
Tirebolu-Ordu	85,723	380	3x1272
Ordu-SamsunDGKÇ	76,889	380	3x1272
Çarşamba-Hasan Uğurlu	18,586	380	C2x954
Kayabaşı-Altınkaya	102,619	380	C2x954
Altınkaya-Boyabat	66,503	380	3x1272
Kurşunlu-Boyabat	157,004	380	3x1272
Deçeko-Kayabaşı	168,183	380	C3x954
Bağlum-Kayabaşı	264,517	380	C3x954

(b) Hatların uzunluk, gerilim ve kesitleri

Ayrıca iletim hatlarına bağlı 5 adet şönt reaktör bulunmaktadır. Bu reaktörlerin yeri ve değerleri şu şekildedir. Borçka-Kalkandere iletim hattında Borçka tarafında 183MVar, Kayabaşı-Bağlum iletim hattında Bağlum tarafında 73MVar, Kayabaşı-Kurşunlu iletim hattında Kayabaşı tarafında 97MVar, Kurşunlu-Boyabat iletim hattında Kurşunlu tarafında 183MVar ve Kurşunlu-Osmanca iletim hattında Osmanca tarafında 80MVar'dır.

2.4. Trafo Merkezlerinin (380kV) Tek Hat Şemaları

Digsilent PowerFactory programında modellemeler yapıldıktan sonra Teias'tan [25] gerçek zamanlı şebeke bilgileri alınarak güç akışının incelenmesi için iki durum belirlenmiştir. Bu durumlar belirlenirken feyzan dönemi olan nisan-mayıs aylarında olmasına dikkat edildi. Çünkü HES'ler yıllık enerji üretimlerinin yarısından çoğunu bu dönemde gerçekleştirirler. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde 154kV HES'lerde de bu aylarda aşırı üretim olmaktadır. Dolayısıyla bu dönemde üretim fazla olurken, tüketim nispeten daha az olur. Üretilen elektrik enerjisi 380kV hatlarla batıya taşınmaktadır. Dolayısıyla iletim hatları aşırı yüklenir ve şebekede çökmeler oluşabilir. Sistem kararlılığı azalır. Bu tez çalışmasında eğer Borçka-Osmanca arasındaki mevcut hat üzerinde hibrit bir HVDC bağlantı olsaydı sisteme etkisinin ne olacağı belirlenmeye çalışılmıştır.

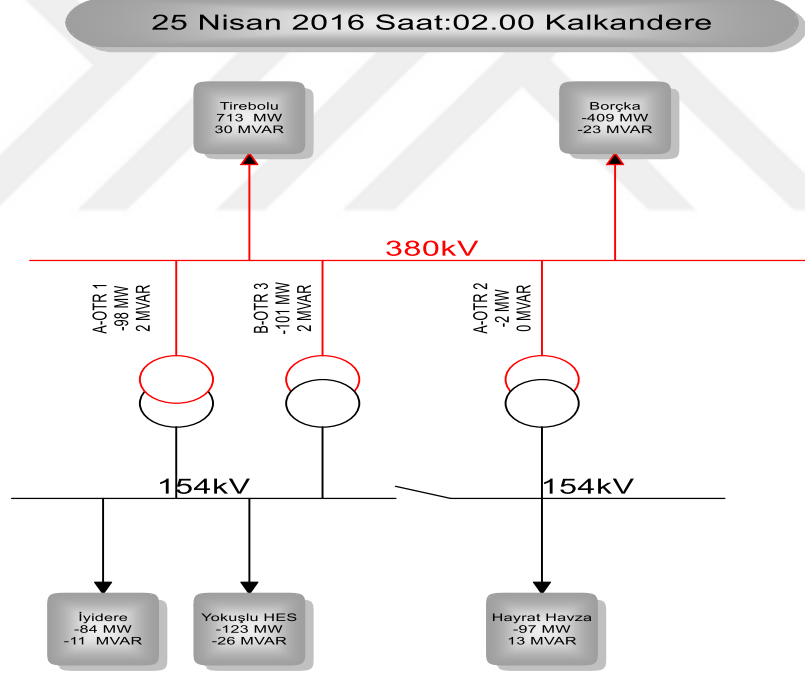
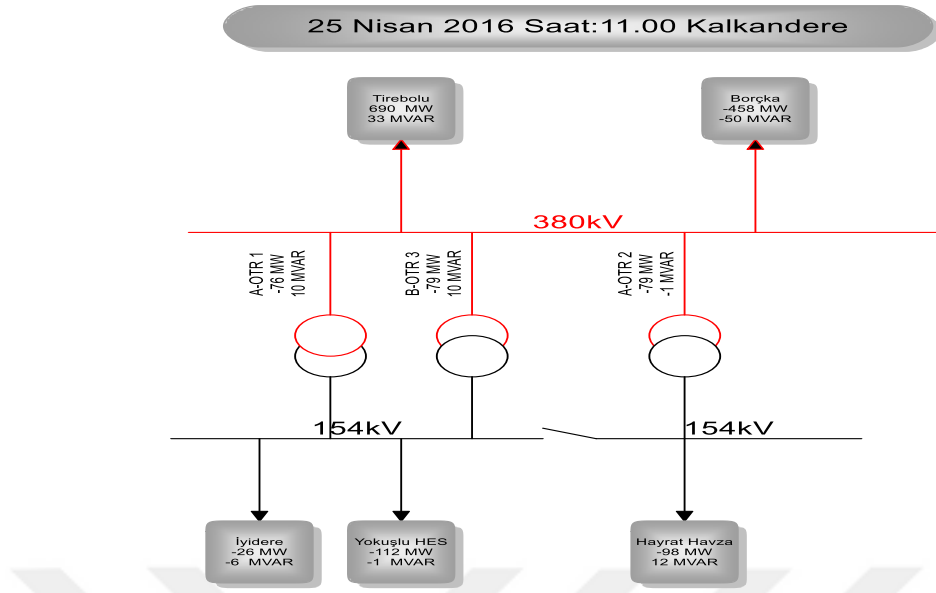
Durum 1: 25 Nisan 2016 Saat: 11.00

Durum 2: 25 Nisan 2016 Saat: 02.00

Bu gün ve saatlerdeki güç akış değerlerine göre her bir baranın tek hat şeması çizilmiştir. Bu hat şemasına göre baraya giren aktif ve reaktif güçler sisteme harici şebeke olarak yerleştirildi. Her bir baranın tek hat şemaları aşağıda verilmiştir. Bu şemaya göre merkezlerin içinde aktif güç, reaktif güç değerleri MW ve MVAR cinsinden belirtilmiştir.

2.4.1. Kalkandere TM Tek Hat Şeması

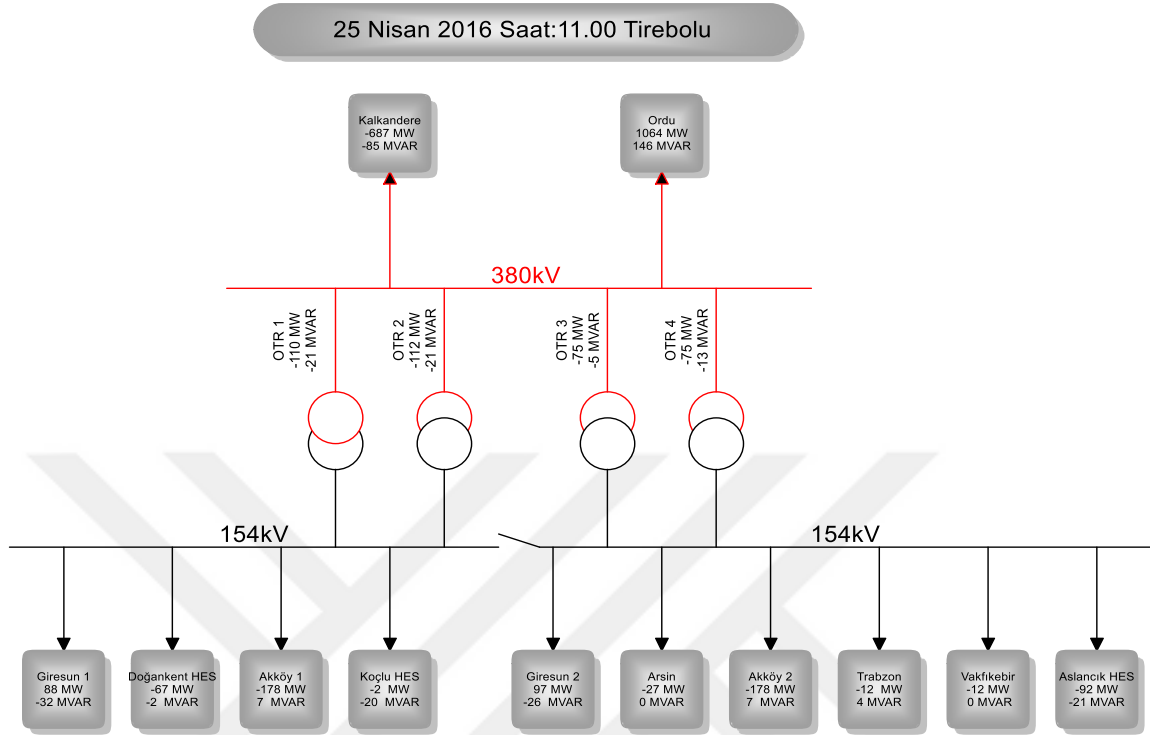
380kV Kalkandere barasına Tirebolu ve Borçka aynı gerilim seviyesinde bağlıdır. Ayrıca transformatörler yardımı ile 380/154 kV dönüşümü yapılarak İyidere, Yokuşlu HES ve Hayrat Havza havai hatlar ile Kalkandere'ye bağlanmıştır.



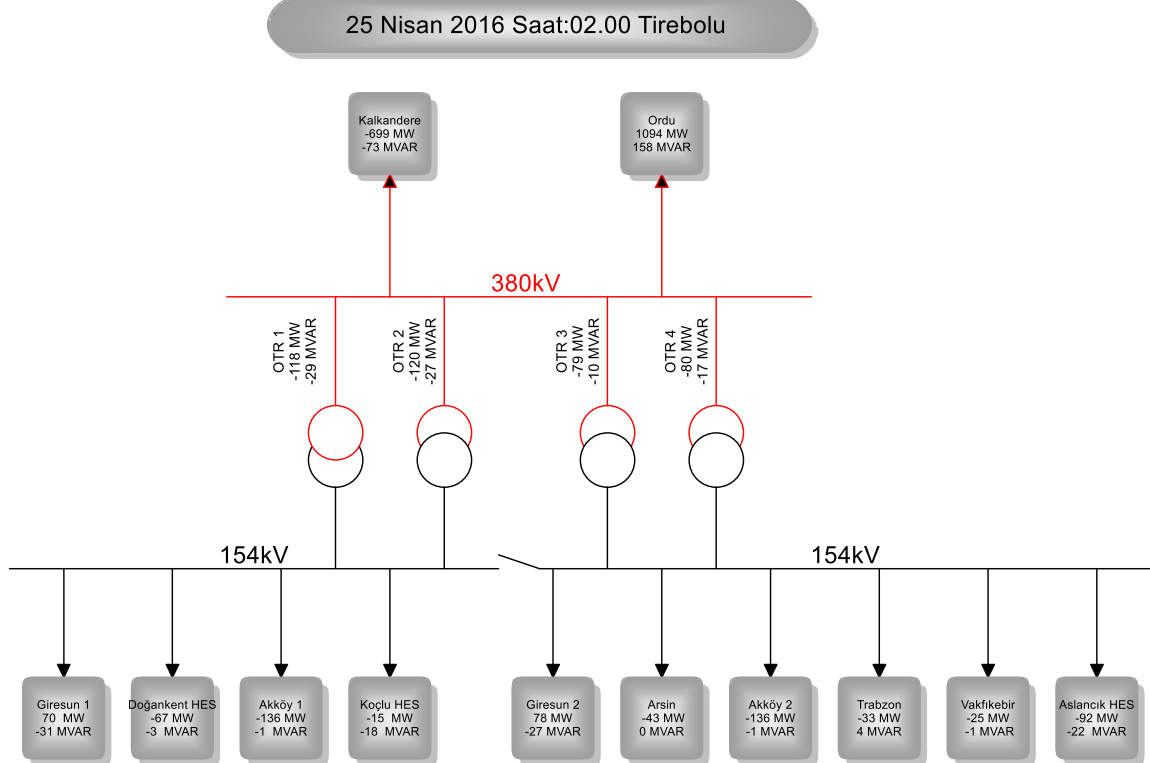
2.4.2. Tirebolu TM Tek Hat Şeması

380kV Tirebolu barasına Kalkandere ve Ordu aynı gerilim seviyesinde bağlıdır. Ayrıca transformatörler yardımı ile 380/154 kV dönüşümü yapılarak Giresun1, Giresun2,

Trabzon, Arsin, Vakfıkebir, Doğankent HES, Akköy1, Akköy2, Aslancık HES ve Koçlu HES havai hatlar ile Tirebolu'ya bağlanmıştır.



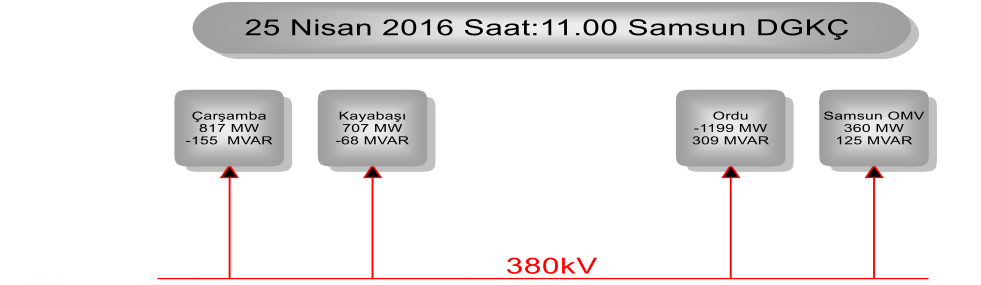
Şekil 2.3.1. Durum 1 için Tirebolu (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı



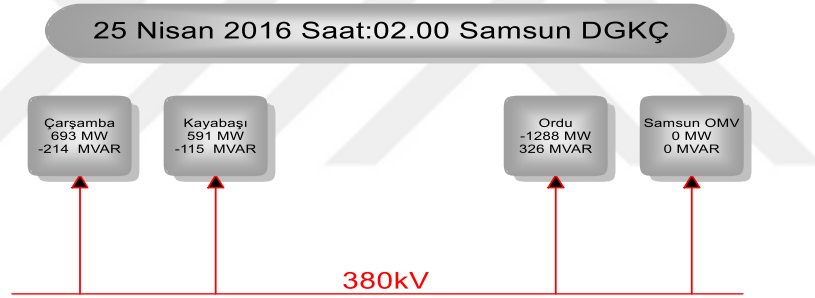
Şekil 2.3.2. Durum 2 için Tirebolu (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı

2.4.3. Samsun DGKÇ TM Tek Hat Şeması

380kV Samsun DGKÇ barasına Çarşamba, Kayabaşı, Ordu ve Samsun OMV aynı gerilim seviyesinde bağlıdır.



