

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ygda ile Enerji İletimi

Yüksek Lisans Tezi

Çetin Yüksekbaş

1987

7000 TC

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YGDA İLE ENERJİ İLETİMİ

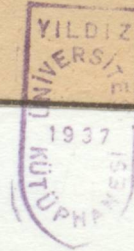
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

ELK.MÜH. ÇETİN YÜKSEKBAŞ

İSTANBUL-1987

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI

Kot : R 152
Alındığı Yer : Fen Bil. Ens. 54
Tarih : 7.12.1938
Fatura :
Fiatı : 7000 TL
Ayniyat No : 1/21
Kayıt No : 45739
UDC : 378.242
Ek : 621.3



YGDA İLE ENERJİ İLETİMİ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

ELEKTRİK MÜHENDİSİ ÇETİN YÜKSEKBAŞ



İ Ç İ N D E K İ L E R

Sayfa No

ÖNSÖZ

YABANCI DİLDE ÖZET

1. GİRİŞ

1.1. Genel	1
1.2. Çalışma Prensipleri	2
1.3. Tarihi Gelişme	3

2. DOĞRU VE ALTERNATİF AKIM SİSTEMLERİNİN ÇEŞİTLİ YÖNLERDEN KARŞILAŞTIRILMASI

2.1. Alternatif Akımın Sakıncaları	6
2.1.1. İletilebilecek en büyük güç sorunu	6
2.1.2. Kullanılabilecek en büyük gerilim	9
2.1.3. Stabilite sorunu	9
2.2. Alternatif Akımın Üstünlükleri	10
2.2.1. Kesme işlemi	10
2.2.2. Birim tesis masrafı açısından	10
2.2.3. Transformatörlerden yararlanma	10
2.2.4. Oturmuş bir sistem	10
2.3. Doğru Akımın Üstünlükleri	10
2.3.1. İletken malzemesi bakımından	11
2.3.2. Güç faktörü 1'e eşittir	12
2.3.3. İzolasyon açısından	13
2.3.4. İletken sayısının azlığı	13
2.3.5. Endüktans ve kapasitans zorluklarının olmaması	14
2.3.6. Korona kayıpları daha azdır	14
2.3.7. Skin efekt olayı açısından	15
2.3.8. Stabilite problemi yoktur	16
2.3.9. Büyük güçlü sistemler için geçerlidir.	17

	<u>Sayfa No</u>
2.3.10. Sarj akımları yoktur	17
2.3.11. Dielektrik histeriz kayıplar açısından	19
2.3.12. Dönüş iletkeni kullanılmayabilir.	19
2.3.13. Kısa devre kapasitesi ve gerilim düşümü açısından	20
2.3.14. Reaktif güç	21
2.3.15. Enerji akışının kontrol özellikleri açısından	21
2.3.16. Depolama özelliği vardır	22
2.3.17. Geçici olaylar açısından	23
2.3.18. İşletme açısından güvencelidir	23
2.4. Doğru Akımla İletimin Sakıncaları	24
2.4.1. Maliyet sorunu	24
2.4.2. Yeni bir sistemdir	24
2.4.3. Çevirici arızaları	25
2.4.4. Reaktif güç	25
2.4.5. Gerilimin değiştirilmesi	25
2.4.6. Kesme zorlukları vardır	25
2.4.7. Enterkonnekte bağlantılar açısından	25
2.4.8. Harmonik sorunları	26
2.4.9. Sağlık sorunları	26
2.5. Sonuç	26
2.5.1. Noktadan noktaya uzun mesafelere iletim	26
2.5.2. Yeraltı kabloları ile iletim	27
2.5.3. Farklı frekanslı şebekeler	27
2.5.4. Şehirleşme	27
2.5.5. Geçiş hakları	27
2.5.6. Asekron bağlantılar	27
3. D.A İLETİM SİSTEMİNE TOPLU BAKIŞ	
3.1. Doğru Akımda Kullanılan İletim Modelleri	28
3.1.1. Tek kutuplu düzen	29
3.1.2. Çift kutuplu düzen	29
3.1.3. Çok kutuplu düzen	29
3.2. Aşırı Gerilim Koruma	30
3.2.1. Genel	30

3.2.2. Parafudrlar	30
3.2.3. Topraklama teli	30
3.2.4. Hat koruma sistemleri	31
3.3. YGDA İletimde Kablolar	31
3.3.1. YGDA Kablo tipleri	31
3.3.2. Kablo izolasyonu	32
3.3.3. D.a kablo tasarımı	32
3.4. Toprak dönüşü	33
3.4.1. Genel	33
3.4.2. Toprak elektrodu	34
3.4.3. Deniz elektrodu	35
3.4.4. Elektrot hattı	36
3.4.5. Korozyon etkisi	36
3.5. Elemanlara Toplu Bakış	37
3.6. Çevirici İstasyonlar	39
3.6.1. Doğrultucular	39
3.6.2. Eviriciler	46
3.6.3. Bir d.a iletim hattının işleme	48
3.6.4. Dış karakteristikler	51
3.7. Örnek Problemler	52
4. ÇEVİRİCİLERDE KULLANILAN VALFLER	
4.1. Genel	55
4.2. Civa Buharlı Valfler	55
4.2.1. Anot akımı bölücü	57
4.2.2. Anot bobini	57
4.2.3. İzolasyon trafosu	58
4.3. Tristör valfler	58
4.3.1. Genel	58
4.3.2. Genel karakteristikler	58
4.3.3. Tristörün tetikleme olanakları	62
4.3.4. Tristörlerin seri ve paralel bağlanması	63
4.3.5. Tristör yardımcı elemanları	64
4.3.6. Günümüzde kullanılan valflerle ilgili bazı bilgiler	75

4.4. Tristör ve Civa Buharlı Valflerin Karşılaştırılması	79
5. DOĞRU AKIMLA İLETİMİ ZORLAŞTIRAN BAZI ETKENLER	
5.1. Harmonikler	83
5.1.1. Genel	83
5.1.2. Doğrultucudaki harmonik distorsiyon	86
5.1.3. Eviricideki harmonik distorsiyon	87
5.2. Korona Olayı	88
5.2.1. Genel	88
5.2.2. Alternatif akımda korona kayıpları	89
5.2.3. Doğru akımda korona kayıpları	89
5.2.4. Korona kayıplarının hesabı	95
5.3. YGDA Hava Hatlarında Görülen Radyo Parazitleri	96
5.3.1. Tek ve çok kutuplu d.a hatları	97
5.3.2. Çift kutuplu d.a hatları	98
5.3.3. Kötü hava şartlarında radyo parazitleri	99
5.4. Reaktif Güç	99
5.4.1. Senkron kompanzatör kullanma	100
5.4.2. Kondansatör kullanma	101
6. TERMİNAL TASARIMLARI	
6.1. Temel Devreler	102
6.1.1. Ceneratör bağlantıları	104
6.1.2. A.a sistemine bağlama	104
6.1.3. Reaktif güç kompanzasyonu	104
6.1.4. A.a filtreleri	104
6.1.5. Transformatörler	104
6.1.6. Çeviriciler	105
6.1.7. Doğru akım tarafındaki filtre ve süzme devreleri	105
6.1.8. Radyo parazitlerini bastıran düzenler	106
6.2. Aşırı Gerilime ve Aşırı Akıma Karşı Koruma	106
6.3. Izgara Kontrol Düzenleri	107
6.4. Yardımcı Güç	107
6.5. İzolasyon Seviyesi	109

	<u>Sayfa No</u>
6.6. Valf Muhafazaları	109
6.7. Çevirici İstasyon Tertibi	109
6.8. İstasyon Binasındaki Yerleştirme Sorunları	110
7. BİR ÇEVİRİCİNİN İŞLEMESİ VE MATEMATİKSEL BAĞINTILAR	
7.1. Bir Doğrultucu İstasyon için Genel Kabuller ve Bağıntılar	112
7.2. Bir Evirici İstasyon için Genel Kabuller ve Bağıntılar	115
7.3. Alternatif Akım Şebekesindeki Aktif ve Reaktif Güç	115
7.4. Alternatif Akım Şebekesinin Bir Çevirici Tarafından Yüklenmesi	116
7.5. Doğru Akımın Geçici Değişimi	117
7.6. Yükün Ayrılması Anındaki Geçici Gerilim Artışı	118
7.7. Maksimum Geçici Güç Artışı	119
7.8. Akım Sınırlaması	120
7.9. Geçici Maksimum Gücün Hesabına Ait Örnek	121
7.10. Doğru Akım Hat Kayıplarının Maksimum Güç Üzerine Etkisi	122
7.11. Hat Kayıplarının Gözönüne Alınmasıyla Yapılmış Bir Örnek	123
7.12. Bir Doğru Akım Şebekesinde Güç Transferi	124
8. YGDA HATLARININ İŞLETİLMESİ VE KONTROLU	
8.1. Yüksek Gerilim Doğru Akım İletim Sistemlerinin Genel İşleme Özellikleri	126
8.2. Çeviricilerin Statik Karakteristikleri	127
8.3. Alıcı ve Verici Terminaller Arasındaki İşbirliği	128
8.4. Kapalı Çevrim Akım Kontrolü	130
8.5. Komütasyon Farkının Kontrolü	132
8.6. Ana Kontrol	135
8.7. A.A Şebekelerinin Asekron ve Senkron Bağlantıları	137
8.8. A.A. Şebekeye Tekrar Paralel Bağlama ve Ana Devreden Ayırma	137

8.9. Çoklu Terminal Bağlantılarında Ayarlama	138
8.10.Halen İşletmede Olan Bazı Bağlantıların Ayarlama Prensipleri	141
8.10.1. Gotland bağlantısı	141
8.10.2. Fransa-İngiltere bağlantısı	142
9. ÇOKLU TERMİNALLER	
9.1. Bağlantı Şemaları	145
9.1.1. Toprak dönüşlü iki kutuplu iletim	145
9.1.2. Seri bağlı çeviricilerden oluşan çoklu terminaller	145
9.1.3. Paralel bağlı çeviricilerden oluşan çoklu terminaller	145
9.1.4. Seri ve paralel bağlı çeviricilerden oluşan çoklu terminallerin karşılaştırılması	147
9.2. Gücün Akış Yönünün Değiştirilmesi	148
9.3. İki Kutbu Ters Çevirme	148
9.4. YGDA Disjonktörler	149
9.5. Bir Çevirici İstasyonda Paralel Olarak Çalışan Çeviriciler	150
10.EKONOMİ VE VERİM	
10.1.Doğru Akım Hat Geriliminin Seçimi	152
10.2.Doğru Akım Hat Maliyetleri	152
10.3.Kablo Maliyetleri	154
10.4.Doğru Akım Çevirici Terminal Maliyetleri	154
10.5.Hat Kayıpları	155
10.6.İstasyon Kayıpları	155
11.İŞLETME, BAKIM, KULLANILABİLİRLİK	
11.1.İşletme	157
11.2.Bakım	157
11.3.Kullanılabilirlik	157

12. BİR D.A. MODELİN TANITILMASI

12.1. Genel Bakış	159
12.2. Modelin Tanıtılması	159
12.2.1. Kullanılan elemanlara toplu bakış	159
12.2.2. Çevirici ünite	161
12.2.3. Güç panosu	162
12.2.4. Kumanda panosu	162
12.2.5. Ölçme sistemleri ve deneme araçları	164
12.3. Sonuç	164

SONUÇ

EK

YARARLANILAN KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ

ÖNSÖZ

Dünyadaki enerji gereksinimi, nüfus artışı ve gelişen hayat standartlarının bir ürünüdür.

Bu nedenle enerji üretiminde yeni yollar ve yeni kaynaklar aranmaktadır. (Güneş enerjisi, atom enerjisi gibi..). Üretimde olduğu gibi iletimde de yeni çözüm yolları aranmaktadır.

İletim uzunluğu ve gücü arttıkça buna paralel bazı sorunlar meydana gelebilir.

Dünyada artan nüfus paralelinde kurulan yeni yerleşim alanlarına enerji iletmek gerekir. Bazı nedenlerden ötürü, her tüketici için bir santral kurulması olanaksızdır. Dünya'daki ülkelerin bireysel enerji üretimi bazı durumlarda yeterli olmayabilir, bu durumda birinden diğerine enerji iletimi gerekebilir. Termal üretim merkezleri için, yakıt fiyatlarının çok yükselmesi düşük üretim maliyetleri olan merkezlerden tüketicinin uzak olduğu yerlere iletimi güncel bir konu durumunda tutmaktadır. Enerji üretim ve iletiminde alternatif akımın kullanılmasına alışılmıştır.