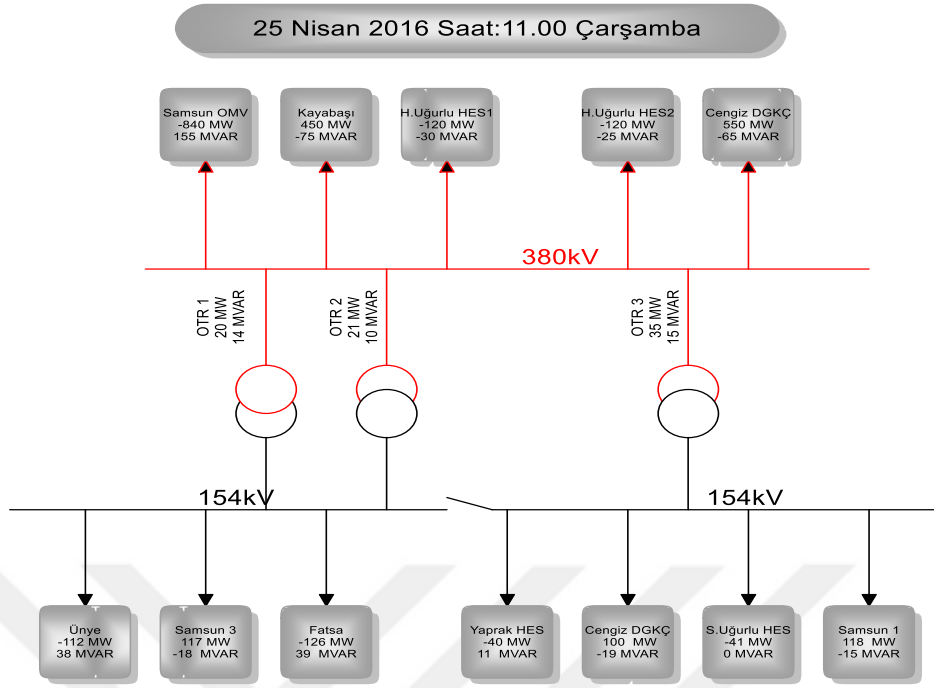
Şekil 2.4.1. Durum 1 için Samsun DGKÇ (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı



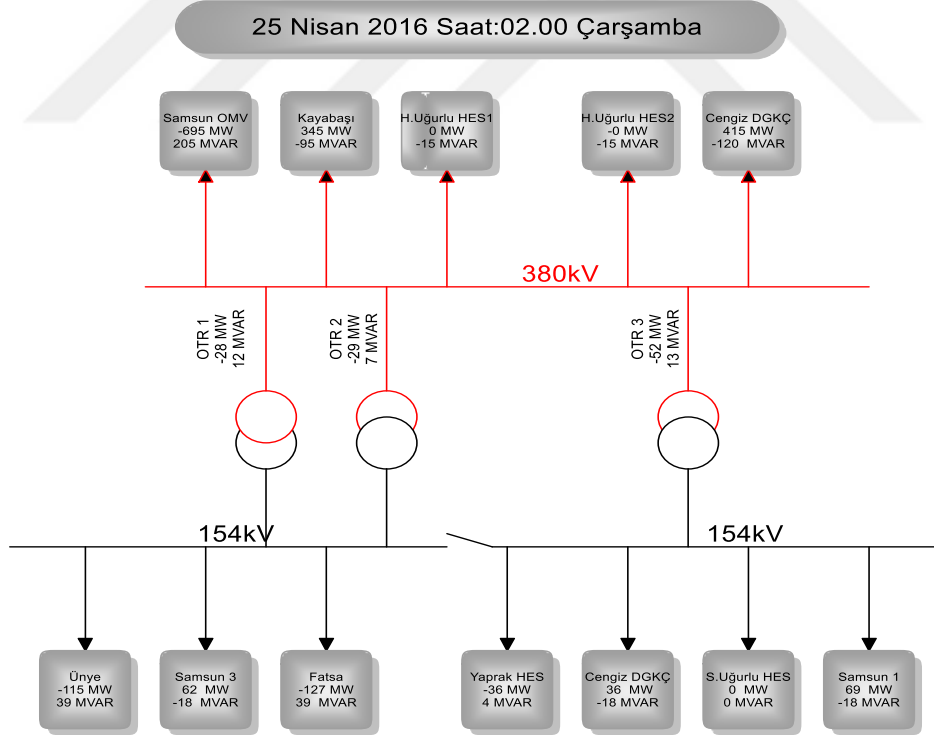
Şekil 2.4.2. Durum 2 için Samsun DGKÇ (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı

2.4.4. Çarşamba TM Tek Hat Şeması

380kV Çarşamba barasına Samsun OMV, Kayabaşı, Hasan Uğurlu HES1, Hasan Uğurlu HES2 ve Cengiz DGKÇ aynı gerilim seviyesinde bağlıdır. Ayrıca transformatörler yardımı ile 380/154 kV dönüşümü yapılarak Ünye, Samsun3, Yaprak HES, Fatsa, Cengiz DGKÇ, Suat Uğurlu HES ve Samsun1 havai hatlar ile Çarşamba'ya bağlanmıştır.



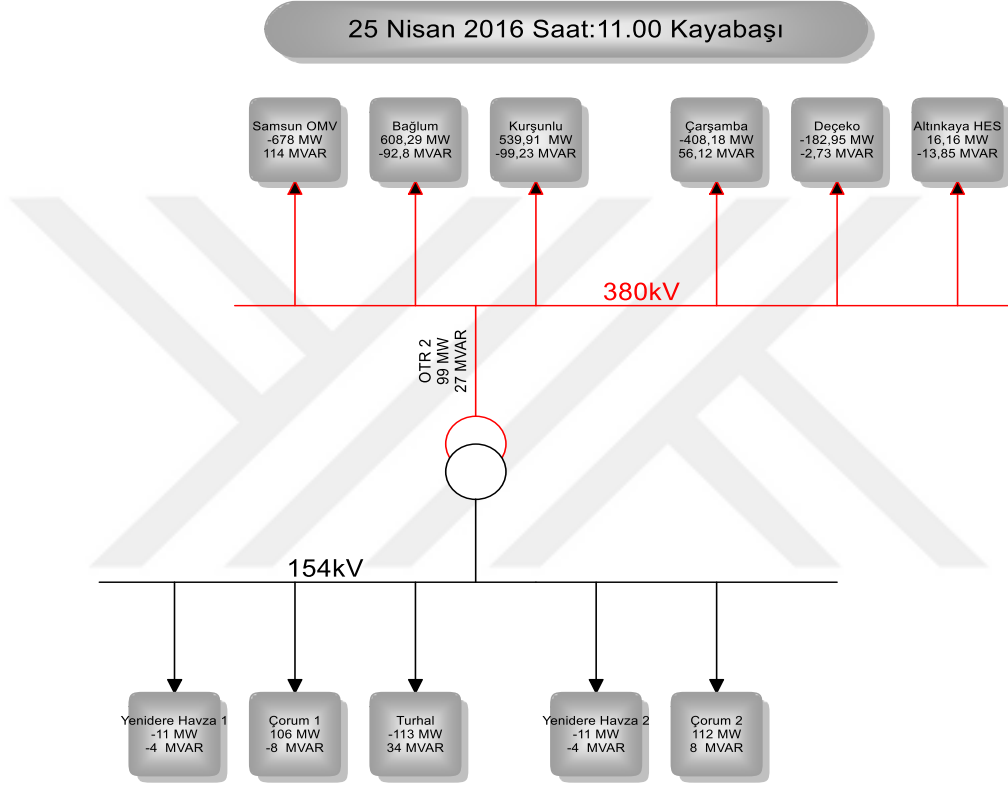
Şekil 2.5.1. Durum 1 için Çarşamba (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı



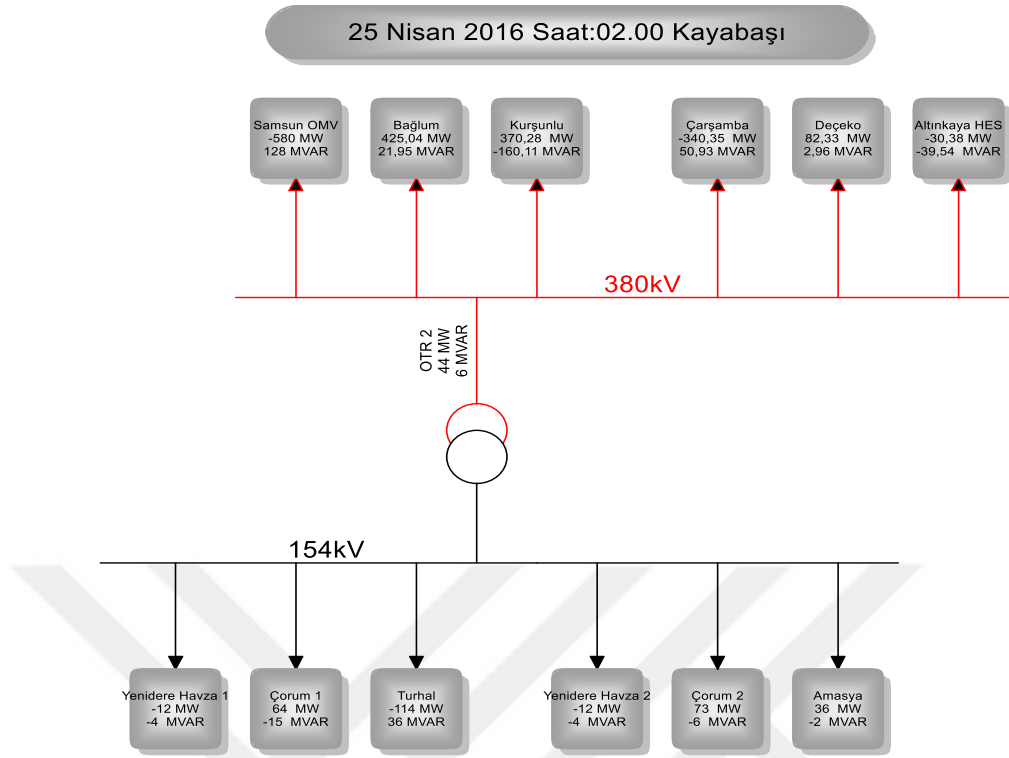
Şekil 2.5.2. Durum 2 için Çarşamba (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı

2.4.5. Kayabaşı TM Tek Hat Şeması

380kV Kayabaşı barasına Altinkaya HES, Deçeko, Çarşamba, Kurşunlu, Bağlum ve Samsun OMV aynı gerilim seviyesinde bağlıdır. Ayrıca transformatörler yardımı ile 380/154 kV dönüşümü yapılarak Yenidere Havza1, Yenidere Havza2, Çorum1, Çorum2 ve Turhal havai hatlar ile Kayabaşı'na bağlanmıştır.



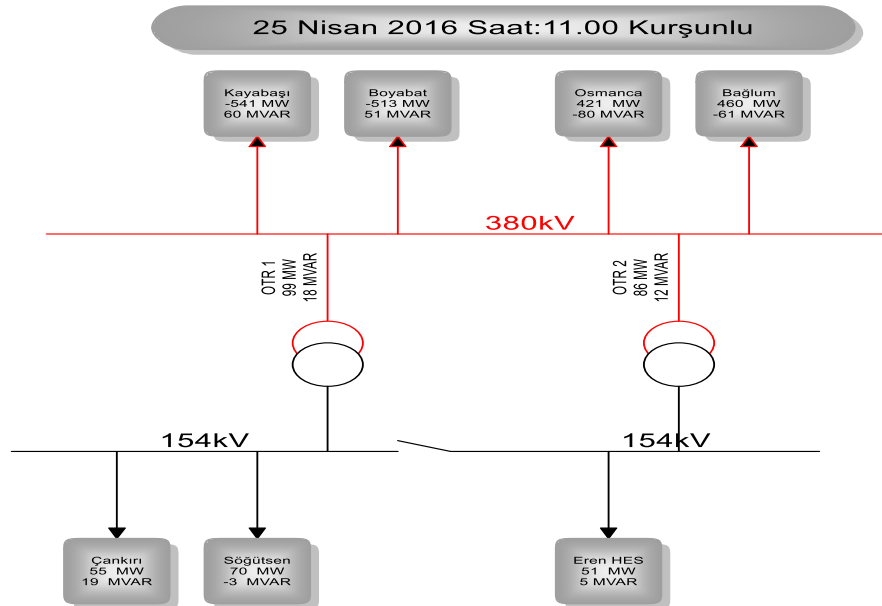
Şekil 2.6.1. Durum 1 için Kayabaşı (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı



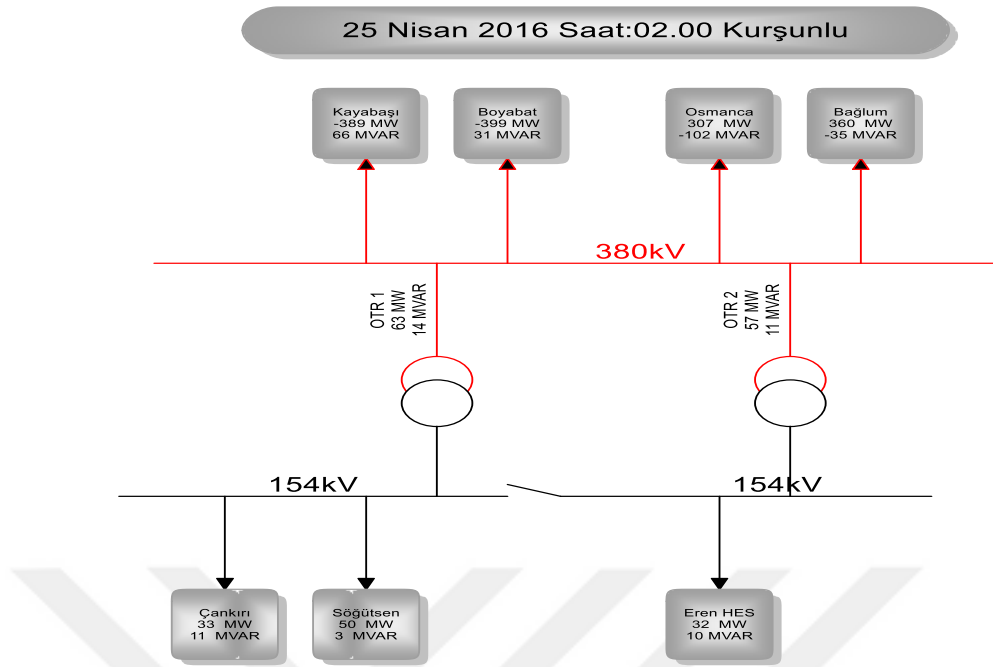
Şekil 2.6.2. Durum 2 için Kayabaşı (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı

2.4.6. Kurşunlu TM Tek Hat Şeması

380kV Kurşunlu barasına Kayabaşı, Boyabat, Osmanca ve Bağlum aynı gerilim seviyesinde bağlıdır. Ayrıca transformatörler yardımı ile 380/154 kV dönüşümü yapılarak Çankırı, Söğütsen ve Eren HES havai hatlar ile Kurşunlu'ya bağlanmıştır.