Ancak uzun iletim hatları ile büyük güçlerin iletiminde son yıllarda yeni bir iletim şekli varlığını hissettirmektedir.

"Yüksek Gerilimli Doğru Akımla Enerji İletimi"

Bugün için tüm dünyada 50'den fazla yeni YGDA projeleri hazırlık durumundadır. Bunların çoğunluğunda hava hatları söz konusudur. Bu konunun giderek dünya enerji iletiminde önem kazanması sonucu gelecekte ülkemizde de kullanılması söz konusu olabilir. Bu amaçla bu çalışmada "Doğru Akım ile Enerji İletimi" ele alınarak incelenmiştir.

İncelenen bölümler daha çok enerji mühendisliği açısından ele alınmıştır.

Diploma tezi olarak bana bu konuyu veren, çalışmalarımda sürekli destek ve yardımcı olan Sayın Hocam Doç.Dr.Hüseyin ÇAKIR'a teşekkürü borç bilirim.

TÜRKÇE ÖZET

Günümüzde elektrik enerjisinin üretimi, taşınması ve dağıtımı genelde alternatif akımın kullanımı ile gerçekleştirilir. Alternatif akımın seçiminde, üretimin kolay olması ve özellikle gerilim seviyesinin trafolar ile kolaylıkla değiştirilmesi önemli rol oynar. Alternatif akımın disjonktörler ve ayırıcılar ile kolayca kesilebilmesi de önemlidir.

Doğru akım alternatif dalga şeklinin doğrultulması ile elde edilir. Gerilim seviyesinin değiştirilmesi iki çeviri işlemi ile alternatif akımın sıfırdan geçişi anında yapılabilir. Günümüzde doğru akımı kesebilecek özel disjonktörlerin imalatı gerçekleştirilmiştir.

Bu sebepten dolayı doğru akım uygulamaları, gerilim seviyesinin sık sık değiştirildiği ve gerekli olduğu üretim ve dağıtım için uygun değildir. Doğru akım, gerilimin uzak mesafeler boyunca sabit kaldığı taşıma hatlarında (yüksek gerilimli) kullanılabilir. Bu uygulama şekli, özellikle iki uç nokta arasında iletilen gücün yönünün değiştirilmesi ve kontrolünün çok hızlı yapılması gibi önemli avantajlara sahiptir.

YABANCI DİLDE ÖZET

A l'heure actuelle, la production, le transport et la distribution de l'énergie électrique se font généralement en courant alternatif. Les raisons de ce choix sont la relative simplicité de production de ce courant et surtout la facilité avec laquelle on peut passer d'une tension alternative à une autre à l'aide de transformateurs. Par ailleurs, ce courant peut être coupé aisément par des disjoncteurs ou interrupteurs.

Le courant continue ne se prête pas à des opérations aussi simples. Notamment, sa production nécessite un redressement des ondes de courant alternatif et, surtout, le changement de tension ne peut pratiquement se faire qu'en passant par l'intermédiaire du courant alternatif avec la double conversion que cela implique. Il apparaît aujourd'hui tout à fait possible d'interrompre un courant continue à l'aide de disjoncteurs particuliers.

Ainsi, le domaine d'applications du courant continue se limitera aux fonctions autres que la production ou la distribution d'énergie électrique, pour lesquelles les changements de tension sont indispensables et fréquent. De ce fait, le courant continue est surtout utilisé pour le transport d'énergie à haute tension ou cette tension est conservée pratiquement constante sur de grandes distances. Dans cette application, il offre des avantages indéniables, pour la plupart liés à la possibilité de contrôler en permanence et de modifier, de façon quasi instantanée, la puissance électrique échangée entre deux points.

1. GİRİŞ

1.1. Genel

Elektrik enerjisinin iletimine gerek görülen ilk yıllarda bu amaç için doğru akım kullanılmıştır. Ancak o yıllarda az miktarda enerjinin çok kısa mesafelere iletilmesi söz konusu olduğundan gerekli iletim gerilimlerini doğru akım generatörleri ile doğrudan elde etmek mümkündü.

Aydınlatma amaçlı tüketime yönelik ilk sistemin hizmete girişi 1882 yılında New York şehri Pearl Street bölgesinde oldu. 220/110 Volt üç iletkenli sistem bir doğru akım makinasından beslenmiştir.

Elektrik enerjisinin yararlarının anlaşılması zamanla daha geniş bölgeler için daha üst düzeyde enerji isteklerinin görülmesine neden olmuştur. Doğru akım makinalarında komütatör arklarından sakınmak için işletme gerilimlerinin küçük tutulması, bu ilk enerji sistemlerinde kayıpların yüksek olmasına neden olmuştur. Öte yandan 1890'larda endüksiyon makinaları ile transformatörlerin gelişme göstermesi generatörler, iletim hatları ve yükler için farklı düzeylerde gerilim kullanılması olanaklarını sağlamıştır. Böylece daha önce elektrik enerjisi verilmesi ekonomik görülmeyen yerlere yüksek gerilim ve düşük kayıplarla enerji iletimi olanak içine girmiştir. Sonuçta alternatif akım tercih edilen bir sistem olarak gelişmiş ve doğru akım başlangıçta bir gelişme göstermemiştir.

Günümüzde elektrik enerjisinin elde edilip iletilmesi ve dağıtılması alternatif akımla yapılmakta olup bunun çeşitli üstünlükleri arasından şu iki nedeni gösterebiliriz :

a) Gerilimin ekonomik çalışma bakımından lüzumlu çeşitli değerlere çok kolay ve hemen hemen kayıpsız bir şekilde yükseltilip alçaltılması,

b) Devrenin kesilmesi akımın sıfırdan geçişi anında meydana geldiğinden, iletim sistemleri üzerinde şalt istasyonlarının kurulabilmesi ve bu suretle enterkonnekte bağlantının mümkün olması.

Elektrik enerjisini santrallerde elde etme ve şebekede dağıtma bakımından, alternatif akımın doğru akımdan üstün olduğu bir gerçektir.

Ancak günümüzde çok büyük güçlerin üretilmesi ve bu güçlerin çok

uzun mesafelere iletilmesi gereği doğmuştur.

Yapılan araştırmalar sonucu 750 MW'ın üzerindeki güçlerin, 500 km'lik mesafelere iletilmesinde doğru akımın alternatif akımdan daha ekonomik olduğu anlaşılmaktadır. (Doğru akımla alternatif akımın çeşitli yönlerden karşılaştırılması sonraki bölüme bırakılmıştır). Tabii bu konu, çevirici istasyonların maliyeti ile yakından ilgilidir.

Uzak yerleşim bölgelerine büyük güçlerin taşınması gerekli olduğunda, doğru akım iletim hatları ağırlıklarını koymaya başlamışlardır.

Uzun mesafelere iletim ile büyük güç gerekçelerini biraz açalım :

- Ham enerji kaynakları her zaman tüketici merkezlerin yakınlarında yer almaz. Bu takdirde üretilen gücün uzun mesafeler sonunda tüketiciye ulaştırılması gerekir.

Çevre sorunları, hava kirliliği, kalabalık yerleşim bölgelerindeki can güvenliği, ham enerjinin nakli veya o noktada ham enerji kaynağının varlığı (su santralleri). Bölgenin jeolojik, sosyal ve kültürel yapısı, askeri ve stratejik açıdan planlama, sosyal ve güncel etkiler gibi... faktörlerden ötürü uzun iletim hatları ile çalışma gereği doğar. Çünkü yukarıda saydığımız faktörler, üretim merkezinin tüketici merkezin hemen yakınına tesisini engellemektedir.

- Ayrıca günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi sonucu çok az kayıpla, mükemmel izolasyonlu, otomatik olarak ayar ve kumanda edilebilen generatör ve transformatörler imal edilebilmektedir. Böylelikle MVA hatta GVA mertebesindeki elektrik gücünün üretim ve iletimi mümkün olmaktadır.

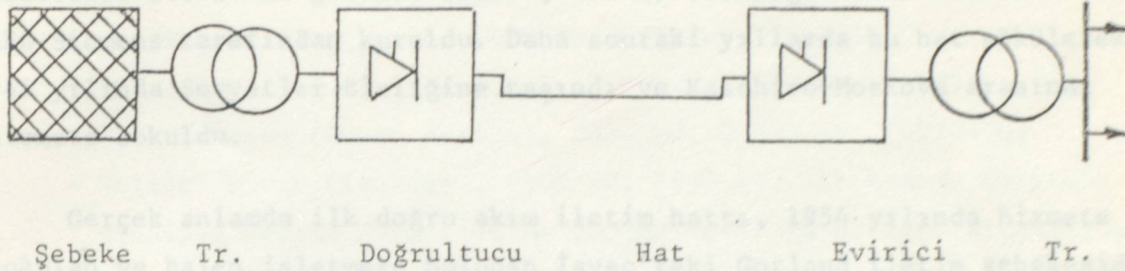
1.2. Çalışma Prensipleri

Elektrik enerjisinin iletiminde ilk günden beri doğru akım havai hat ve kablolarının, üç fazlı alternatif akım iletim hatlarına göre daha ucuz olduğu bilinmekteydi.

Ancak üretim kolaylığı ve alçak gerilimle dağıtım alternatif akımın üstün yanlarındandır. Doğru akımla iletim en basit olarak şu şekilde gerçekleştirilir.

Üretilen büyük değerdeki alternatif elektrik gücü çeviricilerle doğru akıma dönüştürüldükten sonra, uzun mesafe boyunca iletilir ve tüketici merkezin başında tekrar alternatif akıma dönüştürülür.

Şekil-1.1'de basit tek-kutuplu bağlantı şeması verilmiştir.



Şekil-1.1 Tek-kutuplu bağlantı şeması.

Doğru akımla iletim konusundaki tek güçlük çevirme işleminde görülüyordu. 1950 yıllarının ortalarına doğru büyük güçlü civa buharlı valflerin yapılması ile önemli bir adım atıldı. 1970'li yıllardan sonra büyük süratle gelişen yarı iletken teknolojisi ile de sistemin dünya düzeyinde yaygınlaşması mümkün olmuştur.

1.3. Tarihi Gelişimi

Yıllar boyunca yüksek gerilim ile doğru akım iletiminde kullanılacak çeviricilerin geliştirilmesi için büyük çaba harcanmıştır. Bu konuda yapılan ilk çalışma 1889 yılında İsviçre'li bir mühendis olan Rene Thury tarafından gerçekleştirildi. Bu sistemde doğru akım kısmında seri bağlı motor ve generatörler yer almaktaydı. 1906 yılında 360 km'lik Moutiers-Lyon hattında bu sistemle 200 MW'lık bir bağlantı kuruldu. 1890 ile 1937 yılları arasında Avrupa'da bu sistem kullanılmıştır. 1920 ile 1930 yılları arasında İngiltere ve İsveç'te mekanik anahtarlı çeviriciler üzerinde deneme çalışmaları yürütüldü.

General Elektrik Şirketi 1930'lu yıllarda A.B.D.'de çevirici yapımına başladı ve 1935 yılında maksimum gücü 3000 KW olan (200 A, 15 KV) bir iletim hattı ile bu konuda öncülük yapmıştır.

Aynı yıllarda bir İsveç firması olan Brown Boveri önemli araştırmalar sonucunda 1939 yılında Wettingen ile Zurih arasında (20 km) 500 ile

1000 KW ve 20 KV'luk bir doğru akım iletim hattını hizmete soktu. Bu hattın daha fazla güce ihtiyaç duyması sebebiyle 1945'te bu hat 35 KV ve 133 A verebilecek şekilde büyütüldü.

2.Dünya Savaşı yıllarında Elbe ve Berlin arasında (120 km) yeraltı kabloları ile 30 KW gücünde (200 V, 150 A) bir doğru akım iletim hattı AEG-Siemens tarafından kuruldu. Daha sonraki yıllarda bu hat sökülerek 1945 yılında Sovyetler Birliğine taşındı ve Kaschiro-Moskova arasında hizmete sokuldu.

Gerçek anlamda ilk doğru akım iletim hattı, 1954 yılında hizmete sokulan ve halen işletmeye bulunan İsveç'teki Gotland iletim şebekesidir. Bu projeyi değişik ülkelerde pek çok örneği izledi.

1960'ların sonlarına doğru, yarı iletken teknolojisinin yüksek gerilimle doğru akım iletimi içinde yer aldığını görüyoruz.

İlk tiristörlü çeviriciler 1970 yılında Gotland'da kullanılmaya başlandı, daha önce deneme çalışması için Japonya'daki Sakuma şebekesinde kullanıldı. Bunu izleyen beş yıl boyunca on tane doğru akım iletim şebekesi ya hizmete sokuldu ya da planlandı.

Bu şebekelerin toplam iletim kapasitesi 14 000 MW'ı bulmaktadır. 1990'a kadar bu değerin 40 000 MW'a ulaşacağı hesaplanmaktadır.

Son 25 yılda kurulan doğru akım iletim sistemlerinin yapım işini aşağıdaki ülke veya kuruluşlar şu oranlarda gerçekleştirmişlerdir :

AEG/BBC/Siemens	% 18
GE	% 6.5
GEC	% 10.5
Sovyetler Birliği	% 8
Japonya	% 2
ASEA	% 55

Son olarak, dünyada yer alan doğru akım enerji iletim sistemlerini tanıtalım :

- İngiltere-Fransa, 160 MW, ± 100 kV, (1961)
- Donbass-Volgograd (S.S.C.B.), 720 MW, ±400 kV, (1964)
- Yeni Zelanda, 600 MW, ± 250 kV, (1965)
- Konti-Skan (İsveç), 250 MW, 250 kV, (1965)

- Japonya, 300 MW, 2x125 kV, (1965)
- Sardunya-İtalya, 200 MW, 200 kV, (1967)
- Gotland (İsveç), 20 MW, 150 kV (1965), 30 MW (1970)
- Dallas-Los Angeles (A.B.D.), 1440 MW, ± 400 kV, (1970)
- Kenttles-Winnipeg (Kanada), 810 MW, ± 150 kV ve -300 kV, 909 km (Çift paralel hat), (1972)
- Kingsnorth (İngiltere), 640 MW, ± 266 kV, (1975),
- Skagerrak (Norveç-Danimarka), 500 MW, ± 250 kV, (1977)
- Cabora-Bassa (Güney Afrika), 2000 MW, ± 533 kV, (1977-78)
- Nelson River (Kanada), 1800 MW, ± 500 kV, ilk kademe Manitoba-Winnipeg 960 km Ekim 1978'de 900 MW ve ± 250 kV ile çalışmaya başladı. Geri kalan 900 MW'ın ikinci ve üçüncü kademeler halinde iki veya üç yıl içinde devreye girmesi beklenmektedir.
- Inga-Shaba (Zaire), 560 MW, ± 500 kV, (1980).

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.1)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.2)$$

2. DOĞRU VE ALTERNATİF AKIM SİSTEMLERİNİN ÇEŞİTLİ YÖNLERDEN KARŞILAŞTIRILMASI

2.1. Alternatif Akımın Sakıncaları

Başlangıçta enerji üretiminde ve kısa mesafeli dağıtımında alternatif akımın kusursuz olduğunu belirtmiştik.

Ancak uzun mesafelere büyük güçlerin iletilmesi halinde birtakım problemler ortaya çıkar. Bunların en önemli olanlarını şöyle sıralayabiliriz.

2.1.1. İletilebilecek en büyük güç sorunu

Uzun iletim hatları incelendiğinde, gerilimin ve akımın hat boyunca değiştikleri ve herhangi bir noktadaki gerilim ve akımın bir dalga hareketi ile meydana gelmiş gibi düşünülebileceği görülür. İletim hatlarında herhangi bir noktadaki gerilim ve akımın değerleri, dolayısıyla giden ve geri dönen akım ve gerilim dalgalarının değerleri, hat sonuna bağlanmış empedansa göre değişir. İletim hattının empedansı $\underline{Z} = R + jx$ ve admitansı $\underline{Y} = G + jB \cong jB$ ise $\underline{Z}_0$ büyüklüğü "Karakteristik veya Natural empedans" adını alır.

$$\underline{Z}_0 = \sqrt{\frac{\underline{Z}}{\underline{Y}}} \quad (2.1)$$

Uzun iletim hatlarında direnç, endüktansın yanında ihmal edilebilir. 0 takdirde

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \quad (2.2)$$

ifadesi elde edilir.

Burada L_0 (H/km) ve C_0 (F/km) olmak üzere birim boy başına hattın selfi ve kapasitesidir.

İdeal bir iletim hattında herhangi bir gerilim düşümü olmamalı ve güç iletimli sıfır derecelik faz açısı ile gerçekleştirilmelidir. Karakteristik empedansa eşit bir yük ile yüklenen iletim hatlarında durum böyledir. Direnç ile yüklü üç fazlı bir sistemdeki güç

$$P = 3 \left(\frac{U}{\sqrt{3}} \right)^2 \cdot \frac{1}{R} \quad (2.3)$$

ifadesi ile verilir.

Burada U, fazlararası gerilimdir.

$R = Z_0$ olduğu düşünülürse, iletilen güç

$$P_m = \frac{U^2}{Z_0}$$

bulunur. Yukarıdaki güce iletim hattının "Naturel Gücü" adı verilir.

Z_0 , sabit olmamakla birlikte ortalama olarak 375 ohm alınabilir.

Buna göre çeşitli hat gerilimlerine göre hesaplanmış naturel güçler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo-2.1

<u>Faz arası gerilim (kV)</u>	<u>Naturel güç (MW)</u>
15	0.6
30	2.4
60	9.6
100	27
150	60
200	110
300	240
400	430

Bu tabloya göre alternatif akımla büyük çapta enerji iletiminin gelecekteki durumu pek parlak değildir. Gerçekten, 200 kV'luk bir gerilimde naturel güç 110 MW'dır. Paralel devre kullanılırsa bu güç 220 MW'a çıkar. Ancak dünyadaki her geçen gün artan enerji gereksinimi düşünülecek olursa 220 MW o kadar büyük bir değer değildir. Yüksek gerilim şebekelerinde her zaman naturel güç taşınmaz. İhtiyaca göre bu güç ayarlanabilir.

Denklem 2.4'e göre naturel gücü artırmak için ya U gerilimi artırılır ya da Z_0 natural empedansı azaltılır.

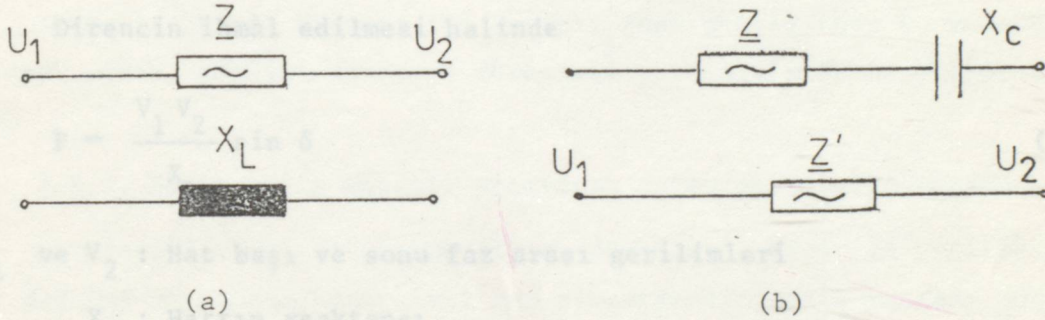
Korona olayı nedeniyle gerilimi bir noktaya kadar artırabiliriz. Bundan başka uzun iletim hatlarında gerilimin artırılması bazı sorunlar çıkarabilir. (veya iki iletken arasında) için verilebilecek maksimum gerilim, alternatif skimkinden $\sqrt{2}$ kat daha büyük olabilir. Alternatif

Kurulu sistemde gerilim bir değerden sonra sabit kalır, ancak tüketici talebi üzerine iletim mesafesi artabilir.

Bu takdirde iletim mesafesi ile ters orantılı olan güç azalır.

Gerilimin artırılmadığı bazı durumlarda, Z_0 empedansını düşürerek naturel gücü artırmak bir çözüm olabilir.

Empedansı değiştirirken hat izolasyonunu değiştirmeye gerek yoktur. Hattın endüktansını küçültmek zor olduğundan, kapasiteyi büyüterek empedans küçültülür (Şekil-2.1)



Şekil-2.1 Direncin ihmal edilmesi halinde hattın empedansları

- a) Kapasitesiz
- b) Kapasiteli

$\underline{Z} = R + jX_L \cong jX_L$ ise $\underline{Z}' = j(X_L - X_C)$ olur. $X' < X$ dolayısıyla $\underline{Z}' < \underline{Z}$ olacağı açıktır.

Yukarıda, hatların belli noktalarına kapasitör yerleştirilmesi ile hat kapasitesinin yükseltilmesi gösterilmiştir.

Bir başka yöntem de demet iletken kullanmaktır. Normal iletken yerine demet iletken kullanıldığında toplam kesit sabit kalmakla birlikte iletken çapı artacağından iletkenin kapasitesi de artar.

2.1.2. Kullanılacak en büyük gerilim

Sinüsoidal alternatif akımda dalganın tepe değeri efektif değerinin $\sqrt{2}$ katıdır. Doğru akım ile karşılaştırılırken bu nokta dikkate alınmalıdır. O halde aynı iletken aralığında ve aynı izolasyonda, doğru akımda toprağa göre (veya iki iletken arasında) izin verilebilecek maksimum gerilim, alternatif akıminkinden $\sqrt{2}$ kat daha büyük olabilir. Alternatif akım sisteminde, bilindiği gibi, selfin etkisi dirençten çok fazladır. Bu bakımdan oluşan gerilim düşümünün büyük bölümü hattın endüktif reaktansından ötürü açığa çıkar. Halbuki doğru akım sisteminde hattın endüktansı sözkonusu değildir.

2.1.3. Stabilite sorunu

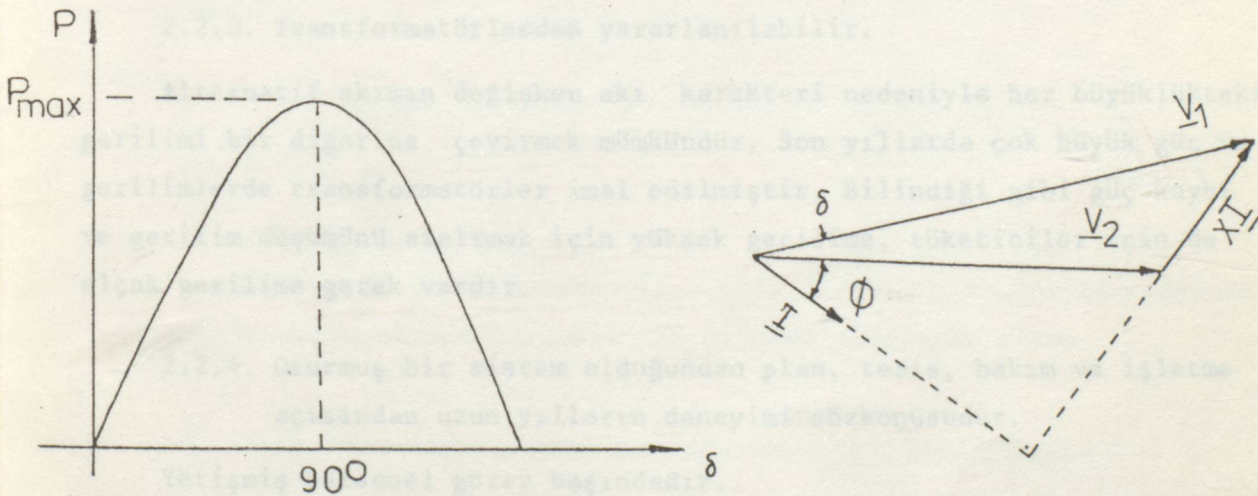
Stabilite en genelde, bir sistemin sürekli yük altında senkronluğunu koruma ve bir yük salınımının hemen ardından senkronluğunu tekrar kazanma yeteneğidir.