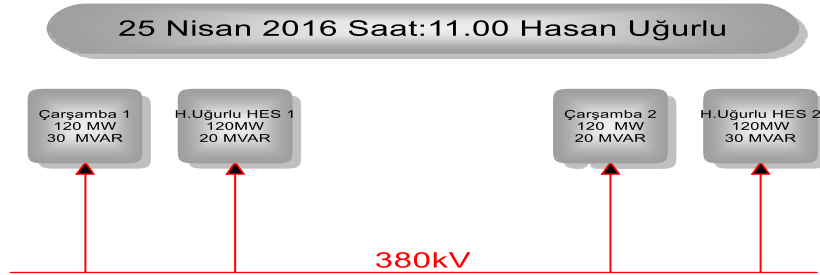
Şekil 2.7.1. Durum 1 için Kurşunlu (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı



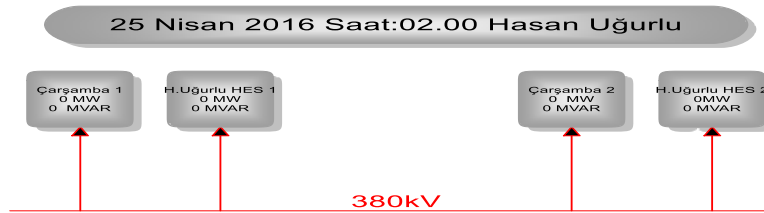
Şekil 2.7.2. Durum 2 için Kurşunlu (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı

2.4.7. Hasan Uğurlu TM Tek Hat Şeması

380kV Hasan Uğurlu barasına Çarşamba1, Çarşamba2, Hasan Uğurlu HES1 ve Hasan Uğurlu HES2 aynı gerilim seviyesinde bağlıdır.



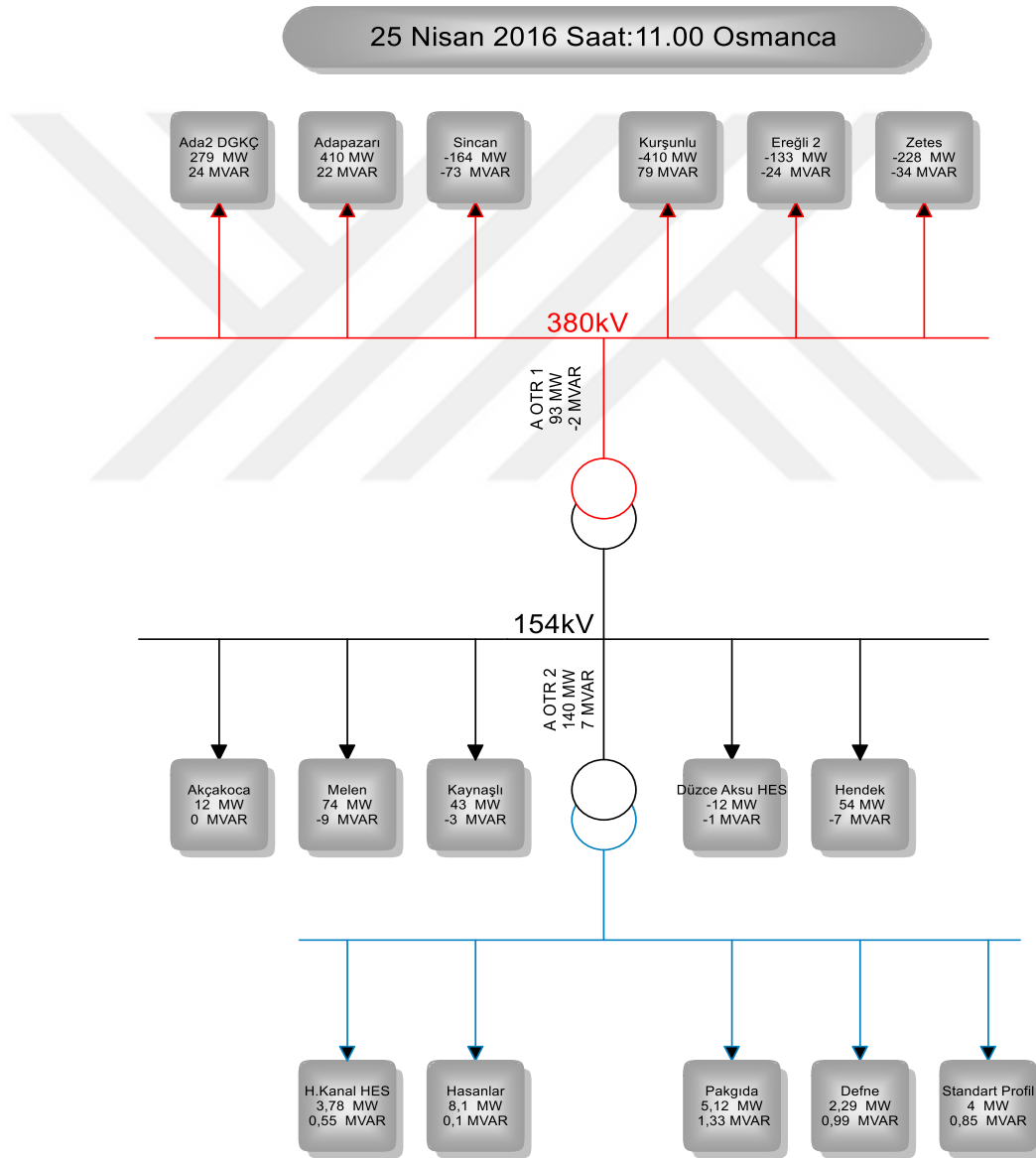
Şekil 2.8.1. Durum 1 için Hasan Uğurlu (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı



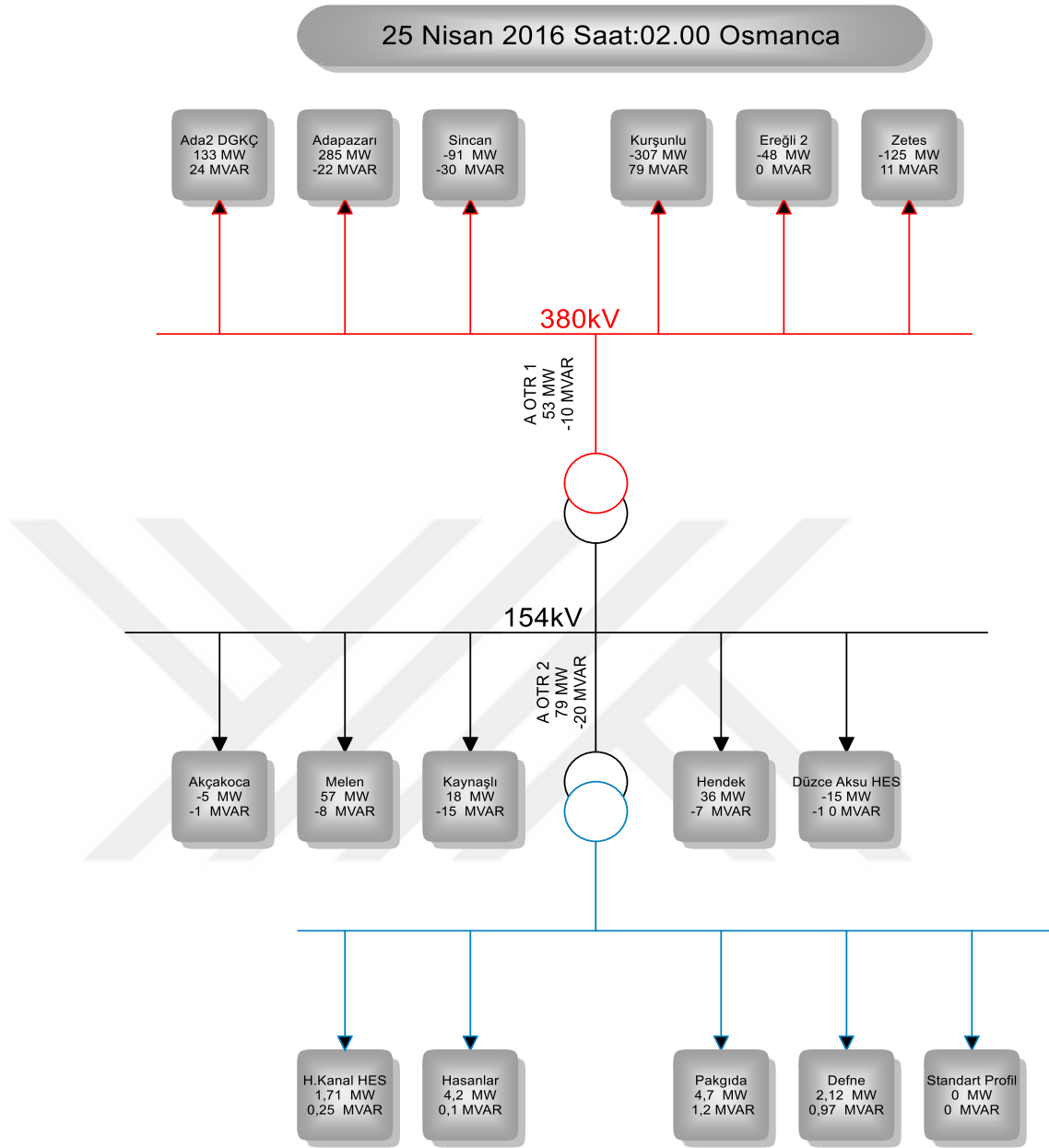
Şekil 2.8.2. Durum 2 için Hasan Uğurlu (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı

2.4.8. Osmanca TM Tek Hat Şeması

380kV Osmanca barasına Ada2 DGKÇ, Adapazarı, Sincan, Kurşunlu, Ereğli2 ve Zetes aynı gerilim seviyesinde bağlıdır. Ayrıca transformatörler yardımı ile 380/154 kV dönüşümü yapılarak Akçakoca, Melen, Kaynaşlı, Hendek ve Düzce Aksu HES havai hatlar ile Osmanca'ya bağlanmıştır. Ayrıca yine transformatörler yardımı ile daha düşük gerilim seviyesinde Hasanlar Kanal HES, Hasanlar, Pakgıda, Defne ve Standart Profil baralarına bağlıdır.



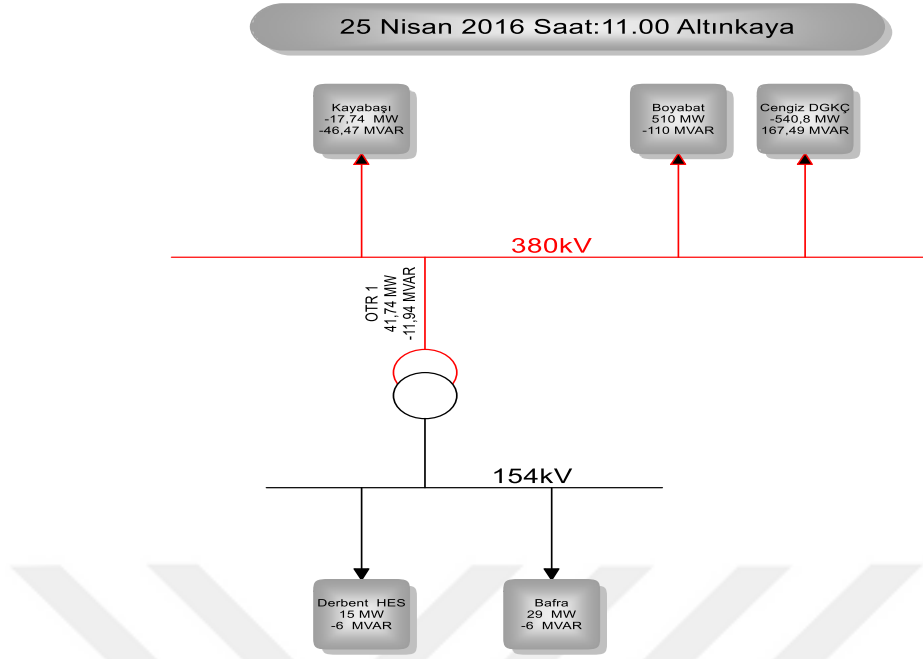
Şekil 2.9.1. Durum 1 için Osmanca (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı



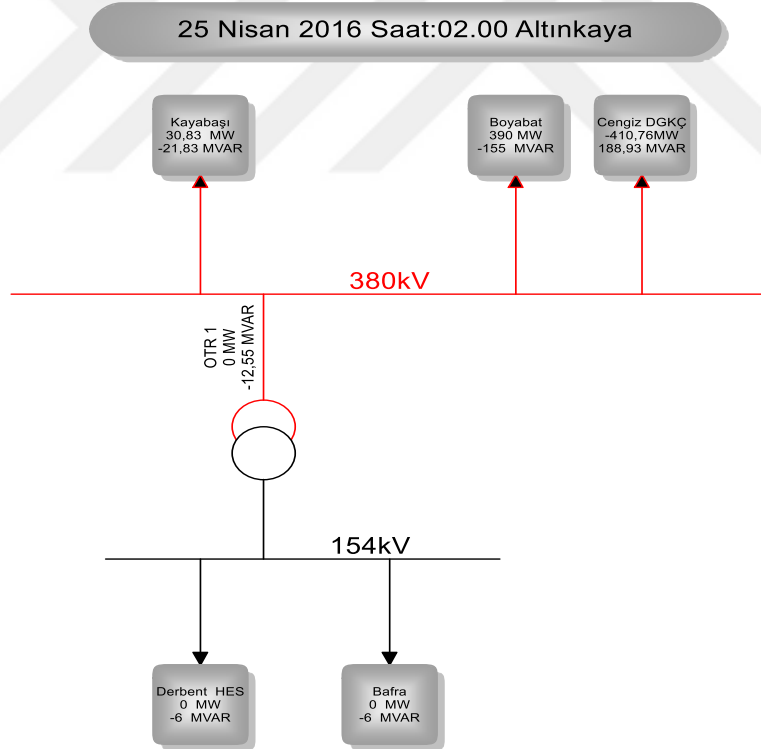
Şekil 2.9.2. Durum 2 için Osmanca (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı

2.4.9. Altinkaya TM Tek Hat Şeması

380kV Altinkaya barasına Kayabaşı, Boyabat HES ve Cengiz DGKÇ aynı gerilim seviyesinde bağlıdır. Ayrıca transformatörler yardımı ile 380/154 kV dönüşümü yapılarak Derbent HES ve Bafra havai hatlar ile Altinkaya'ya bağlanmıştır.