Dirençin ihmal edilmesi halinde

$$P = \frac{V_1 V_2}{X_L} \sin \delta \quad (2.5)$$

V_1 ve V_2 : Hat başı ve sonu faz arası gerilimleri

X_L : Hattın reaktansı



Şekil-2.2 a) $P = f(\delta)$ eğrisi

b) Hat başı ve sonu fazörleri.

Gerilim düşümü ihmal edilecek olursa

$$P = \frac{V^2}{X_L} \sin \delta \quad (2.6)$$

Sistemin kararlı halde iletebileceği en büyük güç $\sin \delta = 1$ iken söz konusudur.

Ancak pratikteki geçici rejimi de gözönüne almak gerekeceğinden δ daha küçük tutulur.

Görüldüğü gibi P gücü V, X ve δ ya bağlıdır.

V ve δ sabit tutulursa, çok uzun hatlar için hattın reaktansı artacağından iletilecek güçte düşme olur.

2.2. Alternatif Akımın Üstünlükleri

2.2.1. Kesme işlemi kolaydır.

Akım bir periyot boyunca iki kez sıfırdan geçtiğinden bu anlarda devreyi açmak, çeşitli döndürme düzenleri yardımıyla da büyük sorun çıkarmaz.

2.2.2. Birim tesis masrafı açısından doğru akıma göre ucuzdur.

Alternatif akım sisteminde filtre düzenleri, çevirici valfleri, bunların soğutma ve kumanda düzenleri yer almadığından tesis masrafı düşüktür.

2.2.3. Transformatörlerden yararlanılabilir.

Alternatif akımın değişken akı karakteri nedeniyle her büyüklükteki gerilimi bir diğerine çevirmek mümkündür. Son yıllarda çok büyük güç ve gerilimlerde transformatörler imal edilmiştir. Bilindiği gibi güç kaybı ve gerilim düşümünü azaltmak için yüksek gerilime, tüketiciler için de alçak gerilime gerek vardır.

2.2.4. Oturmuş bir sistem olduğundan plan, tesis, bakım ve işletme açısından uzun yılların deneyimi söz konusudur.

Yetişmiş personel görev başındadır.

2.3. Doğru Akımın Üstünlükleri

2.3.1. İletken malzemesi bakımından

Doğru akım sisteminde enerji iletimi, aynı şartlar altında alternatif akıma göre daha az malzeme kullanımı ile gerçekleştirilebilir. Efektif faz gerilimi $U_m / \sqrt{2}$ olduğuna göre, iletilen toplam güç $\sqrt{3} / \sqrt{2} \cdot U_m I_a \cdot \cos \phi$ ye eşittir.

Doğru akımdaki güce eşit olma koşulundan

$$\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} U_m I_a \cdot \cos \phi = U_m I \quad (2.7)$$

Buradan da

$$I_a = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3} \cos \phi} I \quad (2.8)$$

yazılabilir. O halde alternatif akımdaki iletim kayıpları

$$3R_a I_a^2 = \frac{2 R_a I^2}{\cos^2 \phi} \quad (2.9)$$

olup, doğru akımdaki kayıpların eşit olması şartından,

$$\frac{2 R_a I^2}{\cos^2 \phi} = 2 R I^2 \quad (2.10)$$

veya

$$\frac{R_a}{R} = \cos^2 \phi \quad (2.11)$$

Buna göre, üç fazlı alternatif akımda lüzumlu olan iletken malzeme miktarının doğru akımda kullanılacak malzeme miktarına oranı

$$\frac{3}{2} \frac{1}{\cos^2 \phi} = \frac{1.5}{\cos^2 \phi} \quad \text{bağıntısı ile verilebilir.}$$

Burada ;

U_m : Faz arası alternatif gerilimin tepe değeri,

I_a : Alternatif akımın efektif değeri,

R_a : Alternatif akım direnci,

R : Doğru akım direnci,

I : Doğru akım, ortalama değer.

şeklinde dir.

Bilindiği gibi çok fazlı alternatif akım sistemleri içinde en çok kullanılanı 3-fazlı sistemdir. Diğer çok fazlı sistemler için de benzer karşılaştırmayı yapmak mümkündür. Aynı prensip geçerli olduğundan Tablo-2.2'de bunlar bir liste halinde verilmiştir.

Tablo-2.2

Sistem	Gerekli malzeme miktarı
Doğru akım	% 100
Tek faz	$\frac{2}{\cos^2 \phi}$
İki faz-dört iletken	$\frac{2}{\cos^2 \phi}$
İki faz-üç iletken	$\frac{2.91}{\cos^2 \phi}$
Üç faz-üç iletken	$\frac{1.5}{\cos^2 \phi}$

2.3.2. Güç faktörü bire eşittir.

Bilindiği gibi güç faktörü, akım ve gerilim fazörleri (dalgaları) arasındaki faz farkıdır. Alternatif akım sistemlerinde çeşitli önlemler alınmak suretiyle güç faktörü bire yaklaştırılır, ancak çoğu kez bir yapılamaz.

Güç faktörünü artırmak için kompanzasyon tesislerine gerek vardır, bu da beraberinde ek işletme, tesis ve bakım sorunları getirir. Halbuki doğru akım sistemlerinde güç faktörü kavramı yoktur. Üretilen gücün tamamı aktif güç olmaktadır. Alternatif akımda ise $P = S \cdot \cos \phi$ olduğundan güç faktörünün birden küçük olması durumunda aktif güç azalır.

2.3.3. İzolasyondan yararlanma

Hava hatlarında ve yeraltı kablolarında herhangi bir değişiklik yapılmaksızın, yaklaşık iki kat daha yüksek gerilim kullanılabilir.

Yapılan araştırmalar sonucu, doğru akım hatlarının delinme dayanımı açısından alternatif akım hatlarına göre iki kat güçlü olduğu görülmüştür.

Ark atlaması bakımından da belli bir aralıkta ark atlaması için gerekli olan gerilim, doğru akımda alternatif akımın iki katı kadardır. Bu gibi deneyler, alternatif akımla belli bir maksimum gerilimle çalışmak üzere kurulan iletim hatlarının, iletken aralıklarında ve izolasyonunda herhangi bir değişiklik yapmadan, bu gerilimin iki katındaki bir doğru gerilimde çalışmak üzere kullanılabileceğini göstermektedir.

Belli kalınlıktaki izolasyon doğru akımda alternatif akıma göre daha büyük bir gerilime dayanabildiğinden, aynı çalışma geriliminde doğru akımdaki izolasyon kalınlığı oldukça daha incedir. Dolayısı ile, aynı çalışma gerilimleri için doğru akım kabloları daha ucuz ve besittir.

Başka bir deyimle, aynı kablo ile doğru akımda daha büyük bir enerji iletilebilir. Örneğin 132 kV'luk alternatif akımı iletmek üzere kurulan tek devreli kablolar, doğru akımda faz arası 400 kV'da kullanılabilir.

2.3.4. İletken sayısının azlığı

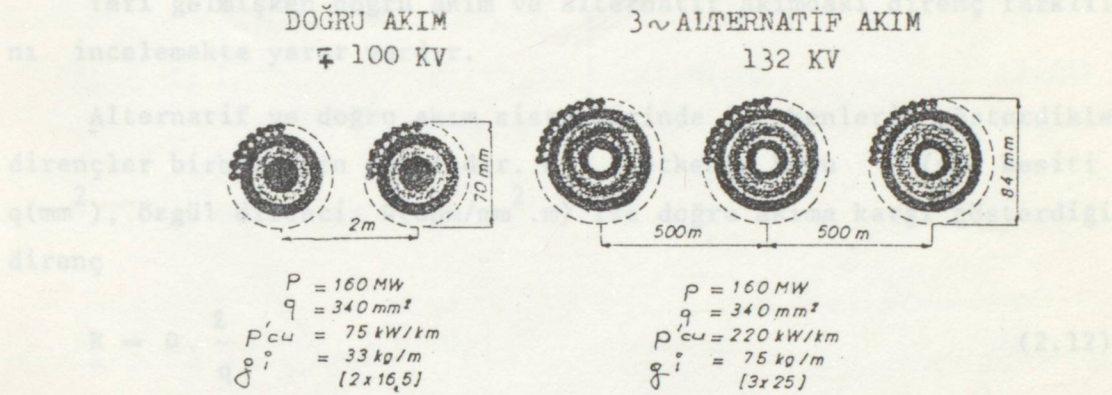
İletkenlerin büyük güç taşıyabilme yeteneğinden dolayı iletken sayısı alternatif akım sistemine göre daha azdır (Bilindiği gibi büyük güç ileten alternatif akım iletim sistemleri iki veya daha fazla devreden oluşur). Böylelikle direk hacmi ve izolatör sayısında azalma olacağından teknik ve ekonomik üstünlük doğar.

Doğru akım iletimde alternatif iletimdeki gibi 3 iletken ile değil 2 iletken ile iletim yapılır ve bu da pylonların ağırlığının % 65 azal-

masını sağlar ve bu da pilon maliyetinin % 30 daha ucuz olmasını sağlar.

Direkt hacmi derken; travers sayısı, travers boyu, dikme ve köşegenlerin profilleri, direğin yüksekliği, temel çevresi gibi gerek maliyeti gerekse mekanik dayanımı etkileyen faktörleri anlatmak istedik.

Teknik açıdan bakıldığında alternatif akım kablolarının reaktif güç probleminden dolayı aşırı boyutlandırılması doğru akımda yoktur.



Şekil-2.3 Doğru ve alternatif akım kablolarının karşılaştırılması
(Fr-İng hattı)

2.3.5. Endüktans ve kapasitans zorluklarının olmaması

Doğru akım sistemlerinde endüktans ve kapasitans zorlukları ve rezonans nedeni ile anormal gerilim yükselmeleri ve benzer olaylar mevcut değildir. Alternatif akımla çalışan uzun iletim hatlarında hat sonundaki yükün aniden kaldırılması halinde hat sonunda gerilimin tehlikeli bir şekilde yükselmesi söz konusudur.

"Ferranti Olayı" denilen ve şarj akımının hattın endüktansında oluşturduğu elektromotor kuvveti ile ilgili bulunan bu olay, doğru akımla çalışan iletim sistemlerinde meydana gelmez.

2.3.6. Korono kayıpları daha azdır.

Korona kayıpları gerilimin maksimum değerine bağlıdır. Bu nedenle, aynı gerilimde ve aynı iletken çapında alternatif sisteme göre daha az korona kaybı oluşur.

Veya, doğru akımla yapılacak enerji iletiminde aynı korona kayıpla-

larında daha küçük iletken çaplarının kullanılması mümkündür.

Alternatif akımda korona kayıplarını azaltmak için demet veya halka iletken kullanma zorunluluğu varken, doğru akımda normal kablolarla iletim yapılabilir.

2.3.7. Skin Effect (Deri Olayı)

Doğru akım hatlarında deri olayı sözkonusu değildir.

Yeri gelmişken doğru akım ve alternatif akımdaki direnç farklılığını incelemekte yarar vardır.

Alternatif ve doğru akım sistemlerinde iletkenlerin gösterdikleri dirençler birbirinden farklıdır. Bir iletkenin boyu ℓ (m), kesiti q (mm²), özgül direnci ρ (ohm/mm².m) ise doğru akıma karşı gösterdiği direnç

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{q} \quad (2.12)$$

ℓ : Kullanılacak iletkenin boyu olup, hava hatlarının iletkenleri damarlı olacağından ve damarlar spiralleştirildiğinden akımın damarlar boyunca izleyeceği yol, fiziksel elektriki uzunluktan biraz fazla olacağından bu boy artışını 1.02 çarpanı ile gösterelim.

q : İletkenin kesitidir. Tek metalli iletkenlerde gerçek kesit, iki metalli iletkenlerde ise alüminyum kesitidir. (mm²)

Denklem (2.12) doğru akım direncini vermektedir. Şimdi de alternatif akımda direnç kavramını ele alalım.

Alternatif akımda deri olayı nedeniyle, iletkenin her noktasından aynı şiddette akım akamaz, yani akım yoğunluğu sabit değildir.

İletkenin merkezi civarında akım yoğunluğu az iken, dış yüzeylere doğru artar. Frekansın artması ile dirençteki deri olayı daha da etkin olur. Deri olayı ile ilgili pek çok bağıntı vardır, ancak pratik sonuç veren Arnold bağıntısını verelim.