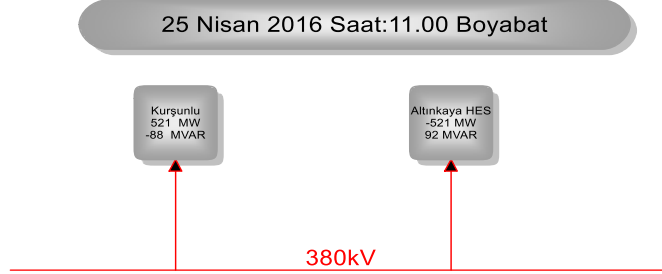
Şekil 2.10.1. Durum 1 için Altınkaya (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı



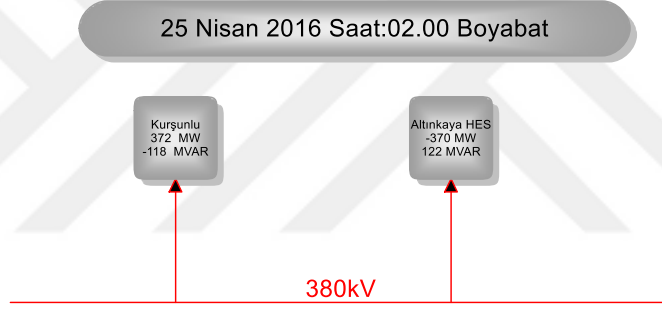
Şekil 2.10.2. Durum 2 için Altınkaya (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı

2.4.10. Boyabat TM Tek Hat Şeması

380kV Boyabat barasına Kurşunlu ve Altınkaya HES aynı gerilim seviyesinde bağlıdır.



Şekil 2.11.1. Durum 1 için Boyabat (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı



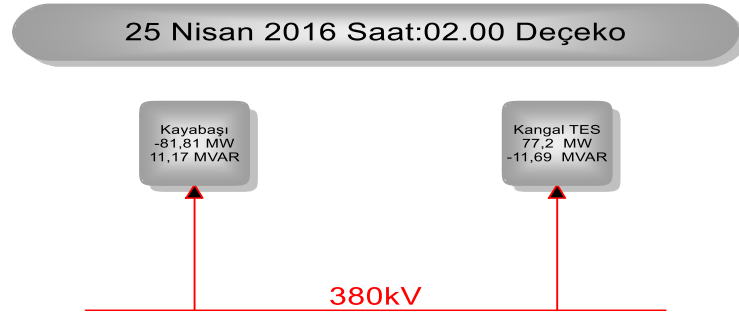
Şekil 2.11.2. Durum 2 için Boyabat (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı

2.4.11. Deçeko TM Tek Hat Şeması

380kV Deçeko barasına Kayabaşı ve Kangal TES aynı gerilim seviyesinde bağlıdır.



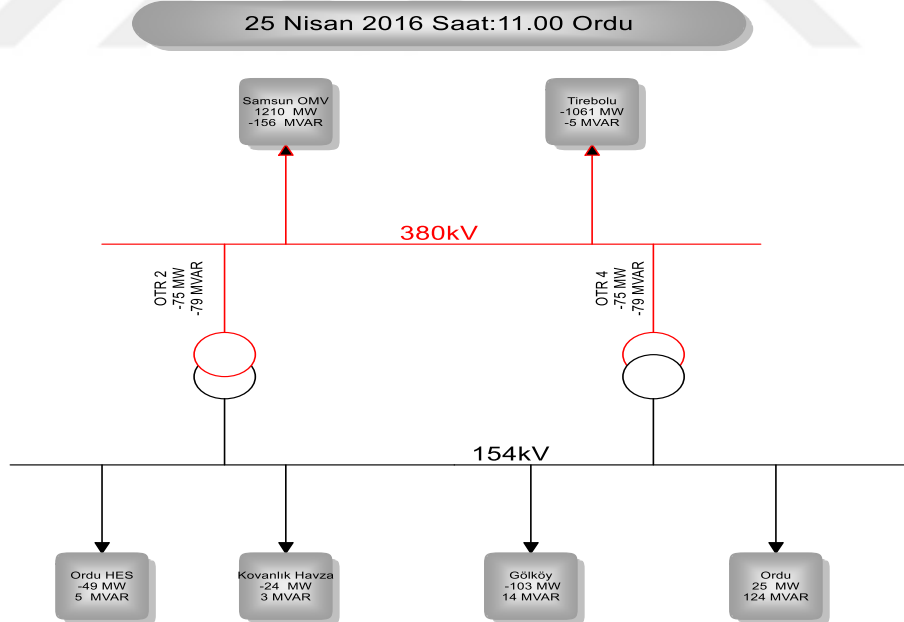
Şekil 2.12.1. Durum 1 için Deçeko (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı



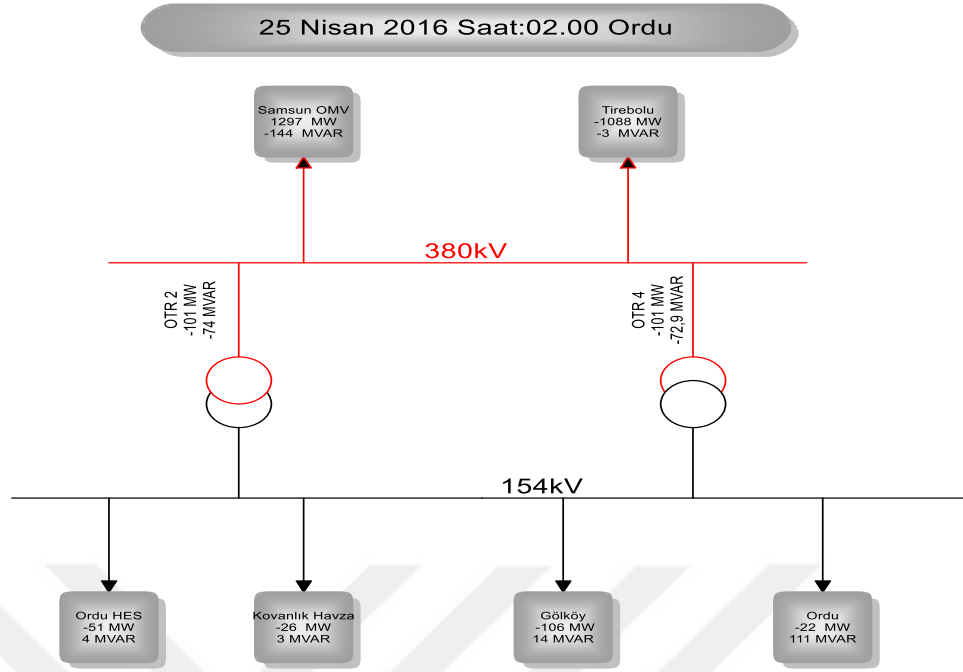
Şekil 2.12.2. Durum 2 için Deçeko (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı

2.4.12. Ordu TM Tek Hat Şeması

380kV Ordu barasına Samsun OMV ve Tirebolu aynı gerilim seviyesinde bağlıdır. Ayrıca transformatörler yardımı ile 380/154 kV dönüşümü yapılarak Kovanlık Havza, Ordu HES, Gölköy ve Ordu havai hatlar ile Ordu'ya bağlanmıştır.



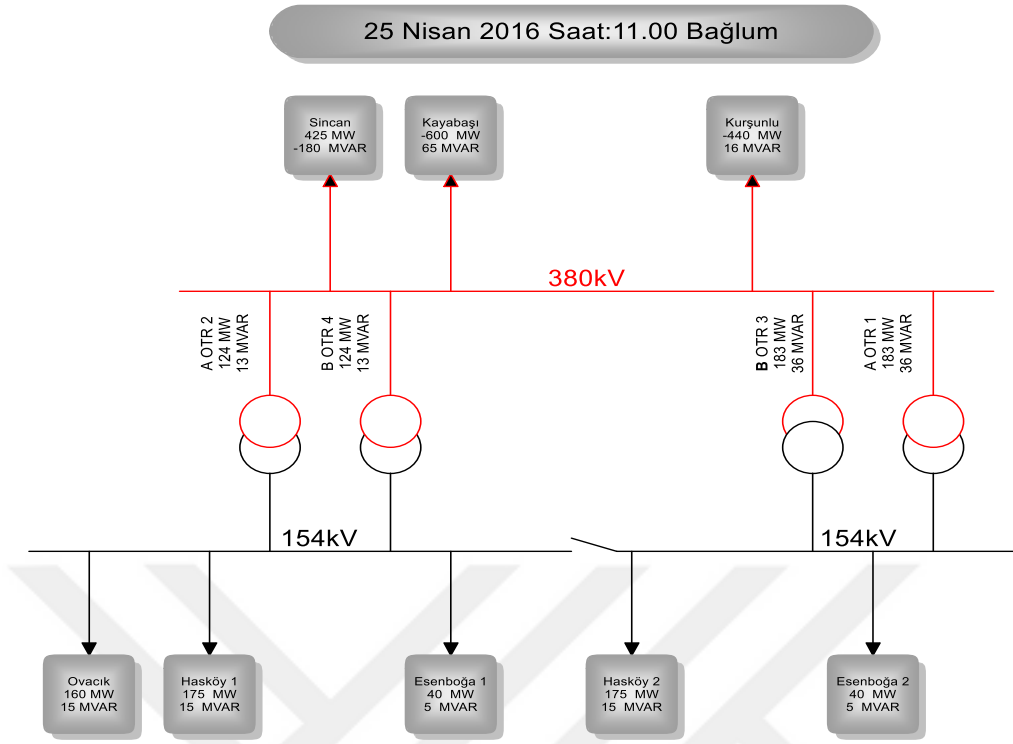
Şekil 2.13.1. Durum 1 için Ordu (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı



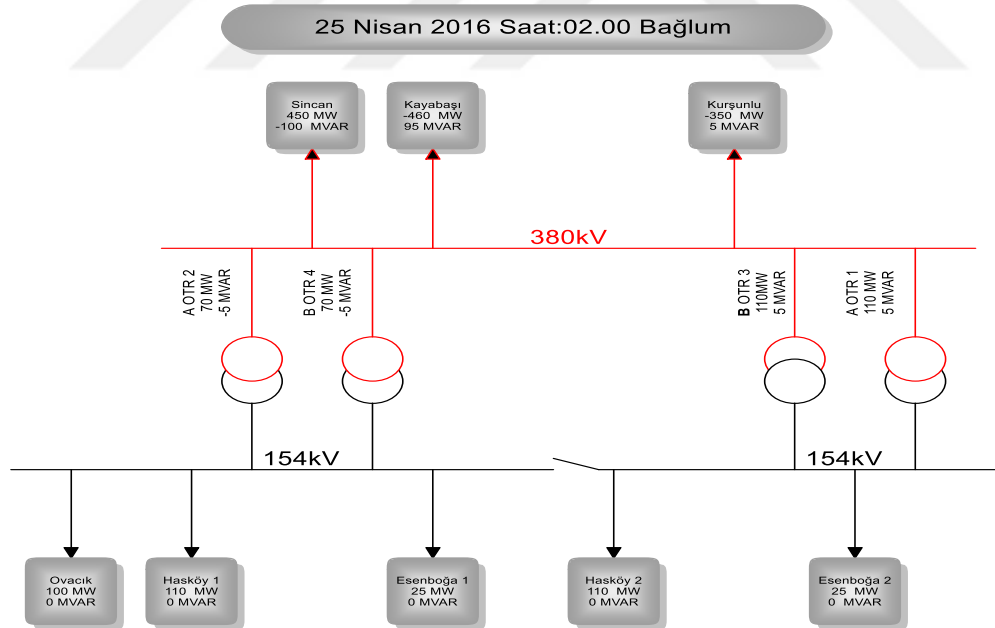
Şekil 2.13.2. Durum 2 için Ordu (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı

2.4.13. Bağlum TM Tek Hat Şeması

380kV Bağlum barasına Sincan, Kayabaşı ve Kurşunlu aynı gerilim seviyesinde bağlıdır. Ayrıca transformatörler yardımı ile 380/154 kV dönüşümü yapılarak Ovacık, Hasköy1, Hasköy2, Esenboğa1 ve Esenboğa2 havai hatlar ile Bağlum'a bağlanmıştır.