Doğru akım direnci R_d (ohm/cm),

Alternatif akım direncini R_a (ohm/cm) ile gösterelim.

Şimdi bir x faktörü tanımlayalım :

$$x = \frac{4}{\sqrt{R_d \cdot 10^9}} \quad (2.13)$$

x : 0 ile 3 arasında ise

$$R_a = R_d \left[\frac{(1 + \frac{x^4}{48})^{1/2} + 1}{2} \right] \quad (\text{ohm/cm}) \quad (2.14)$$

x : 3 den büyük ise

$$R_a = R_d \left[\left(\frac{x}{2\sqrt{2}} + 0.26 \right) \right] \quad (\text{ohm/cm}) \quad (2.15)$$

İletkenin alternatif akım direnci, parantez içindeki değer kadar fazla olacaktır.

Direncin artması gerilim düşümü ve güç kaybı açısından istenmeyen bir durumdur.

Hava hatları ve yeraltı kabloları (km) uzunluk için tanımlandıkları için, R_a direncini (ohm/km) birimine çevirmek istersek 10^5 ile çarpabiliriz.

2.3.8. Stabilite problemleri yoktur.

Doğru akım sisteminde stabilite sorunu yoktur. Alternatif akımda stabilite sınırını artırmak için çeşitli yollar vardır, ancak bunu gerçekleştirmek için ek donanıma gerek vardır.

Makinaların senkronluklarını koruyabilmeleri ve dolayısıyla stabilitenin korunabilmesi için gerilim olabildiğince sabit kalmalıdır. Bu amaçla değişen yük altında sistemin gerilimini gayet çabuk ve hassas bir şekilde ayarlayan otomatik gerilim regülatörleri kullanılır.

Kısa devreler gerilimin düşmesine ve dolayısıyla stabilitenin kaybolmasına neden olabilir. Bu nedenle açma zamanları çok kısa olan ve seçici

bir şekilde çalışan otomatik şalter düzeni kullanılır.

- Pratikte hatta seri kapasitör bağlayarak hat reaktansını azaltmak pek tercih edilmez. Bunun yerine self bobinleri kullanılır. Ayrıca senkron generatör yerine asenkron generatörler kullanılır, ancak bu yöntem kayma sorunu nedeniyle pahalı ve karmaşıktır.

- Çok gözlü ve karmaşık devrelerde kısa devre kapasitesi de artmış demektir. Bu tür sistemlerde stabilitenin hızla sağlanması için devreyi basite indirmek gerekebilir.

O halde, alternatif akım sisteminde stabilite yukarıdaki ek donanım veya ek önlemler sayesinde sağlanmaktadır. Bu noktada çalışmaya ekonomik, teknik ve işletme sorunları girmektedir. Halbuki doğru akımla iletimde stabilite sorunu olmadığından bu gibi durumlarla karşılaşılmaz.

Alternatif akımın stabilitesini duyarlı bir şekilde düzeltme doğru akım kullanımı ile mümkün olmaktadır. Bu terminal istasyonlarına bitişik ve paralel bağlı olarak çalışan bir doğru akım iletim bağlantısının eklenmesi ile mümkün olmaktadır (Eel nehri projesi). İletilen gücün son derece hızlı ayarı, Kanada bölgesel şebeke frekansını kararlı hale getirerek istasyon yakınlarındaki bazı alternatif akım hatlarının iletim kapasitelerinin yaklaşık olarak % 30 artmasına neden olmuştur.

2.3.9. Büyük güçlü sistemlerin birbirine bağlantısında doğru akımın önemli bir üstünlüğü vardır. Böyle bir sistemde frekanslardan birinin çok az daha farklı olması halinde sistem salınım yapar ve güç akışında önemli problemler doğar. Halbuki araya konacak bir doğru akım iletim hattı, iki sistem arasında esnek davranacak ve farklı frekansın doğuracağı sonuçlar ortadan kalkacaktır. Bu doğru akım bağlantısı şebekenin frekansının da ayarlanmasına yardımcı olur.

2.3.10 Şarj akımları yoktur.

Bazı iletim şebekelerinde havai hat çekilmesinin bazı sakıncaları olabilir. Örneğin, bölgenin sürekli kötü hava şartları altında olması nedeniyle sürekli korona kayıpları ve büyük rüzgar veya buz yükü, iletim güzergahı boyunca hava hattı çekilmesine engel olabilecek birtakım jeolojik ve bölgesel etkenler, büyük deşarjlar nedeniyle sürekli haberleşme

parazitleri, güvenlik gerekçeleri vs...

Bu takdirde iletimin yeraltı kablosu ile yapılması gerekir. Ancak alternatif akımda görülen şarj akımları nedeniyle yeraltı kablosu kullanma olanağı sınırlanmaktadır.

İletken ile toprak arasında yalıtkan bir tabaka bulunduğundan arada bir kapasite oluşur. Toprak kapasitesi için

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.16)$$

yazılabilir. Burada

Q : İletkendeki elektrik yükü (C)

V : Faz ile toprak arasındaki gerilim (V)

C : Toprak kapasitesi (F)

İletkenden toprağa akacak şarj akımı ise

$$I_{\text{şarj}} = C \omega V \quad (2.17)$$

şeklindedir. Bu akım her noktada sabit değildir.

Ayrıca ısınma da önemli bir sorun olmaktadır. Büyük güçlerin iletiminde izolasyon seviyesinin çok iyi olması gerekir.

Doğru akımla yeraltı kablosu üzerinden iletim yaparken kazancımızın en önemli yanı, toprak seviyesinden itibaren iletkeni daha küçük bir derinliğe döşeme olanağının bulunmasıdır. Bu konuda doğru ve alternatif akım kabloları için bir örnek verelim. 275 kV - 1935 mm² lik 6 adet alternatif akım kablosu iki devre halinde çekildiğinde toplam iletim gücü 1520 MVA olmaktadır. Bu halde iletkenler topraktan itibaren 5.2 m derinliğe döşenmiştir.

± 500 kV'luk iki doğru akım kablosunun kapasitesi 1600 MW olup, 0.68 m derinliğe döşenmiştir.

Her iki sistemin döşendiği toprak yüzeyleri aynı özellikleri taşımakta ve özgül toprak direnci 120^o C cm/W alınmaktadır.

2.3.11. Dielektrik histerezis kayıpları yoktur.

Alternatif akım sistemlerinde dielektrik histerezis kayıpları vardır. Bu sistemler için kablo iletiminde katı izolasyon malzemeleri kullanılır. Katı yalıtkan maddelerde dipol ve histerezis kayıpları önemli bir yer tutarlar. Dipol kaybı madde içersindeki dipollerin elektrik alanı doğrultusuna yönelmeleri sırasında moleküllerin birbirine sürtünmelerinden ileri gelir. Bu kayıp büyük ölçüde maddenin dielektrik sabitesine ve gerilim frekansına bağlıdır. Dielektrik histerezis kayıpları ise, katı yalıtkan maddenin dielektrik sabitleri ve iletkenlikleri farklı olan parçacıklardan oluşmasından ötürü açığa çıkar.

Bir yalıtkan maddenin dielektrik sabitleri ϵ_1 ve ϵ_2 , özgül iletkenliklerini ρ_1 ve ρ_2 olan iki tabakadan oluştuğunu düşünelim.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \quad (2.18)$$

$$j_1 = \epsilon_1 E_1, \quad j_2 = \epsilon_2 E_2 \quad (2.19)$$

iki tabakanın akım yoğunluklarının aynı olabilmesi için

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$$

olmalıdır.

Aksi takdirde tabakalardan birindeki akım yoğunluğu diğerinden büyük olacağından sınır yüzeyde yük birikir.

Bu yükler ancak zamanla dengelenir. Dolayısıyla dielektrik histerezis kaybı meydana gelir. Doğru akımla iletimde böyle bir kayıp oluşması söz konusu değildir. Böylece daha fazla güç iletilebilir.

2.3.12. Dönüş iletkeni olarak toprak veya denizden yararlanılabilir.

Doğru akımda toprak veya denizin dönüş iletkeni olarak kullanılması mümkündür. Böylece iletken adedinden tasarruf ve bu sebeple kayıpların tek bir hatta meydana gelmesi ve iletken malzemesinin azalması ile ekonomi yapılmış olur. Çift iletken yerine tek iletken kullanılması, aynı

akım değeri için $\frac{U}{2}$ yerine U gerilimi kullanılması, izolasyon açısından ekonomik olmayacaktır. Terminal istasyonlarında toprak dönüşünün kullanılmaması transformatör sarımlarının ve izolatörlerin yalıtılmasını zorunlu kılar.

Hat geriliminin 2 katına çıkarılması ($\frac{U}{2}$ yerine U gerilimi kullanılması hali) halinde teknolojik açıdan bazı sınır değerlerin aşılmaması lazımdır. Fakat bu yine de 2 iletken kullanmaktan daha ucuzdur.

Güç iletim hatlarından birinin arızalanması halinde bile, daha düşük bir güçle, bağlantının iletme devam etmesi (garantili iletim) çift kutuplu iletimin avantajıdır. Bu şekilde bir iletim, Sardinya-İtalya bağlantısında olduğu gibi, sürekli bir toprak dönüşü var iken iletimin paralel bağlı 2 hattan oluşması şeklinde de kullanılabilir.

2.3.13. Kısa devre kapasitesi ve gerilim düşümü daha azdır.

Doğru akım hatlarında iletim hattının reaktansı olmadığından gerilim düşümü sadece dirençte oluşur. Böylece gerilim düşümünü kompanze etmek gerekmeyecektir.

Tüketici ve üreticilerdeki hızlı gelişmeler yüksek gerilim iletim şebekelerinin kısa devre güçlerinin artmasına neden olmuştur. Alternatif şebekelerde kısa devre gücünün artırılması şebekenin ağ şebekeye dönüştürülmesi ile mümkün olmaktadır. ve şebekenin eski postalarında önemli değişikliklere ve yeni postaların imalatında kullanılacak malzemelerin aşırı boyutlandırılması gerektirir. Bunu sınırlamak için 3 yöntem hâlen kullanılmaktadır.

- Gerilim seviyesinin bir üst değere alınması (400 den 800 kV'a alınması gibi). Bu yöntem özellikle uzun mesafelerde ihtiyaç duyulabilecek büyük güçler dikkate alınmadan yapılırsa çok masraflı olabilir.

- Mevcut alternatif sistemin dalbudak veya radyal şebeke haline getirilmesi: Bu yöntem koruma açısından aşırı maliyetler gerektirir.

- Doğru akım iletiminin kullanılması: Maliyetinin yüksek olmasına rağmen yukardaki diğer iki yöntemle de rekabet edebilecek bir yöntemdir. Bu sistemde ağ şebekeler genelde alt şebekeler şeklinde daha da bölünürler, bunlar asekron şebekeler de olabilir, ve bu alt şebekeler doğru akım iletim hatları ile birleştirirler.

Büyük kısa devre akımlarının olumsuz etkilerini şöyle sıralayabiliriz :

- Kesicilerin arızalanmalarına neden olabilirler,
- Büyük güçlü ve ek söndürme düzenli kesiciler gerekebilir,
- Pahalı elektronik koruma düzenleri gerekir,
- Kısa devre anında büyük gerilim düşümleri oluşur,
- Kısa devre akımları iletişim şebekelerine olumsuz etki yapar,
- Kısa devre anında sistem salınıma uğrar ve dengesiz yükler oluşur. Stabilite tehlikeye girer.

- Kısa devre anında iletkenler, baralar ve kısaca tüm bağlantı elemanları termik ve dinamik zorlanmalara maruz kalırlar.

Kısa devre mertebesinin küçük tutulması halinde sistem; tesis, işletme ve bakım açısından daha elverişli olur.

İşte bu yönden de doğru akım üstündür.

2.3.14. Güç faktörünün bir olduğunu daha önce belirtmiştik. O halde reaktif güç oluşmayacaktır (Çeviricilerin reaktif güç gereksinimi bunun dışındadır).

2.3.15. Enerji akışının kontrol özellikleri :

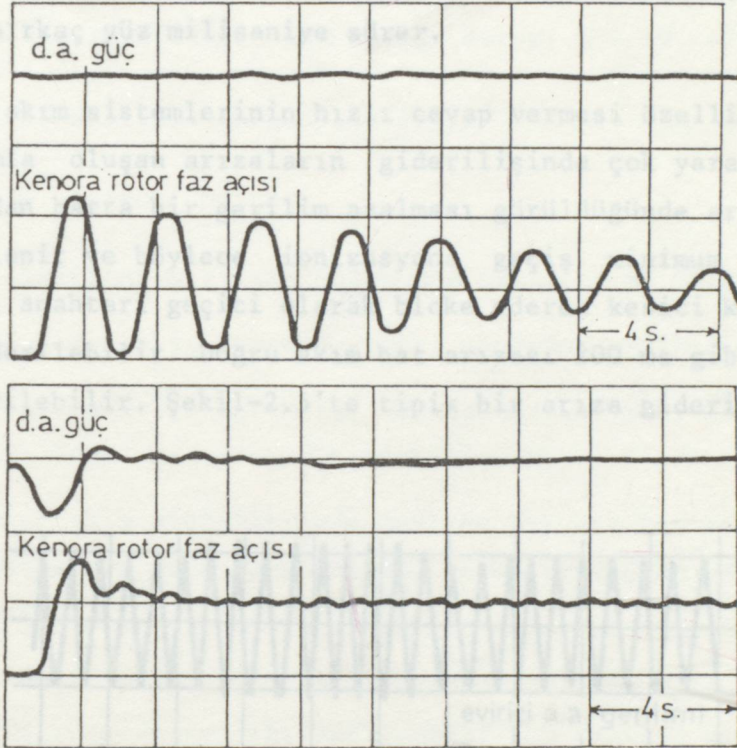
Alternatif akım sistemlerinde enerji akışının ayarlanması makinaların hareketlerine bağlıdır ve işin içine bazı mekanik zaman sabitleri de girmektedir. Bütün alternatif akım bağlantılarında şebekeler arasında elastiki bir elektromekanik kuplajın gerçekleşmesi enterkonnekte bağlı her 2 şebekede de frekans ayar düzenlerine ihtiyaç gösterir.

Doğru akım iletimde enterkonnekte bağlı hattaki enerji akışı 2 uç noktadaki gerilim farkına bağlıdır ve ızgara kumandası ile gerilim ayarlaması çok hızlıdır.

İzole bir üretim merkezinden beslenen bir doğru akım bağlantısı için frekans değişimine göre enerji modülasyonu, normal olarak büyük bir alternatif akım sisteminin sağlayacağı sönüm etkisini sağlar. Bu tip kontrol (Nelson River) mekanik ayar düzenlerinde aşınma ve eskimelerin önemli derecede azaltmaktadır.

Büyük alternatif akım sistemlerindeki düzensizlikler generatör faz açısında tipik olarak 1 Hz'lik salınımlar oluşturmaktadır. Doğru akım sistemleri enerji modülasyon sinyalleri ile donatılabilir ve böylece rotor salınımları sönümlendirilebilir. Doğru akım sisteminin hızlı cevap vermesi önemli bir sönüm etkisi meydana getirir.

Şekil-2.4'de böyle bir sönüm, Nelson River sisteminde paralel üretimin kesilmesini örnek olarak etkisini göstermektedir.



Şekil-2.4 Nelson River'dan Saskatchewan'a, ana paralel bağlantının kaybından sonra alternatif akım sisteminin yüksek gerilim doğru akım bağlantı ile etkileri

- a) Doğru akım sönüm kontrolü olmaksızın
- b) Doğru akım sönüm kontrolü ile

2.3.16. Doğru akımın depolanma özelliği vardır.

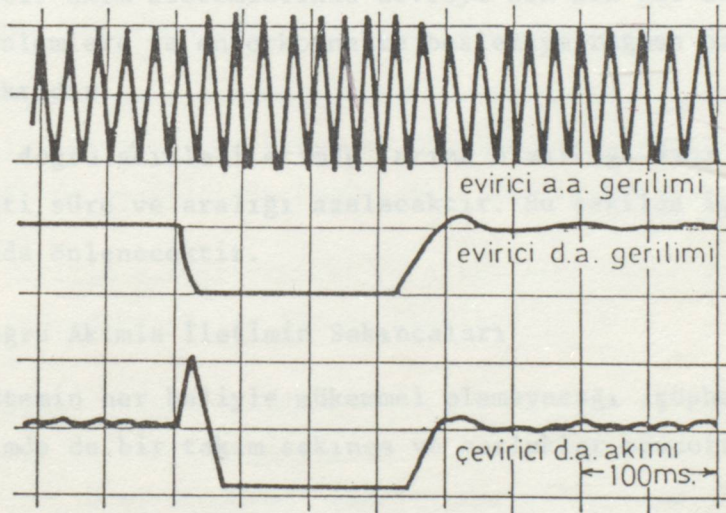
Doğru akım akülerde depo edilebilir.

Santrallerin iç ihtiyaç gücünde ve enerjinin ani kesintisi halinde önemli merkezlerin beslenmesinde kullanılabilir.

2.3.17 Geçici olaylar açısından

Doğru akım sistemlerinde arıza sonucu, etkilerinin geçiş süresi çok hızlı olmaktadır. Bütün eviriciler komütasyon yönünden alternatif akım sistemine bağımlı olduğundan eviri uçlarındaki gerilimde büyük değişikliklere neden olan sistem arızaları ile komütasyonda bozularak enerji iletimi aksar. Bununla beraber alternatif akım da gerilimin tekrar oluşumu ile doğru akım enerji akışının % 70'i bir kaç alternatif akım peryodunda arıza öncesi düzeyine erişir. Tam çalışma düzeyine geliş ise birkaç yüz milisaniye sürer.

Doğru akım sistemlerinin hızlı cevap vermesi özellikle de hatlarında yıldırım ile oluşan arızaların giderilişinde çok yararlıdır. Çevirici tarafından hatta bir gerilim azalması görüldüğünde arızaya enerji iletimi önlenir ve böylece ionizasyona geçiş minimum düzeyde tutulur. Hat arızası anahtarı geçici olarak bloke ederek kesici kullanmaksızın tamamen giderilebilir. Doğru akım hat arızası 200 ms gibi kısa bir zamanda giderilebilir. Şekil-2.5'te tipik bir arıza giderilişi görülmektedir.



Şekil-2.5 Doğru akım hattında yıldırım ile oluşan atlamaların çeviricideki elektronik kontrol ile giderilişi.

2.3.18. İşletme açısından güvencelidir.

Günümüzde artan enerji gereksinimi, bir bakıma teknolojinin gelişmesi ve üretimin hayati değer taşımasının sonucudur.

Herhangi bir şekilde enerjinin kesilmesi halinde üretimde büyük açık doğabilir.

Bir endüstri işletmesinde iletilemeyen enerjinin maliyeti, iletilen enerjinin m katı olabilir. Üretilen ürünün önem ve değeri doğrultusunda m değeri, 1 ile 100 arasında değişebilir. Enerjinin iletilememesi durumunda iletimin durması bu farka yol açar.

m faktörü, işletmenin toplam üretim değerinin bunun için kullanılan elektrik enerjisinin maliyetine oranıdır. Enerji yokluğunda bir gün çalışmayan 1 MW'lık tüketicinin yol açtığı zarar, $m = 10$ alınarak

$$K = 10(TL/kWh) \cdot 10 \cdot 24(h/gün) \cdot 10^3(kW)$$

$$K = 24 \cdot 10^6 TL/gün \text{ bulunur.}$$

Burada iletilen enerjinin işletmeye maliyeti 10 TL/kWh alınmıştır.

Bu basit hesapla işletmenin zararı gözönüne serilmektedir.

Enerjinin kesintiye uğraması, bakım, onarım, yeni bir merkezin üretime sokulması veya arıza sonucu olabilir.

Alternatif akım sistemlerinde devreye sık sık hat sokulur ve çıkarılır. Tüm önlemlere ve enterkonnekte beslemeye rağmen bazen enerjide kesilme olmaktadır.

Halbuki doğru akımla iletimde arıza olasılığı daha az olduğundan enerji kesinti süre ve aralığı azalacaktır. Bu şekilde işletmenin zararı da bir noktada önlenecektir.

2.4. Doğru Akımla İletimin Sakıncaları

Bir sistemin her haliyle mükemmel olamayacağı şüphesizdir. Doğru akımla iletimde de bir takım sakınca ve zorluklar mevcuttur. Bunları inceleyelim :

2.4.1. Maliyet (birim tesis masrafı) sorunu

Doğru akımı alternatif akıma çeviren evirici, alternatif akımı doğru akıma çeviren doğrultucu istasyonlara gerek vardır. Gerçi son yıllarda gelişen yarı iletken ve güç elektroniği sanayii sayesinde bu sistemlerin maliyet tutarı oldukça azalmıştır, ancak gene de günümüzde bir hayli pahalıya mal olmaktadır.

2.4.2. Yıllardır kurulmuş sistem olan alternatif akım konusunda işletme, bakım ve onarım bakımından deneyimli ve bilgili personel mevcuttur. Nispeten yeni bir sistem olan doğru akımda personelin yeniden eğitilmesi veya personelin başka elemanlarla takviye edilmesi gerekebilir.

2.4.3. Çevirici sistemlerde oluşabilecek bir arıza tüm iletimi felce uğratabilir.

2.4.4. Çeviriciler için reaktif güç gerekir. Bu gücü karşılamak için ek tesise gerek vardır. Bu bakımdan gerek hat sonu reaktif yükünün ve gerekse eviricilerin çekmekte olduğu reaktif gücün karşılanması bakımından, hat sonunda oldukça büyük güçlerde senkron kompanzatlara gerek vardır.

Örneğin hat sonu yükünün kW başına gerek gösterdiği reaktif güç 0.5 kVAR iken, eviriciler için de ayrıca 0.5,...,0.8 kVAR'a ihtiyaç vardır.

Eviriciler için gerekli gücün iletilen toplam gücün % 50,..., % 75'i olduğu düşünülürse, gerçekten büyük kompanzasyon tesisleri gerekir.

Uzun iletim hatlarında reaktif güç açısından doğru ve alternatif akım sistemleri arasında pek büyük bir fark olmayabilir.

Ancak doğru akım sisteminin gerektirdiği reaktif güç değeri alternatif akım sistemindeki gibi hat uzunluğuna bağlı olmadığından, kısa iletim hatlarında reaktif güç temini daha önemli bir sorundur.

2.4.5. Gerilim değiştirilmesi yalnızca alternatif akım tarafında transformatörler ile yapılabilir.

2.4.6. Doğru akımda, dalga bir peryot boyunca alternatif akımda olduğu gibi iki kez sıfırdan geçmediğinden devre kesicileri için çok büyük güçlükler doğar. Özel söndürme düzenli kesiciler veya çevirici valflere uygun kumanda yardımıyla devre açılabilir.

2.4.7. Doğru akım kesicilerinin mahzurlu çalışma özelliğinden ötürü doğru akımla enerji iletimi daha çok iki nokta arasında gerçekleştirilir. Bu da enterkonneksiyon olanağını ortadan kaldırır. Ancak çevirici istasyonların aralarında seri ve paralel bağlantısı sonucu çok yönlü bağlantılar olabilmektedir.

2.4.8. Çeviricilerde oluşan harmonikler nedeniyle dalga şekilleri idealden ayrılır (Distorsiyon). Burada sinüsoidal bileşenleri süzmek, sadece doğru bileşeni geçirmek gerekir. Harmonikleri süzmek için filtre düzenlerinden yararlanılır. Yüksek gerilimler için bu filtrelerin yalıtılması zordur. Harmoniklerin tam anlamıyla süzülememesi sonucu ek kayıplar ve haberleşme şebekelerinde parazitler meydana gelir.

2.4.9. Doğru akım hatlarının yaratabileceği düşünülen bazı sağlık sorunları. YGDA hatları civarında elektrik alan şiddetleri benzer YGAA hatları civarındakilerden daha büyüktür. Örneğin 500 kV alternatif akım hatlarının altında toprak düzeyinde alan şiddeti 9 kV/mm iken bu 500 kV doğru akım hatlarının altında 30 kV/mm olmaktadır.