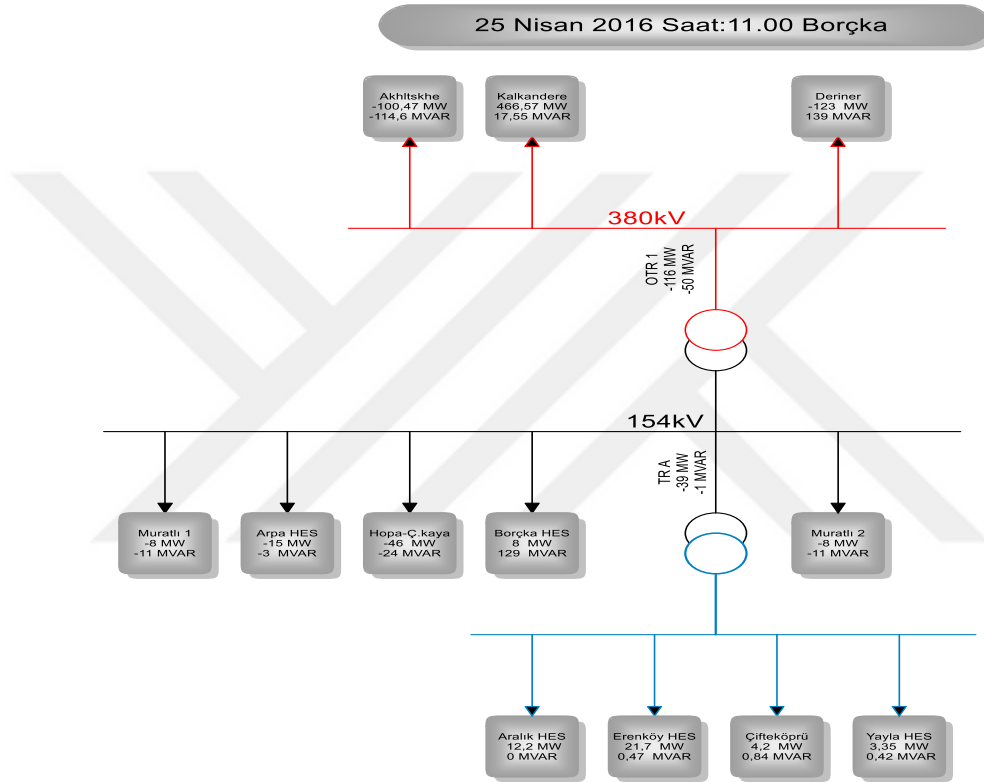
Şekil 2.14.1. Durum 1 için Bağlum (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı



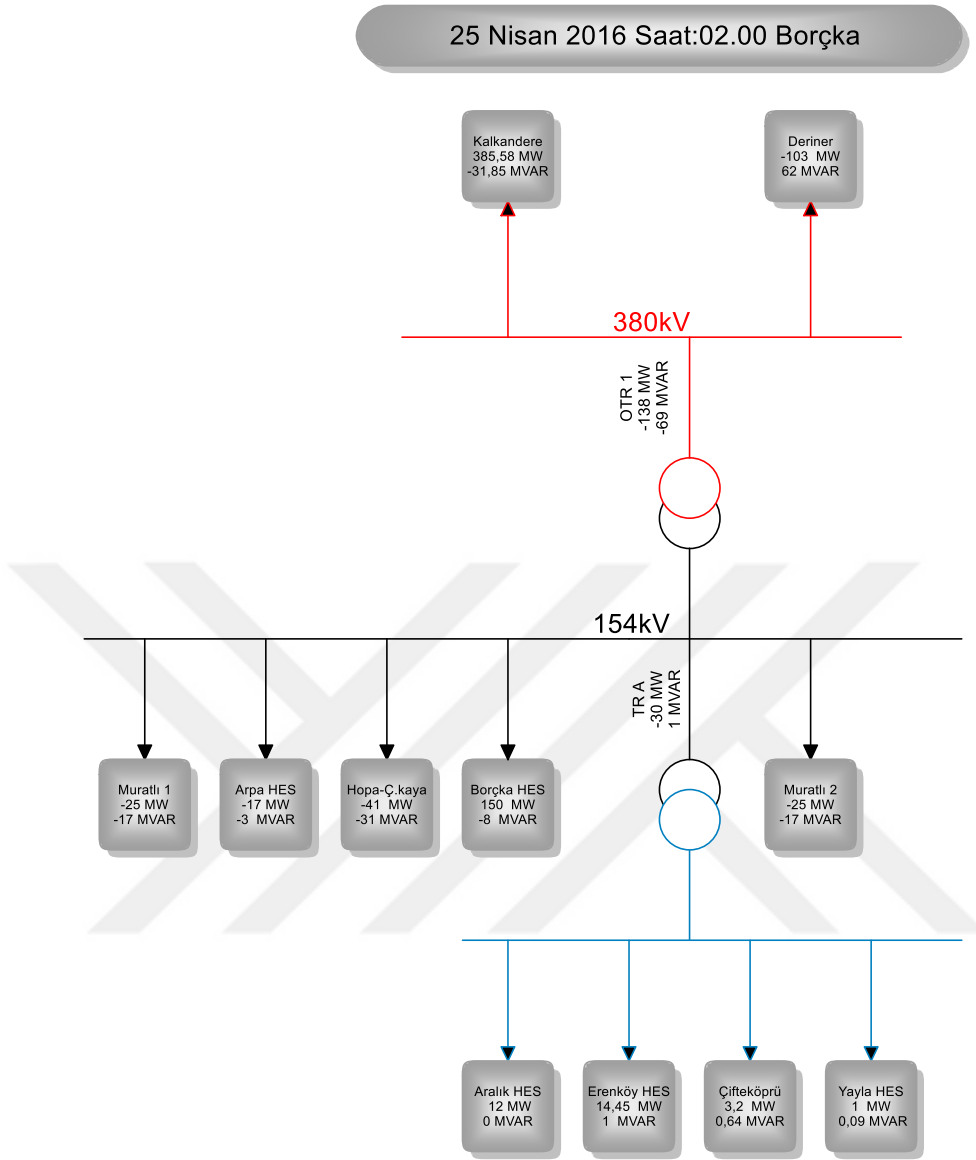
Şekil 2.14.2. Durum 2 için Bağlum (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı

2.4.14. Borçka TM Tek Hat Şeması

380kV Borçka barasına Akhltskhe (Gürcistan), Deriner ve Kalkandere aynı gerilim seviyesinde bağlıdır. Ayrıca transformatörler yardımı ile 380/154 kV dönüşümü yapılarak Muratlı1, Muratlı2, Arpa HES, Hopa-Çakmakkaya ve Borçka HES havai hatlar ile Borçka'ya bağlanmıştır. Ayrıca yine transformatörler yardımı ile daha düşük gerilim seviyesinde Çifteköprü, Aralık HES, Erenköy HES ve Yayla HES baralarına bağlıdır.



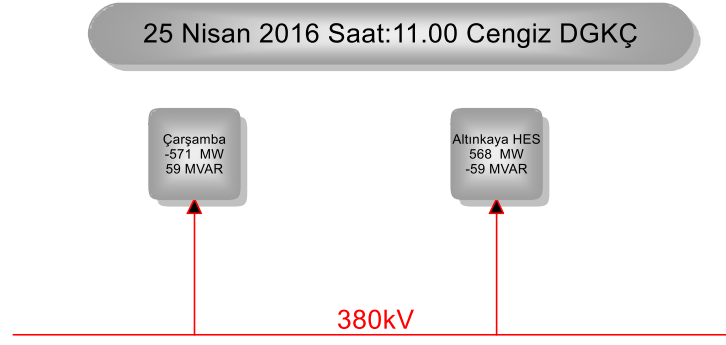
Şekil 2.15.1. Durum 1 için Borçka (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı



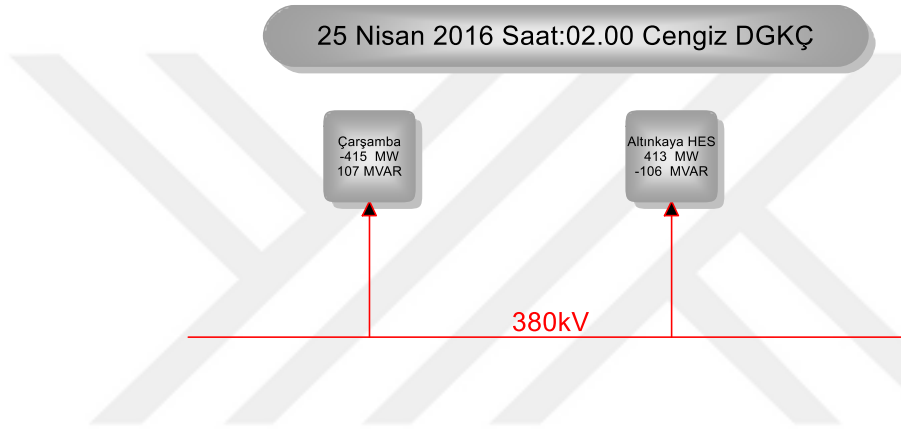
Şekil 2.15.2. Durum 2 için Borçka (380kV) trafo merkezinin tek hat diyagramı

2.4.15. Cengiz DGKÇ TM Tek Hat Şeması

380kV Cengiz DGKÇ barasına Çarşamba ve Altınkaya HES aynı gerilim seviyesinde bağlıdır.



Şekil 2.16.1. Durum 1 için Cengiz DGKÇ (380kV) TM tek hat diyagramı

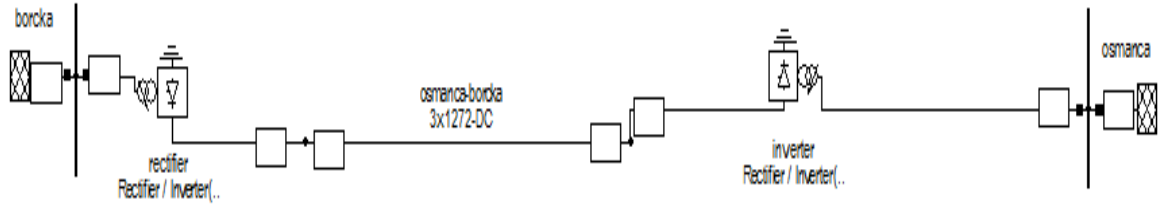


Şekil 2.16.2. Durum 2 için Cengiz DGKÇ (380kV) TM tek hat diyagramı

2.5. HVDC Sistem Modellemesi

Borçka-Osmanca arasına kurulan mevcut iletim şebekesi modellendikten sonra yine Digsilent Power Factory programında monopolar HVDC sistem modellendi. Sistemde monopolar işletmeye uygun olacak şekilde iki tane konvertör ve bir tane DC iletim hattı mevcuttur. Modelleme işleminde en önemli kıstas konvertör parametreleridir. Konvertörün kontrol karakteristiği, gücü, DC akımı ve gerilimi, konvertör transformatörünün kademe değiştirme özelliği, sargı oranı bu parametrelere örnek verilebilir.

Tasarlanan bu HVDC sistem Şekil 2.17.'de görüleceği gibi Borçka-Osmanca arasına yerleştirilmiştir.



Şekil 2.17. Borçka-Osmanca arasında kurulan HVDC sistem

Yük akışının Borçka'dan Osmanca'ya olması sebebi ile ilk konvertör Borçka'ya bağlanmış olup doğrultucu olarak görev yapmaktadır. İkinci konvertörde yine yük akışının yönü nedeniyle Osmanca'ya bağlanmış olup invertör olarak görev yapmaktadır. Konvertörlerin bir uçları AC sisteme Borçka ve Osmanca'da bağlıyken diğer uçlarına DC baralar konulmuştur. Bu iki DC bara arasında da DC hat yerleştirilmiştir. Bu DC hattın tüm parametreleri Tablo 2.2.'de ve konvertörlerin tüm parametreleri Tablo 2.3.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. DC hattın parametreleri

	DC Hat
Uzunluk (km)	1003
Gerilim (kV)	495
Kesit (MCM)	1272
Kablo	havai hat
Akım (kA)	1

Tablo 2.3. Doğrultucu ve İnvörtör parametreleri

	Doğrultucu	İnvörtör
Kontrol Karakteristiği	P	Vdc
Min ateşleme açısı	10	10
Max ateşleme açısı	180	180
Min sönüm açısı	10	10
Kademe değiştirici	sabit kademe	sabit kademe
DC gerilim (kV)	513	495
DC akım (kA)	2	1

Çoruh Nehri, Bayburt ilindeki Mescit Dağları'ndan başlayarak Gürcistan'ın Batum ilinden Karadeniz'e dökülmektedir. Çoruh Nehri'nin aktığı bölge Çoruh Havza'sı olarak adlandırılmaktadır. Çoruh Havza'sında Erzurum, Erzincan, Kars, Gümüşhane ve Artvin illerinin toprakları bulunmaktadır. Çoruh Havza'sı üzerindeki HES'ler ile üretilen elektriğin payı diğer bölgelere göre yüksektir. Üretilen elektrik 380kV iletim hatları ile tüketimin fazla olduğu bölgelere taşınmaktadır. Feyezan dönemlerinde ise normalden fazla olan enerji üretimi taşınırken elektrik iletim hatlarında aşırı yüklenmeye neden olur ve kararsızlık problemleri ortaya çıkar. Bu yüzden bu çalışmada iletim hatlarındaki yüklenmenin ve kayıpların minimuma indirgenmesi için Borçka-Osmanca arasında konumlandırılacak hibrit HVDC sistem modellenmiştir.

2.6. Sistemin Uygulanması ve Sonuçlar

HVAC sistem ve HVDC sistem Borçka-Osmanca arasında kurulduktan sonra iki durum için sistem çıktıları incelenmiştir.

Durum 1: 25 Nisan 2016 Saat: 11.00

Durum 2: 25 Nisan 2016 Saat: 02.00

2.6.1. Durum 1 İçin Elde Edilen Sonuçlar

25 Nisan 2016 Saat: 11.00 için baraların tek hat şemalarına göre veriler Digsilent Power Factory programında ilgili baralara girilmiştir ve ilk olarak sadece HVAC sistem aktif iken yük akışı yapılmıştır. Daha sonra HVAC ve HVDC sistemin ikisi de aktif iken tekrar güç akışı yapılmıştır. Sistemdeki 380kV baraların aktif ve reaktif güç değerlerinin sadece HVAC ve HVAC + HVDC iken nasıl değiştiği incelenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar Tablo 2.4' de verilmiştir.

Tablo 2.4' deki sonuçlara göre sadece HVAC sistem aktifken en çok aktif güç Ordu-Samsun DGKÇ iletim hattı üzerinde taşınmaktadır. HVAC ve HVDC sistem hibrit çalıştığında da yine en çok aktif güç bu hat üzerinde taşınmaktadır. Ordu-Samsun DGKÇ iletim hattında hibrit çalışmada taşınan aktif güç %27 azalmıştır. Çünkü hibrit çalışma ile gücün bir kısmı HVDC sistemdeki DC hat üzerinden taşınmıştır. Bu da bizim mevcut Ordu-Samsun DGKÇ AC iletim hattımızın yüklenme yüzdesini düşürür. Böylece hibrit çalışma ile sistem daha kararlı hale gelmiştir.

En çok rahatlatma yüzdesi ise Borçka-Kalkandere iletim hattında olmuştur. Borçka-Kalkandere AC iletim hattı üzerinde sadece HVAC sistem aktifken 400,9 MW güç taşınırken, hibrit çalışma da 74,7 MW güç taşınmıştır. Yani %81 oranında taşınan aktif güç miktarı azalmıştır. Bunu daha sonra %73 azalma ile Kurşunlu-Osmanca iletim hattı takip etmektedir. Diğer iletim hatlarında da taşınan güç miktarı %20 - %52 arasında azalmaktadır. Bağlum, Deçeko ve Hasan Uğurlu da taşınan güç miktarı değişmemiştir. Çünkü bu merkezlerden sisteme güç enjekte edilmektedir.

Tablo 2.4. Durum 1 için 380kV baraların aktif ve reaktif güç değerleri

İletim Hattı (AC)	HVAC		HVAC + HVDC	
	P(MW)	Q(MVar)	P(MW)	Q(MVar)
Borçka-Kalkandere	400,9	21,9	74,7	25,5
Kalkandere-Tirebolu	632,4	-31,7	308,4	-45,3
Tirebolu-Ordu	998,5	-96,8	679,0	-169,2
Ordu-Samsun DGKÇ	1139,1	-24,9	824,5	-22,0
Samsun DGKÇ-Çarşamba	628	-80,1	439,0	-12,0
Samsun DGKÇ-Kayabaşı	500,5	-55,9	380,0	-41,4
Kayabaşı-Deçeko	-181	26,2	-181,0	26,2
Kayabaşı-Çarşamba	289	-47,7	229,0	-45,1
Çarşamba-Hasan Uğurlu	-239,7	-280,3	-239,7	-280,3
Çarşamba-Cengiz DGKÇ	486,8	39,0	358,0	45,9
Cengiz DGKÇ-Altinkaya	-410,9	69,9	-283,1	56,0
Altinkaya-Kayabaşı	-49,5	-59,5	-69,5	-57,0
Kayabaşı-Kurşunlu	285,7	-70,3	128,6	-68,7
Kayabaşı-Bağlum	629	-68,3	629,0	-68,3
Altinkaya-Boyabat	319,7	-218,3	171,7	-212,7
Boyabat-Kurşunlu	-317	86,0	-170,7	67,8
Kurşunlu-Osmanca	415	-117,2	113,7	-118,3

Durum 1 için sistem sadece HVAC aktifken çalıştırıldığındaki hat yüklenmeleri ile HVAC+HVDC aktifken çalıştırıldığındaki hat yüklenmeleri Tablo 2.5’de verilmiştir.

Tablo 2.5. Durum 1 için Hat Yüklenmesi (%)

İletim Hattı (AC)	HVAC (%)	HVAC+HVDC (%)
Borçka-Kalkandere	62,55	19,1
Kalkandere-Tirebolu	92,6	45,6
Tirebolu-Ordu	147	102,5
Ordu-Samsun DGKÇ	165,2	118,7
Samsun DGKÇ-Çarşamba	91,7	63,3
Samsun DGKÇ-Kayabaşı	72,9	55,1
Kayabaşı-Deçeko	32,5	32,5
Kayabaşı-Çarşamba	42,3	33,8
Çarşamba-Hasan Uğurlu	26,6	26,6
Çarşamba-Cengiz DGKÇ	70,7	52,3
Cengiz DGKÇ-Altinkaya	61,4	43,4
Altinkaya-Kayabaşı	11,2	13,0
Kayabaşı-Kurşunlu	42,6	22,6
Kayabaşı-Bağlum	91,1	91,1
Altinkaya-Boyabat	55,6	39,3
Boyabat-Kurşunlu	47,6	29,3
Kurşunlu-Osmanca	61,5	21,0

Durum 1 için HVDC sistem için Tablo 2.5'deki çıktılara ek olarak Borçka-Osmanca arasındaki DC hattın yüklenmesi % 59,9' dur.

Durum 1 için Borçka-Osmanca arasındaki HVDC sistem etkinken, Borçka ve Osmanca AC baralarına ait veriler Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6. Durum 1 için Borçka ve Osmanca AC baralarına ait sonuçlar

25Nisan2016 Saat:11.00	AC Bara	
	Borçka	Osmanca
P (MW)	302,8	-296,7
Q (MVar)	75	213,9
Gerilim (pu)	1,01	1,08
Açı (°)	0	-26,7

Durum 1 için sistem sadece HVAC aktifken çalıştırıldığında hat akımları ile HVAC+HVDC aktifken çalıştırıldığında hat akımları Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7. Durum 1 için Hat Akımları (kA)

İletim Hattı (AC)	HVAC	HVAC+HVDC
	I (kA)	I (kA)
Borçka-Kalkandere	0,601	0,118
Kalkandere-Tirebolu	0,929	0,456
Tirebolu-Ordu	1,47	1,025
Ordu-Samsun DGKÇ	1,652	1,187
Samsun DGKÇ-Çarşamba	0,917	0,633
Samsun DGKÇ-Kayabaşı	0,729	0,551
Kayabaşı-Deçeko	0,265	0,265
Kayabaşı-Çarşamba	0,423	0,338
Çarşamba-Hasan Uğurlu	0,533	0,533
Çarşamba-Cengiz DGKÇ	0,705	0,521
Cengiz DGKÇ-Altinkaya	0,599	0,415
Altinkaya-Kayabaşı	0,112	0,130
Kayabaşı-Kurşunlu	0,426	0,211
Kayabaşı-Bağlum	0,916	0,916
Altinkaya-Boyabat	0,556	0,393
Boyabat-Kurşunlu	0,468	0,264
Kurşunlu-Osmanca	0,615	0,234

HVDC sistem için Tablo 2.7'deki çıktılara ek olarak Borçka-Osmanca arasındaki DC hattın akımı 0,599 kA' dir.

Durum 1 için sistem sadece HVAC aktifken çalıştırıldığındaki hattaki aktif güç kayıpları ile HVAC+HVDC aktifken çalıştırıldığındaki hattaki aktif güç kayıpları Tablo 2.8'de verilmiştir. Bu tabloya göre üzerindeki güç kayıpları en fazla azalan Kurşunlu-Osmanca iletim hattıdır. Üzerindeki aktif güç kaybı %92 kadar azalmıştır. Borçka-Kalkandere, Kalkandere-Tirebolu, Kayabaşı-Kurşunlu hatlarında da ortalama %80 civarı kayıplar azalmıştır. En çok yüklenen iletim hattı olan Ordu-Samsun DGKÇ iletim hattında da %49 aktif güç kayıpları azalmıştır. AC iletim hatlarındaki toplam kayıplar %45 azalmıştır.

Toplamda ise sadece HVAC aktifken AC hattaki toplam kayıplar 65,3 MW iken, HVAC+HVDC aktifken AC+DC hattaki toplam kayıplar 41,8'dir. Yani HVDC sistemin kurulması kayıpları %36 oranında azaltmıştır.

Tablo 2.8. Durum 1 için Hat Üzerindeki Aktif Güç Kayıpları (MW)

İletim Hattı (AC)	HVAC	HVAC+HVDC
	Kayıp(MW)	Kayıp(MW)
Borçka-Kalkandere	2,5	0,3
Kalkandere-Tirebolu	5,9	1,4
Tirebolu-Ordu	9,4	4,5
Ordu-Samsun DGKÇ	10,6	5,5
Samsun DGKÇ-Çarşamba	2	1
Samsun DGKÇ-Kayabaşı	4	2,2
Kayabaşı-Deçeko	1	1
Kayabaşı-Çarşamba	2,3	1,4
Çarşamba-Hasan Uğurlu	0,3	0,3
Çarşamba-Cengiz DGKÇ	0,4	0,2
Cengiz DGKÇ-Altınkaya	1,5	0,7
Altınkaya-Kayabaşı	0	0,2
Kayabaşı-Kurşunlu	2,7	0,6
Kayabaşı-Bağlum	15	15
Altınkaya-Boyabat	1	0,5
Boyabat-Kurşunlu	1,7	0,5
Kurşunlu-Osmanca	5	0,4
Toplam AC hat kayıpları	65,3	35,7

HVDC sistem için Tablo 2.8'deki çıktılarına ek olarak Borçka-Osmanca arasındaki DC hattaki aktif güç kaybı 6,1 MW 'dır.

2.6.2. Durum 2 İçin Elde Edilen Sonuçlar

25 Nisan 2016 Saat: 02.00 için baraların tek hat şemalarına göre veriler Digsilent Power Factory programında ilgili baralara girilmiştir ve ilk olarak sadece HVAC sistem aktif iken yük akışı yapılmıştır. Daha sonra HVAC ve HVDC sistemin ikisi de aktif iken tekrar güç akışı yapılmıştır. Sistemdeki 380 kV baraların aktif ve reaktif güç değerlerinin sadece HVAC ve HVAC + HVDC iken nasıl değiştiği incelenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar Tablo 2.9' da verilmiştir.

Tablo 2.9. Durum 2 için 380kV baraların aktif ve reaktif güç değerleri

İletim Hattı (AC)	HVAC		HVAC + HVDC	
	P(MW)	Q(MVar)	P(MW)	Q(MVar)
Borçka-Kalkandere	457,1	202,1	-45,5	213,5
Kalkandere-Tirebolu	257,2	23,2	-242,6	55,5
Tirebolu-Ordu	653,2	-207,9	153,4	-255,3
Ordu-Samsun DGKÇ	848,8	-71,9	352,7	-62,6
Samsun DGKÇ-Çarşamba	484,5	-71,9	185,0	-9,2
Samsun DGKÇ-Kayabaşı	358,4	-37,3	166,7	-15,3
Kayabaşı-Deçeko	-4	-17,2	-4,0	-17,2
Kayabaşı-Çarşamba	198,1	-21,3	104,9	-9,1
Çarşamba-Hasan Uğurlu	0	-21,1	0,0	-21,2
Çarşamba-Cengiz DGKÇ	394,2	17,1	189,0	83,4
Cengiz DGKÇ-Altınkaya	-262,3	116	-57,8	98,5
Altınkaya-Kayabaşı	-43,1	-127,9	-74,4	-124,2
Kayabaşı-Kurşunlu	191,3	-150,4	-60,0	-135,5
Kayabaşı-Bağlum	365,2	-141,5	365,2	-141,5
Altınkaya-Boyabat	218,9	-91	-17,0	-78,2
Boyabat-Kurşunlu	-217,6	193,7	17,2	172,3
Kurşunlu-Osmanca	287,2	-91,4	-197,7	-56,7

Tablo 2.9' daki sonuçlara göre sadece HVAC sistem aktifken en çok aktif güç Ordu-Samsun DGKÇ AC iletim hattı üzerinde taşınmaktadır. HVAC ve HVDC sistem hibrit çalıştığında da yine en çok aktif güç aynı hat üzerinde taşınmaktadır. Ordu-Samsun DGKÇ iletim hattında hibrit çalışmada taşınan aktif güç %58 azalmıştır.

En çok rahatlama yüzdesi ise Tirebolu-Ordu iletim hattında olmuştur. Tirebolu-Ordu iletim hattı üzerinde sadece HVAC sistem aktifken 653,2 MW güç taşınırken, hibrit çalışmada 153,4 MW güç taşınmıştır. Yani %75 oranında taşınan aktif güç miktarı azalmıştır. Bunu daha sonra %62 azalma ile Çarşamba-Samsun DGKÇ iletim hattı takip etmektedir. Durum 1' de olduğu gibi Bağlum, Deçeko ve Hasan Uğurlu da taşınan güç miktarı değişmemiştir. Çünkü bu merkezlerden sisteme güç enjekte edilmektedir.

Borçka-Osmanca arasına kurulmuş bir hibrit HVDC sistem ile AC iletim hatlarında taşınan güç miktarı azalmış ve sistemde çökme olması ihtimali düşmüştür.

Durum 2 için sistem sadece HVAC aktifken çalıştırıldığında hat yüklenmeleri ile HVAC + HVDC aktifken çalıştırıldığında hat yüklenmeleri Tablo 2.10’da verilmiştir.

Tablo 2.10. Durum2 için Hat Yüklenmesi (%)

İletim Hattı (AC)	HVAC	HVAC+HVDC
Borçka-Kalkandere	79,2	23,7
Kalkandere-Tirebolu	40,6	40,9
Tirebolu-Ordu	101,5	44,1
Ordu-Samsun DGKÇ	123,1	51,4
Samsun DGKÇ-Çarşamba	70,4	26,7
Samsun DGKÇ-Kayabaşı	51,8	26,7
Kayabaşı-Deçeko	13,7	13,7
Kayabaşı-Çarşamba	29,1	17,4
Çarşamba-Hasan Uğurlu	1,5	1,5
Çarşamba-Cengiz DGKÇ	56,7	30,3
Cengiz DGKÇ-Altinkaya	44,1	23,1
Altinkaya-Kayabaşı	19,5	20,9
Kayabaşı-Kurşunlu	37	23,8
Kayabaşı-Bağlum	53,7	53,7
Altinkaya-Boyabat	33,6	11,3
Boyabat-Kurşunlu	32,7	10,0
Kurşunlu-Osmanca	41,1	28,0

HVDC sistem için Tablo 2.10’deki çıktılara ek olarak Borçka-Osmanca arasındaki DC hattın yüklenmesi % 97,7’ dir.

Durum 2 için Borçka-Osmanca arasındaki HVDC sistem etkinken, Borçka ve Osmanca AC baralarına ait veriler de Tablo 2.11’de verilmiştir.

Tablo 2.11. Durum 2 için Borçka ve Osmanca AC baralarına ait sonuçlar

25Nisan2016 Saat:02.00	AC Bara	
	Borçka	Osmanca
P (MW)	500	-483,8
Q (MVar)	177,2	366,2
Gerilim (pu)	1,06	1,1
Açı (°)	0	2,3

Durum 2 için sistem sadece HVAC aktifken çalıştırıldığında hat akımları ile HVAC+HVDC aktifken çalıştırıldığında hat akımları Tablo 2.12’de verilmiştir.

Tablo 2.12. Durum 2 için Hat Akımları (kA)

İletim Hattı (AC)	HVAC	HVAC+HVDC
	I (kA)	I (kA)
Borçka-Kalkandere	0,717	0,313
Kalkandere-Tirebolu	0,376	0,362
Tirebolu-Ordu	1,015	0,441
Ordu-Samsun DGKÇ	1,231	0,514
Samsun DGKÇ-Çarşamba	0,704	0,265
Samsun DGKÇ-Kayabaşı	0,518	0,239
Kayabaşı-Deçeko	0,025	0,025
Kayabaşı-Çarşamba	0,286	0,151
Çarşamba-Hasan Uğurlu	0,03	0,030
Çarşamba-Cengiz DGKÇ	0,566	0,296
Cengiz DGKÇ-Altınkaya	0,441	0,231
Altınkaya-Kayabaşı	0,195	0,209
Kayabaşı-Kurşunlu	0,352	0,214
Kayabaşı-Bağlum	0,566	0,566
Altınkaya-Boyabat	0,336	0,113
Boyabat-Kurşunlu	0,403	0,240
Kurşunlu-Osmanca	0,417	0,285

HVDC sistem için Tablo 2.12'deki çıktılarına ek olarak Borçka-Osmanca arasındaki DC hattın akımı 0,977 kA' dir.

Durum 2 için sistem sadece HVAC aktifken çalıştırıldığında hattaki aktif güç kayıpları ile HVAC + HVDC aktifken çalıştırıldığında hattaki aktif güç kayıpları Tablo 2.13'de verilmiştir. Bu tabloya göre kayıpların azalma yüzdesi genel olarak Durum 1'e göre fazladır. Çoğu iletim hattındaki kayıplar ortalama %70 civarında azalmıştır. Borçka-Kalkandere ve Altınkaya-Boyabat iletim hatlarında ise kayıplar %95'ten fazla azalmıştır.

Toplamda ise sadece HVAC aktifken AC hattaki toplam kayıplar 30 MW iken, HVAC+HVDC aktifken AC+DC hattaki toplam kayıplar 27,6 MW'tır. Yani HVDC sistemin kurulması kayıpları %8 oranında azaltmıştır.