Diğer bir nokta da YGDA hatları civarında havaiyon konsantrasyonunun fazla olmasıdır. İletim gerilimleri mertebesinde gerilim uygulanan hatlar civarında elektrik alan şiddeti havanın delinme geriliminden daha yüksektir ve bu hat civarında iyonizasyona neden olur. Alternatif akım hatlarında bu sorun değildir, çünkü periyodun farklı yarılarında alan ters olduğundan iyonlar uzaklaşmaz. Halbuki doğru akımda oluşan iyonlar uzaklaşabilir. YGDA hatlarında iyonların % 80'i hatların ters yüklü (+) olması nedeniyle birbirlerini nötrleştirdiği belirlenmiştir. Geri kalanları rüzgarla uzaklaşmaktadır. Bu uzaklaşmanın bir mil civarında olduğu görülmüştür. Yağmur ve rutubet de iyonlaşmayı arttırmaktadır. Bununla beraber zararlı etkileri görülmemiştir. Buna rağmen tartışmalar ve YGDA hat inşasına çevre sakinleri tarafından itirazlar olmaktadır.

2.5. Sonuç

Doğru akımla enerji iletiminin her alanda alternatif akımla boy ölçüşmesi olanaksızdır. İki sistem daha çok birbirini tamamlayacak niteliktedir.

Doğru akımın tercih edilebileceği yerleri şu şekilde sıralayabiliriz:

2.5.1. Hava hatları ile çok büyük enerjilerin bir noktadan uzak mesafedeki bir başka noktaya iletilmesi

Bu halde doğru akımla enerjinin iletimi alternatif akıma göre daha basit ve ekonomik olacak, yapılan uzun vadedeki tasarruf ek çevirici istasyonların tesis masrafını karşılayacaktır.

2.5.2. Hava hatları ile enerji iletiminin pratik olmadığı hallerde veya alternatif akım kabloları ile enerji iletildiği zaman ara noktalarda reaktif kompanzasyon gereken hallerde uzun mesafelere enerji iletilmesi

Örneğin alternatif akımla mümkün olmayan denizaltından enerji iletimi doğru akımla gerçekleştirilir.

2.5.3. Birbirinden ayrı kontrol edilen alternatif akım iletim sistemleri arasında bağlantı sağlanması.

Örneğin frekansları değişik iki enerji sistemi bir doğru akım sistemi aracılığıyla birleştirilebilir.

Veya mevcut alternatif akım sistemine paralel bir doğru akım sistemi çekilerek tüm sistemin stabilite sınırı artırılabilir.

2.5.4. Şehirleşme bölgelerinde kamuoyu etkisi ile yeraltı kablolarının uygulamasının daha yoğun olması nedeniyle doğru akım tercih edilebilir.

2.5.5. Doğru akım ile havai hat iletiminde hat genişliğinin çok az olması geçiş hakları açısından daha az para ödenmesini getirir. Örnek olarak Tokyo'da geçiş hakları için ödenen paranın bu hatların maliyetlerinin 2 katı tuttuğunu belirtmek yeterlidir.

2.5.6. Komşu ve asekson durumlu sistemler ancak doğru akım ile ekonomik ve güvenilir şekilde bağlantılı hale getirilir.

3. DOĞRU AKIM İLETİM SİSTEMİNE TOPLU BAKIŞ

3.1. Doğru Akımda Kullanılan İletim Modelleri

Güç iletim tekniklerinden 3 fazlı sistemin gücün üretimi, dağıtımı ve kısa-orta uzaklıklara iletimi açısından çok büyük avantajları vardır. Doğru gerilim değeri alternatif gerilimin tepe değerine eşit iken doğru akım iletiminin verimi tek fazlı alternatif sistemin 2 ve 3 fazlı alternatif sistemin 1.5 katıdır.

Şekil 3.1'de bu konuda kullanılan sistemler gösterilmiştir.

Neden bu kadar değişik modele gerek olduğu düşünülebilir. Bu bir bakıma, gelişen tüketici gereksinimi ve artan güvenceli çalışma gereğinin bir sonucudur. Sistem ne kadar basit olursa işletme, tesis ve maliyet sorunları o derece az olur, buna karşılık güvenli çalışma niteliği kaybolabilir.

Örneğin çift iletkenli bir sistemde hat veya çeviricilerin herhangi birinde oluşan bir arıza sonucu iletim çıkmaza girebilir. Ancak tesis masrafı bu sistem için azdır. Toprak dönüşlü sistemlerde iletimin yapıldığı güzergahın toprağının çok iyi iletken olması gerekir. Güzergah boyunca taban yapısı mümkün olduğu kadar aynı özellikleri taşımalıdır. Deniz altından kablo çekilmesi halinde ikinci bir dönüş çekilmez. Bunun iki sebebi vardır : Birincisi tesis masrafından ve güç kayıplarından kaçınmaktır. İkincisi ise dönüş hattının eş potansiyel alanlar oluşturup deniz canlılarını, denizaltı haberleşmesini, sonar ve radar aygıtlarını, yön belirleyici aletleri ve pusulaları olumsuz yönde etkilemesidir.

Bazı durumlarda dönüş yolu için de iletken çekilebilir. Bunun yararı, hatlardan birinde oluşabilecek bir arıza sonunda dönüş iletkenini faz gibi kullanabilmektir. Ancak dönüş için ayrı iletken kullanılması ek tesis (iletken, direk hacmi, izolator sayısı) masrafı ve güç kaybını beraberinde getirir.

Doğru akım iletiminde toprak dönüşü kullanılır ise her bir iletken bu toprak dönüşü ile ayrı bir elektrik devresi oluşturacak şekilde ayrı

ayrı izole edilirler. Bu önemli temel prensibe göre temel devre düzenleri şunlardır.

3.1.1. Tek Kutuplu Düzen

Şekilde de görüldüğü gibi sadece 1 tane kutup ve sürekli kullanılan 1 toprak dönüşü iletkeninden meydana gelmiştir.

Tek kutuplu iletim nispeten düşük nominal güçlü sistemlerde, esasen kablo ile iletimde kullanılır.

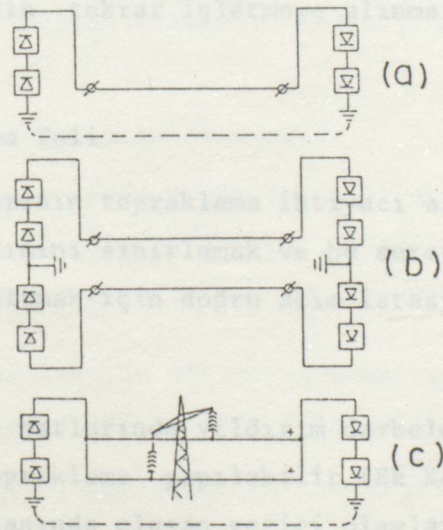
3.1.2. Çift Kutuplu Düzen

Havai hat direklerinin dizaynında mekanik açıdan en uygun olan sistem birbirinden yalıtılmış 2 iletken taşımaktır. Çift kutuplu iletimde toprak dönüş iletkeni gerekli değildir. Mamafiy, hazırda tutma kapasitesini yükseltmek amacı ile kullanılabilir.

3.1.3. Çok Kutuplu Düzen

Çift kutuplu direk dizaynı çok kutuplu iletimde aynı polaritedeki kutuplar için de kullanılabilir. Bundan amaç korono kayıpları azaltmaktır ve bu sistem tek kutuplu iletimin havai hatları uygulanmış modelidir.

2 tek kutuplu devre kullanıldığından ve her direğin izolator zincirleri ayrı polaritede 2 ayrı iletken taşıdığından çok geniş bir havai iletim sistemi düşünülmelidir.



Şekil-3.1 a) Tek kutuplu Doğru akım iletim hattı

b) Çift " " " " "

c) Çok " " " " "

3.2. Aşırı Gerilim Koruma

3.2.1. Genel

Alternatif akım sistemlerinde ve doğru akım hatlarındaki çeviriciler aşırı gerilimlere karşı parafudrlar ile korunurlar. Devre tasarımı, çeviricilerin kendilerinde de, aşırı gerilimleri sınırlayan parafudrlara bağlıdır.

3.2.2. Doğru Akım Hatlarında Kullanılan Parafudrlar

Günümüzde işletmelerin büyük bir kısmında aşırı gerilim koruması alternatif akım işletmelerinde kullanılan parafudrlar ile yapılmaktadır. Doğru akım çevirici donanımlarında kullanılan parafudrların dizayn kriteri alternatif akım sisteminden farklıdır. Doğru akım parafudrları endüktif devreler için uygundur ve desarjdan dolayı meydana gelen osilasyonlara nispeten dayanabilirler. Bazı durumlarda sıfır geçiş devrelerinin yardımı olmaksızın kullanılabilirler. Doğru akım parafudrları açıklıklara dağılan deşarj enerjilerini korurlar ve yayılan dalgaları temizleme kabiliyetleri yüksektir. Piyasada kullanılanlar akım kontrollü olarak çalışırlar. Koruma karakteristiklerinin uzun süre dayanıklı olması yalnızca lineer olmayan dirençler arasındaki gerilime bağlıdır.

Tetikleme esnasında parafudrların tahrip olmaması için özel bir donanım ile çevirici istasyonun çok kısa sürede bloke olması sağlanır (<5 ms). Çeviricilerin tekrar işletmeye alınmaları 0.5-1s zaman zarfında gerçekleşir.

3.2.3. Topraklama Teli

Doğru akım hatlarının topraklama ihtiyacı alternatif akıma göre daha azdır. Çünkü arıza akımını sınırlamak ve bu suretle izolatörlerin hasara uğraması riskini azaltmak için doğru akım istasyonlarında zaten koruma sistemleri mevcuttur.

Doğru akım havai hatlarında yıldırım darbelerinin iletken kutuplara etki etmemesi için topraklama yapılabilir (Ek Korona kayıplarına neden olur). Bu kutuplar arasında oluşan geçici olayların etkisini azalttığı gibi aynı zamanda toplam topraklama direncini de düşürür. Bu hat koruma

sistemleri açısından önemlidir.

Doğru akım havai hatlarında istasyon koruması yıldırım etkisi sonucu meydana gelen geçici aşırı gerilimlere karşı hattın uç noktalarına kadar her 3 veya 5 km de bir topraklanır.(Hat sonu ve hat başı koruması)

3.2.4. Hat Koruma Sistemleri

İzolatörlerin zarar görmemesi için arıza akımlarının ve sürelerinin azaltılması gereklidir. Bu yüzden akım kontrollü sistemlerin karakteristikleri çok hızlı olmalı (20-40 ms) ve arıza akımlarını sınırlayarak nominal değere dönmelidir. Bu tip bir koruma sistemi izolatör civarındaki iyonizasyonu sınırlar ve hattın tekrar enerjilenmesi olayını kolaylaştırır.

Hat arızası açısından topraklama direncinin hattın bir çok noktasında 100 civarında bir değerle sınırlandırılması gerekir. Direk topraklaması zayıf ise bir kaç direk enterkonnekte olarak bağlanmalıdır. Bu enterkonnekte bağlantı hattın uzunluğunu sınırladığından bütün hat boyunca topraklama yapmaya olanak sağlar.

3.3. YGDA İletiminde Kablolar

3.3.1. YGDA Kablo Tipleri

Alternatif akım sistemlerinde kullanılan kablolar doğru akım iletim sistemlerinde de kullanılabilir. Daha iyi bir izolasyona sahip olması ve kapasitif akımların olmaması nedeniyle kablolarla iletim doğru akımda daha kolaydır.

Seçilmesi gereken 4 tip kablo vardır.

a) Katı tip kablolar (Kağıt yalıtkanlı), En ekonomik olanıdır ve 300 kV'e kadar imal edilirler. İletken sıcaklığı yağ gücünü önlemek için 50°C ile sınırlandırılmıştır.

b) Yağlı tip kablolar. En yüksek dayanma gerilimine sahip olan kablolardır. Yüksek basınçlar altında (denizaltında) çalışırlar.

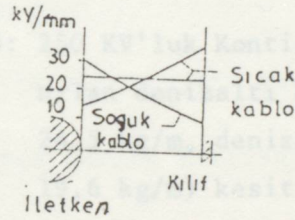
c) Basınçlı gaz tipi kablolar. Bu kablolar orta basınçta yağ yerine gaz kullanımı ile imal edilirler.

d) Plastik yalıtkanlı kablolar: Haddeden geçirilmiş plastik yalıtkanlı bu kablolar genelde alternatif iletim sistemlerinde 150 KV'a kadar kullanılmıştır. Bu tip kablolar henüz YGDA sisteminde uygulama alanı bulamamıştır.