Tablo 2.13. Durum 2 için Hat Üzerindeki Aktif Güç Kayıpları (MW)

İletim Hattı (AC)	HVAC	HVAC+HVDC
	Kayıp(MW)	Kayıp(MW)
Borçka-Kalkandere	2,9	0,1
Kalkandere-Tirebolu	1	1,0
Tirebolu-Ordu	4,4	0,7
Ordu-Samsun DGKÇ	5,9	1,0
Samsun DGKÇ-Çarşamba	1,2	0,1
Samsun DGKÇ-Kayabaşı	2	0,5
Kayabaşı-Deçeko	0	0
Kayabaşı-Çarşamba	1,1	0,4
Çarşamba-Hasan Uğurlu	0	0,0
Çarşamba-Cengiz DGKÇ	0,2	0,1
Cengiz DGKÇ-Altinkaya	0,7	0,1
Altinkaya-Kayabaşı	0,2	0,4
Kayabaşı-Kurşunlu	1,7	0,5
Kayabaşı-Bağlum	5,2	5,2
Altinkaya-Boyabat	0,3	0,0
Boyabat-Kurşunlu	1	0,2
Kurşunlu-Osmanca	2,2	1,1
Toplam AC hat kayıpları	30	11,4

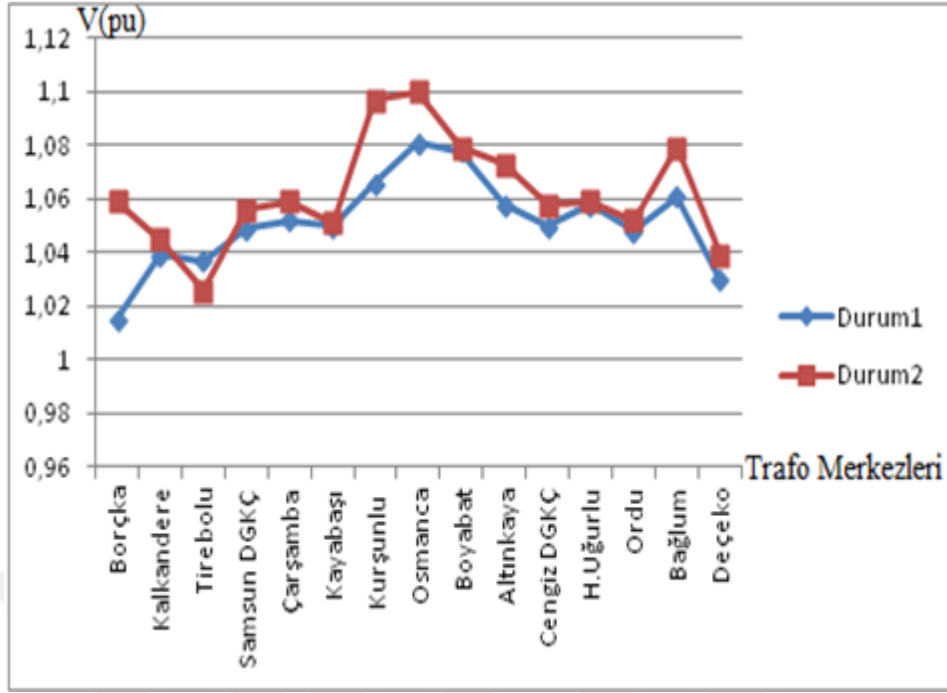
HVDC sistem için Tablo 2.13'deki çıktılarına ek olarak Borçka-Osmanca arasında DC hattaki aktif güç kaybı 16,2 MW'dır.

Her iki durum içinde toplam kayıplar Tablo 2.14.'de verilmiştir.

Tablo 2.14. Hat Üzerindeki Toplam Aktif Güç Kayıpları (MW)

		HVAC (MW)	HVDC (MW)	Toplam Kayıp(MW)
Durum 1	HVAC	65,3	0	65,3
	HVAC+HVDC	35,7	6,1	41,8
Durum 2	HVAC	30	0	30
	HVAC+HVDC	11,4	16,2	27,6

Ayrıca Durum 1 ve Durum 2 için 380kV trafo merkezlerindeki gerilim profilinin nasıl değiştiği Şekil 2.18.'de verilmektedir.



Şekil 2.18. Trafo Merkezlerinin Durum 1 ve Durum 2 için Gerilim Profili

Durum 1 için gerilim profili 1,03-1,081 pu arasında değişmektedir. Durum 2 için ise gerilim profili 1,026-1,1 pu arasında değişmektedir. Gerilim profilinin sabit bir değerde seyretmesi sistemin kararlılığı noktasında önemlidir. Gerilimin genliğindeki değişim ne kadar az olursa sistem okadar kararlı çalışır. Durum 1 ve Durum 2’de Borçka haricinde diğer tüm baraların gerilimlerinin genliğindeki değişimler birbirine paraleldir. Ama Borçka-Kalkandere TM arasındaki gerilimin genliği noktasındaki ilişki Durum 1’de artarken Durum 2’de azalmaktadır. Bunun nedeni Borçka barasının modellenen sistemde referans bara kabul edilmesidir. Yani Borçka barası sistemdeki dengesizlikleri azaltmaya yönelik davranır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Çoruh Nehri Türkiye'de birçok ilin topraklarından geçerek Gürcistan'dan denize dökülür. Bu bölgedeki HES'ler ile yapılan üretim Türkiye genelinde büyük paya sahiptir. 19.748 km³ havzaya sahip olan Çoruh Nehri'nin debisi Nisan - Mayıs aylarına denk gelen feyezan döneminde en yüksek değerine ulaşır. Dolayısıyla bu dönemde Çoruh Havza'sının enerji üretim potansiyeli de oldukça yüksek olur. Harşit Çayı da Karadeniz Bölgesi'nde bulunmaktadır. Harşit Çayı'nın kolları üzerinde Torul, Kürtün, Aslancık, Doğankent, Akköy başta olmak üzere kurulu birçok HES bulunmaktadır. Bu bölge Harşit Vadisi olarak adlandırılır ve feyezan dönemlerinde bu vadinin de enerji üretim potansiyeli artar. Karadeniz Bölgesi'nde elektrik tüketimi, üretime nispeten az olur ve bu fazla enerji üretimi talebin fazla olduğu bölgelere taşınır. Bu taşıma batıya doğru ve uzun mesafelere tekabül eder. Bu noktada enerjinin en az kayıpla en çok verimle iletilmesi önem kazanır. Bu yüzden bu çalışmada yer olarak Borçka-Osmanca seçilmiştir. Çünkü yoğun üretimlerin olduğu Borçka'dan, enerji talebinin fazla olduğu Osmanca'ya uzun iletim hatları ile elektrik taşınmaktadır. Tarih ise feyezan dönemine denk gelecek şekilde 25 Nisan 2016 seçilmiştir. Borçka'dan Osmanca'ya uzun mesafede yüksek güç iletimi söz konusu olduğu için de HVDC sistem düşünülerek modellenmiştir.

Bu tez çalışmasında Borçka-Osmanca arası elektrik iletim şebekesi Digsilent Power Factory programında modellenmiştir. Ayrıca bir HVDC sistem modellenerek yine Borçka-Osmanca arasına bağlantısı yapılmıştır. 25 Nisan 2016 saat: 11.00 ve 25 Nisan 2016 saat: 02.00 olmak üzere iki durum belirlenmiştir. Bu gün ve saatte bu hat üzerindeki baraların mevcut üretim ve tüketim bilgileri alınarak sisteme girilmiştir. Sistem önce sadece HVAC iletim aktifken çalıştırılarak yük akışı yapılmıştır. Daha sonra sistemde hem HVAC hem de HVDC aktifken çalıştırılarak tekrar güç akışı yapılmıştır. Her bir baranın her iki durum için de aktif güç, reaktif güç, akım değerlerindeki değişimler belirlendi. Ayrıca her bir iletim hattının her iki durum için de yüklenme yüzdesi ve oluşan kayıplar belirlendi.

Durum 1: 25 Nisan 2016 Saat: 11.00

Sadece HVAC iletim sistemi aktifken AC hatlarda taşınan güç miktarı, sistem HVAC + HVDC çalıştırıldığında azalmaktadır. Örneğin Borçka-Kalkandere arasında taşınan aktif güç 400.9 MW'tan 74.7 MW'a düşmüştür. Diğer AC hatların genelinde de

taşınan aktif güç azalmıştır. Çünkü taşınan aktif gücün bir kısmı Borçka-Osmanca arasındaki HVDC sistemde DC hat üzerinden gitmektedir. Buda sistemdeki aşırı yüklenmeyi rahatlatmaktadır.

Sadece HVAC iletim sistemi aktifken AC hatların yüklenme yüzdesi fazladır. Ordu-Samsun DGKÇ arasındaki AC hat % 165.2 ve Ordu-Tirebolu arasındaki AC hat %147 ile en fazla zorlanan iletim hatlarıdır. Bu hatların dışındaki diğer hatlarda da yüklenme yüzdesi oldukça yüksektir. Sistem HVAC + HVDC çalıştırıldığında Ordu-Samsun DGKÇ arasındaki AC hat % 118.7 ve Ordu-Tirebolu arasındaki AC hat %102,5 yüklenmiştir. Genel olarak diğer AC hatların da yüklenme yüzdeleri azalmıştır. İletim hatlarında aşırı yüklenme istenmeyen bir durumdur. Çünkü aşırı yüklenen hattın servis dışı kalma ihtimali vardır. Böyle bir durum sistemi olumsuz etkiler.

Sadece HVAC iletim sistemi aktifken AC hatlardan akan akım, sistem HVAC + HVDC çalıştırıldığında azalmaktadır. Havai hatların belli akım taşıma kapasiteleri vardır. Dolayısıyla akımın yüksek olması hattı elektriksel bakımdan zorlar. Bu yüzden HVDC sistem aktifken hattın akan akımların azalması avantajlı bir durumdur.

Sadece HVAC iletim sistemi aktifken AC hatlarda meydana gelen toplam kayıp 65,3 MW'tır. HVAC + HVDC iletim sistemi aktifken AC hatlarda 35,7MW ve DC hatta 6,1MW kayıp olmuştur. Dolayısıyla AC + DC hatta toplam 41,8MW kayıp olmuştur. Dolayısıyla HVDC sistemin aktif olması kayıpları azaltmaktadır.

Durum 2: 25 Nisan 2016 Saat: 02.00

Durum 1'deki gibi sadece HVAC iletim sistemi aktifken AC hatlarda taşınan güç miktarı, sistem HVAC + HVDC çalıştırıldığında azalmaktadır. Böylece hattaki yüklenmelerin önüne geçilmektedir. Zaten hat yüklenmelerindeki azalmalar da bunu kanıtlar niteliktedir. Hat yüklenmeleri HVDC sistemin etkisi ile çoğu AC iletim hattında yarı yarıya azalmıştır.

Durum 1'deki gibi sadece HVAC iletim sistemi aktifken AC hatlardan akan akım, sistem HVAC + HVDC çalıştırıldığında azalmaktadır. Bu da hattın kullanım ömrünü uzatmaktadır.

Sadece HVAC iletim sistemi aktifken AC hatlarda meydana gelen toplam kayıp 30 MWatt'tır. HVAC + HVDC iletim sistemi aktifken AC hatlarda 11,4 MW ve DC hatta 16,2 MW kayıp olmuştur. Dolayısıyla AC + DC hatta toplam 27,6 MW kayıp olmuştur. Dolayısıyla HVDC sistemin aktif olması kayıpları belli oranda azaltmaktadır.



4. ÖNERİLER

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Tirebolu-Ordu ve Ordu- Samsun DGKÇ iletim hatlarının da diğer hatlara göre taşınan güç miktarı fazladır. Bunun nedeni Harşit Vadisi olarak bilinen bölgede Tirebolu, Doğan kent, Kürtün, Torul'da olmak üzere birçok HES'te üretimin fazla olmasıdır. Bu üretimler 380kV iletim hatları ile Türkiye'nin batısına taşınarak oradaki üretim açığını kapatır. Bu yüzden bu iki hattın yüklenmesi ve hat üzerinden akan akımlar da diğer hatlara göre fazla olmaktadır. Gündüz yani Durum 1'de, geceye yani Durum 2'ye göre hatların yüklenme seviyesi daha fazladır.

Borçka-Osmanca arasına kurulacak olan bir HVDC iletim sistemi ile bu sistem üzerindeki tüm hatlarda hem gündüz hem de gece rahatlama olacaktır. Taşınan gücün bir miktarı DC hat üzerinden gideceği için diğer AC hatlar da yüklenme olmayacaktır. Dolayısıyla AC iletim hatlarından akan akım ve hattın yüklenme yüzdesi de azalacaktır. Bu durum hatta herhangi bir arıza ihtimalini düşürecek ve kesintisiz elektrik sağlama bakımından süreklilik sağlanacaktır.

Ayrıca her iki durumda da hattaki kayıplar azalmıştır. Gündüz AC hatlarda oluşan kayıp, gece oluşan kaybın yaklaşık iki katıdır. Gündüz oluşan kayıplar %36 oranında azalmışken, gece oluşan kayıplar %8 oranında azalmıştır. Dolayısıyla kaybın azalması ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.

Borçka-Osmanca arasına kurulacak olan bir HVDC iletim sistemi ile enerji daha az kayıpla daha verimli taşınacaktır. Ayrıca hattaki aşırı yüklenmelerin önüne geçilerek güç iletimindeki kalite arttırılacaktır.

Bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesi baz alınmış ve Borçka-Osmanca arasına iki terminalli bir HVDC sistem Digsilent Power Factory programında modellenmiştir. Buna ek olarak başka bölgeler de sisteme dahil edilerek çok terminalli bir HVDC sistem kurulması durumunda Türkiye enterkonnekte elektrik iletim şebekesinin davranışı incelenebilir. Ayrıca bu çalışmada sürekli durum için modellemeler ve analizler yapılarak sonuçlar belirlenmiştir. Buna ek olarak sistemin geçici durum analizleri yapılabilir.

Kayıplar elektrik iletim sisteminde düşünülmesi gereken önemli parametrelerdendir. Bu yüzden konvertör kayıplarının hesabı ortaya konulmalı ve toplam kayıplardaki oranı belirlenmelidir.

Borçka-Osmanca arasına kurulacak HVAC sistem ile HVDC sistemin maliyet analizleri yapılmalı ve hangi sistemin daha ekonomik olduğu belirlenmelidir. Ayrıca bu maliyetlerin kendini sıfırlama süreleri arasındaki ilişki belirlenmelidir.



5. KAYNAKLAR

1. Cole, S. and Belmans, R., Transmission of bulk power: The History and Applications of Voltage-Source Converter High-Voltage Direct Current Systems, IEEE Industrial Electronics, 3, 3 (2009) 1932-4529.
2. Kimbark, E. W., Direct Current Transmission, Vol1, John Wiley and Sons, New York, 1971.
3. Brownzng, R., Evolution of Induction Motors-The Ever-Shrinking Motor, IEEE Industry Applications, 3, 1 (1997) 16-18.
4. Asplund, G., HVDC Light -DC Transmission Based on Voltage Sourced Converters, ABB Review, 1 (1998) 4-9.
5. Sood, V. K., HVDC and FACTS Controllers: Applications of Static Converters in Power Systems, Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 2004.
6. Long, W. and Nilsson, S., HVDC Transmission: Yesterday and Today, IEEE Power and Energy, (2007) 1540-7977.
7. Hayashi, T. and Takasaki, M., Transmision Capability Enhancement Using Power Electronics Technologies for the Future Power System in Japan, Electric Power Systems Research, 44 (1998) 7-14.
8. Litzenberger, W. and Lips, P., Pacific HVDC İntertie, IEEE Power and Energy, 5, 2 (2007) 1540-7977.
9. <https://library.e.abb.com>, 12 Nisan 2016.
10. <http://www.energy.siemens.com>, 25 Nisan 2016.
11. Bohari, H., Technical Review of the Asean Grid Power Interconnection Projects, Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 86,1 (2016) 1992-8645.
12. AREVA T and D Worldwide, HVDC for Beginners and Beyond, Sysems-L4-HVDC Basics, Paris, 2009.
13. Xu, L. and Agelidis, V., VSC Transmission System Using Flying Capacitor Multilevel Converters and Hybrid PWM Control, IEEE Transactions on Power Delivery, 22, 1 (2007) 693-702.
14. Li, Y., Luo, L., Rehtanz, C., Nakamura, K., Xu, J. and Liu, F., Study on Characteristic Parameters of a New Converter Transformer for HVDC Systems, IEEE Transactions on Power Delivery, 24, 4 (2009) 0885-8977.

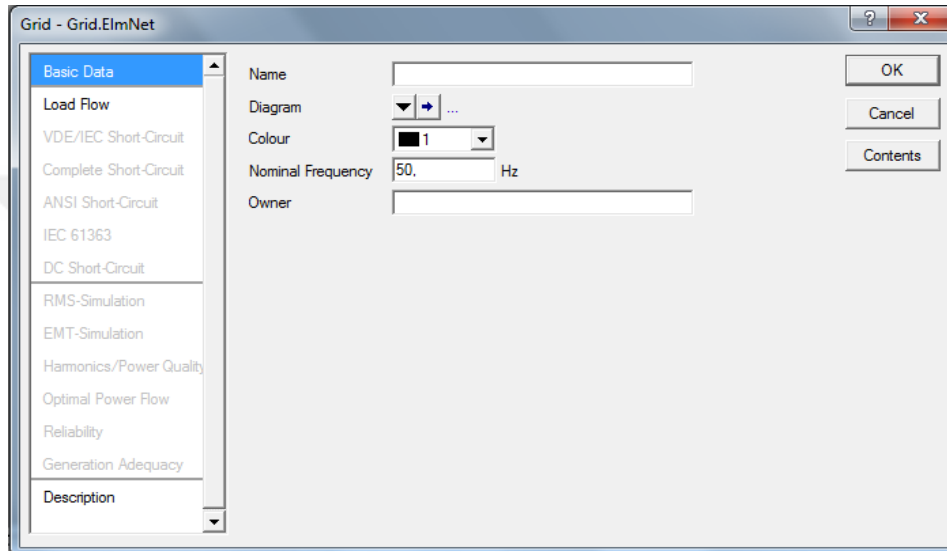
15. Gamit, P., Shah, N., Wani, U., Patel, P., Mali, U. and Chaudhari, A., Comparative analysis of HVDC and EHVAC, International Research Journal of Engineering and Technology, 2, 9 (2015) 2395-0056.
16. A1, P. and Tin, T., Design Implementation of 250kV HVDC Overhead Transmission System, International Journal of Scientific Engineering and Technology Research, 3, 15 (2014) 2319-8885.
17. Shire, T. W., VSC HVDC based network Reinforcement, M. Sc. Thesis, Delft University of Technology, 2009.
18. Du, C., The control of VSC-HVDC and its use for large industrial power systems, 2003.
19. Woodford, D. A., HVDC transmission, Manitoba HVDC Research Centre, (1998) 400-1619.
20. Deb, G., Ferranti Effect in Transmission Line, International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2, 4 (2012) 2088-8708.
21. Corbellini, U. and Pelacchi, P., Corona Losses in HVDC Bipolar Lines, IEEE Transactions on Power Delivery, 11, 3 (1996) 1475-1481.
22. IEEE Recommended Practice for Determination of Power Losses in High Voltage Direct-Current (HVDC) Converter Stations, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, 1158-1991, 1991.
23. <http://www.enerji.gov.tr/>, 14 Mayıs 2016.
24. Gönen, T., Elektrik Enerjisi İletim Sistemleri Mühendisliği Analizi ve Tasarımı, John Wiley and Sons, New York, 43-51, 1988.
25. TEİAŞ, Türkiye Ulusal Elektrik Ağındaki Havai Hatların Trafoların ve Generatörlerin Elektriki Karakteristiği, Sistem Araştırma ve Kontrol Müdürlüğü, Ankara, 2014.

6. EKLER

Ek 1.

Digsilent Power Factory'de Yeni Proje Oluşturma

Programa girdikten sonra File--New--Project ile Şekil Ek 1'de g6r6len pencere açılır ve burada oluşturulacak projenin ismi ve frekansı belirlenir.



Şekil Ek 1. Oluşturulan projenin adı ve frekansı

6ncelikle modellemede gerçek hat 6zerindeki elemanlar belirlenir. Bu tez çalışmasında baralar, iletim hatları, harici Őebekeler, reakt6rler ve konvert6rler modellenmiştir. Bu y6zden bunların dışındaki elemanların modellenmesine değinilmemiştir.

Ek 2.

Digsilent Power Factory'de Bara Modelleme

Programdaki '—' simgesi ile bara seçilir. Şekil Ek 2'de g6r6len pencere açılır ve burada baranın bilgileri girilir. Baranın ismi, gerilimi yazılarak sistem tipi seçilir.

The screenshot shows the 'Terminal - Grid\Kalkandere.ElmTerm *' window with the following details:

- Name:** Kalkandere
- Type:** (Dropdown menu)
- Zone:** (Dropdown menu)
- Area:** (Dropdown menu)
- Out of Service:**
- System Type:** AC
- Usage:** Busbar
- Phase Technology:** ABC
- Nominal Voltage:**
 - Line-Line: 380 kV
 - Line-Ground: 219,3931 kV
- Earthed:**

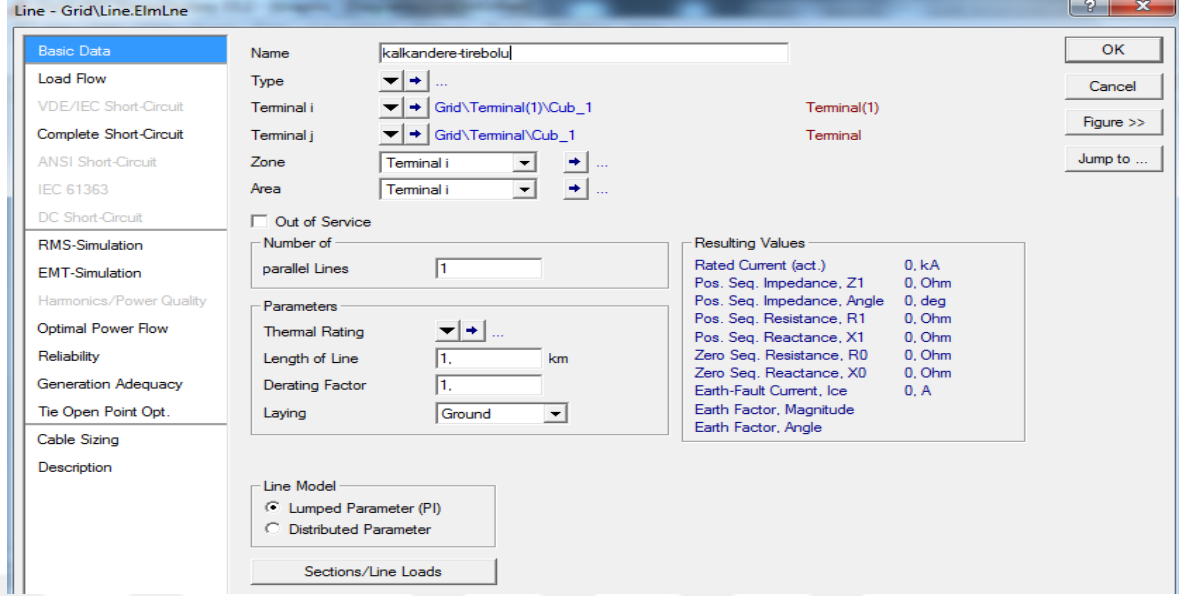
Şekil Ek 2. Bara bilgilerinin girilmesi

Baranın tipini belirlemek için ise ya yeni bir tip oluşturulur ya da programın kütüphanesine kayıtlı olan bir bara tipi seçilir. Yeni oluşturulan tip kütüphaneye eklenir. Böylece tekrar aynı tipte bir bara gerektiğinde kütüphaneden seçilerek kolayca kullanılan baranın tipi belirlenir. Bu modellenen her bir eleman için geçerlidir.

Ek 3.

Digsilent Power Factory'de İletim Hattı Modelleme

Programdaki 'T₁' simgesi ile hat seçilir. Şekil Ek 3'de görülen pencere açılır ve burada hattın uzunluğu, ismi gibi özellikleri belirlenir.



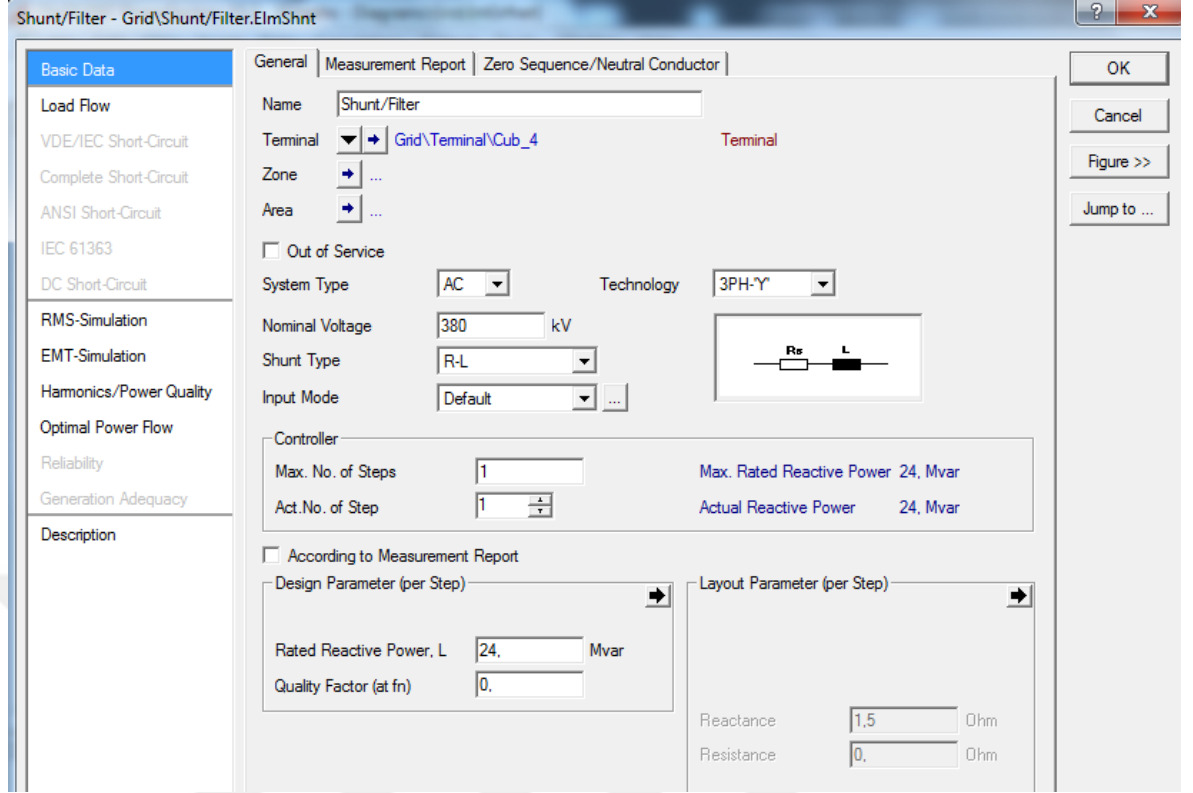
Şekil Ek 3. Hat Modelleme Penceresi

Daha sonra yeni hat tipi seçilerek burada hattın kesitine bağlı olarak değişen direnç-endüktans- kapasitans değerleri, hattın gerilimi ve akımı, iletkenin çeşidi, iletkenin malzemesi, nominal frekans değerleri belirlenir.

Ek 4.

Digsilent Power Factory'de Reaktör Modelleme

Programda ' Φ ' simgesi ile reaktör seçimi yapılır ve hat üzerine konumlandırılır. Şekil Ek 4'de görüldüğü gibi reaktöre ait gerilim, sistem tipi, reaktif güç değerleri girilir.




Şekil Ek 4. Reaktör Modelleme

Programda modellenen tüm reaktörler şönt olarak üzerinde buldukları iletim hatlarına bağlanmıştır.


Ek 5.

Digsilent Power Factory'de Konvertör Modelleme

Programda '  ' simgesi ile konvertör seçimi yapılır. Konvertörün kontrol karakteristiği, ateşlenme açısı değerleri, akımı, gerilimi girilir. Ayrıca konvertörün hangi mod da (doğrultucu/ invertör) çalışılacağı belirlenir. Konvertörün ne tabanlı çalışacağı da (tristör/ diyot) belirlenir.

Ek 6.

Digsilent Power Factory'de Harici Şebeke Modelleme

Programda '  ' simgesi ile harici şebeke seçimi yapılır. Daha sonra veriyolu tipi seçilerek, bu veriyolu tipine ait aktif güç, reaktif güç, gerilim genliği ve gerilim açısı bilgileri girilir.

ÖZGEÇMİŞ

Eda KARACA, 12.10.1989'da Erzurum'da doğdu. 2007'de Nevzat Karabağ Anadolu Öğretmen Lisesi'nden, 2012'de de Atatürk Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2012-2015 yılları arasında Erzincan Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2015 yılından bu yana Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak lisansüstü düzeyde çalışmalarını sürdürmektedir.