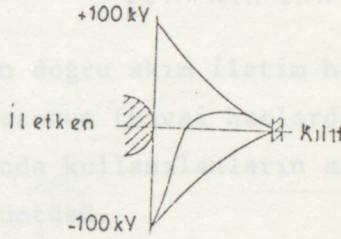
3.3.2. Doğru Akım Zorlamalarına Karşı Kablo İzolasyonu

Kablonun dielektrik kapasitesi ile ters orantılı olarak dağılmış olan elektrik alan kuvveti etkisiyle zorlamalar meydana gelir. Bu dielektrik zorlamalar iletken yakınlarında daha fazladır.

Dielektrik sıcaklığın uniform olduğu soğuk çekilmiş kablolarda gerilim dağılımı alternatif akım kablolarındaki gibidir, fakat sıcaklık değişimine bağlı en büyük zorlanma Şekil-3.2'de görüldüğü gibi kılıfta oluşur.



Şekil-3.2 Soğuk ve sıcak çekilmiş kablolarda dielektrik zorlamaların sıcaklığa bağlı değişimi.



Şekil-3.3 Sıcak çekilmiş kablolar da polariteye bağlı dielektrik zorlamaların değişimi.

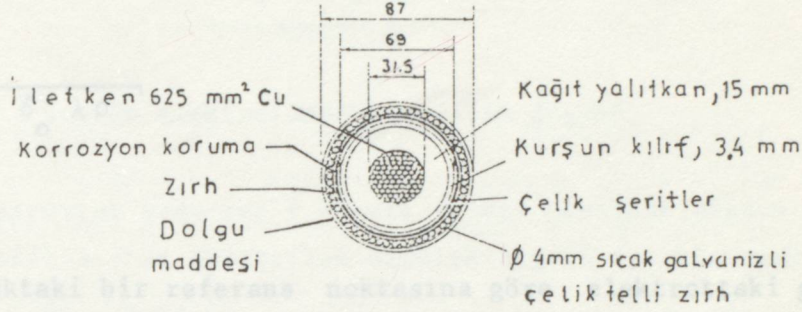
Doğru akım iletiminde genelde, ters polariteler dikkate alınarak, hızlı bir regülasyon istenir. Böyle bir polarite değişimi kablonun dielektrik zorlamasını Şekil-3.3'de görüldüğü gibi değiştirir. Dielektrik zorlanma potansiyelin zamana göre türevi ile orantılıdır.

3.3.3. Doğru Akım Kablo Tasarımı

Yalıtkan olarak kağıt kullanılması için dielektrik kayıplarının olmaması lazımdır. Kağıt yalıtkan kullanmanın en önemli sebebi yoğunluğunun yüksek olmasıdır. Bu nedenle iletken ve dış yüzeye yakın olan bölgelerde kullanılır.

Doğru akım kablolarında kaçak akımlar iletken ve kılıf arasındaki yalıtkindan akar. Yeraltı kablolarının zırhlarının bazı özel kısımlarında

kaçak akımlar mevcuttur. Doğru akım kablo tasarımlarında birleşme noktaları korrozyona karşı topraklanmalıdır. Korrozyon koruması yapılmamış olan denizaltı kablolarında kaçak akımlar düzgün dağılırlar ve korrozyon riski çok küçüktür. Korrozyon koruması kurşun kılıf ile zırh arasında yapılır ve bu koruma aynı zamanda bu 2 katman arasında oluşabilecek yüksek gerilimleri de önler.



Şekil-3.4: 250 KV'luk Konti-Skan doğru akım iletim hattında kullanılan denizaltı kablosunun (Havai hatlardaki ağırlığı 24.5 kg/m, denizaltında kullanılanların ağırlığı ise 19.6 kg/m) kesit görüntüsü.

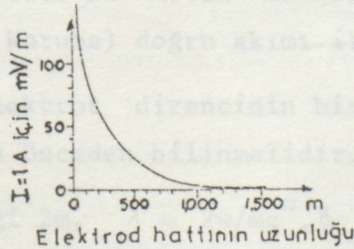
Fuko akımların neden olduğu kayıpların doğru akım kablolarında olmaması nedeni ile zırh olarak çelik teller kullanılır.

3.4. Toprak Dönüşü

3.4.1. Genel Tanım

Kayıpları ve izolasyon maliyetlerini azalttığı için YGDA iletim hatlarında dönüş iletkeni olarak toprak dönüşü kullanılabilir.

Toprak dönüş iletkenindeki gerilim düşümü toprak veya deniz elektrotundakinden daha yoğundur.



Şekil-3.5 Toprak dönüş iletkeninde gerilim düşümü.

3.4.2. Toprak Elektrodu

Toprağın elektriki ve termik direnmesi toprağın içerdiği neme bağlıdır ve topraktaki su miktarının yaklaşık olarak % 15 den az olması halinde bu 2 direnç değeri yükselir. Bu sebepten dolayı elektrotlar yeraltı su seviyesinin altına yerleştirilirler. Elektrot etrafındaki sıcaklık artışı yaklaşık olarak 75°C 'in biraz altındadır. Rusck'a göre bunu veren bağlantı :

$$U = \sqrt{2 \delta_o \lambda \rho}$$

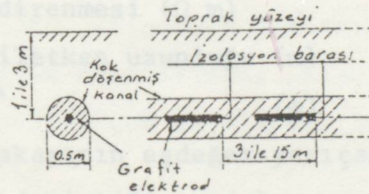
Burada :

U : Uzaktaki bir referans noktasına göre elektrottaki gerilim düşümü (Volt)

δ_o : Elektrot yüzeyindeki sıcaklık artışı ($^{\circ}\text{C}$)

λ : Toprağın termik iletkenliği ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)

ρ : Toprağın elektriki direnmesi ($\Omega \text{ m}$)

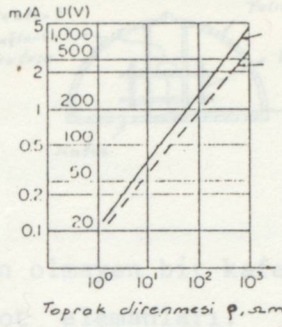


Şekil-3.6 Tipik bir toprak elektrot düzeni

Genelde kullanılan elektrotlar kok kömüründen (direnmesi yaklaşık olarak $0.3 \Omega \text{ m}$) imal edilirler. Bu hattın merkezinde kullanılan grafit elektrotlar (katodik koruma) doğru akımı iletirler.

Elektrot boyutları elektrot direncinin bir fonksiyonudur ve maksimum gerilim değeri daha önceden bilinmelidir.

Düz elektrot derinliği 2m, $\lambda = 2 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, $\delta_o = 75^{\circ}\text{C}$ ve $r = 0.25 \text{ m}$ iken m/A başına gerilim düşümü Şekil-3.7'de gösterilmiştir.



Şekil-3.7 Toprak elektrotundaki gerilim düşümü.

Kok elektrotlar çoğu kez 6 köşeli yıldız şeklinde dizayn edilirler. Bu durumda Şekil-3.7'de gösterilen uzaklık değeri 1.6 ile çarpılır.

Bu tip yıldız elektrotların direnci aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$R = \frac{\rho}{L \pi} \cdot \left(\ln \frac{2L}{a} + 1.43 \right) \Omega$$

Burada :

ρ : Toprak direnci ($\Omega \text{ m}$)

L : Toplam iletken uzunluğu (m)

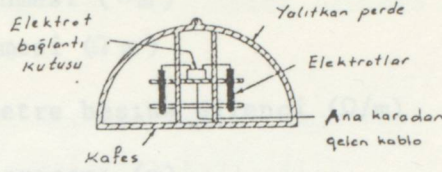
a : $\sqrt{2 d r}$ (m)

r : Kok tabakasının eşdeğer yarıçapı (m)

d : İletken derinliği (m)

3.4.3. Deniz Elektrodu

Mümkün olduğu hallerde elektrot denizle irtibatlandırılabilir. En basit olanı bakır iletkenlen yapılmış negatif elektrodun deniz dibine yerleştirilmesidir. Deniz canlılarının elektrodun 10 m civarına yaklaşabilmeleri için pozitif elektrod korunmalıdır. Kullanım alanına göre magnetit veya grafit elektrotlar kullanılırlar. (Gotland projesinde (200 A) 12 magnetit elektrot kullanılmıştır). Elektrotlar Şekil-3.8 de görüldüğü gibi denizde taştan bir duvar içindeki alana hapsedilerek koruma sağlanır. Bu şekilde 24 elektrot önce 12-12 seri bağlanmış ve bunlar paralel bağlanarak 6 iletken haline getirilmiştir.



Şekil-3.8 İletken olmayan bir kafes içine yerleştirilmiş deniz elektrot elemanları.

Günümüzde deniz elektrotlarında düşük alan şiddetleri ve düşük kaçak akım seviyeleri elde edilmiştir. Sisteme ilave edilen efektif toprak direnci sadece 0.01-0.02 Ω arasında bir değerdedir.

3.4.4. Elektrot Hattı

Elektrotlar çevirici istasyondan en az 3-5 km uzağa yerleştirilmelidir. Her 2 uygulamada da (Havai hat veya kablo) istasyonlarda aşırı gerilim koruması olarak parafudrler veya geçici kapasiteler ($> 10 \mu F$) ile koruma yapılır.

3.4.5. Korozyon Etkisi

Yeraltı kablosu veya boru hatlarının metalik kısımları korozyon etkisine maruz kalabilirler. Elektrotların metalik kısımlarının negatif potansiyeli küçük seçilerek (1V) katodik koruma yapılır.

Kablo ve boru hatları için kaçak doğru akım yoğunluğu normalde 0.1 ile 1 $\mu A/cm^2$ arasında değişen küçük bir değerdedir. Bu kaçak akım değerini yaklaşık olarak veren formül aşağıdaki gibidir :

$$i_{c,max} = \frac{1}{2\pi aR} \cdot \frac{I_o}{2 \left[\alpha / \rho_1 + (\lambda - \alpha) / \rho_2 \right]} \cdot \frac{1}{D^3} \quad A/m^2$$

Burada :

D : Bu akımın meydana geldiği kablo veya boru hattının sahilden uzaklığı (m)

I_o : Doğru akım değeri (A)

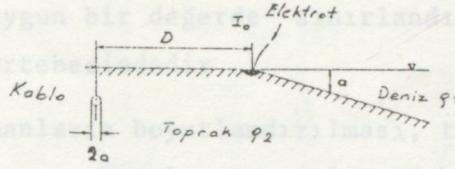
ρ_1 : Deniz direnmesi (Ωm)

ρ_2 : Kara direnmesi (Ωm)

R : Kablonun metre başına direnci (Ω/m)

a : Kablonun yarıçapı (m)

α : Deniz dibi ile kara arasındaki açı (rad)



Şekil-3.9 Kablo ve boru hatları için kaçak doğru akımın matematiksel ifadesini veren düzenin gösteriliş şekli.

D mesafesinin küçük olması halinde kablo civarındaki elektriksel alan nedeniyle kaçak akım değerleri artar. Bu sebeple yukarıdaki eşitlik bir düzeltme faktörü ile çarpılır.

Toprak elektrodu için kullanılan formül :

$$i_{c,max} = \frac{I_o \rho_2}{4 \pi^2 a R D^3} \quad (A/m^2)$$

3.5. Bir Doğru Akım İletim Sistemini Oluşturan Elemanlara Toplu Bakış

Hiç şüphesiz en önemli elemanlar çevirici istasyonlarda yer alan civa buharlı doğrultucular veya yarı iletken tristörlerdir. Bunların soğutma, kumanda elemanları ayrıca bir yer tutar. Bunlara ileride değineceğiz. Şimdi çeviricilerin dışında, bir doğru akım sisteminde bulunması gereken elemanları tanıyalım :

Şekil-3.10 da bu elemanlar toplu halde gösterilmiştir.

a) Söndürme (Düzleme) Reaktansı: Doğru akım devresine seri bağlı bu bobinin en önemli görevi çeviricilerin evirici olarak çalışmalarını sağlamaktır. Elektrik enerjisini magnetik olarak stok ederek, akımın

kesintisiz olarak akmasını ve evirici tarafta zıt elektromotor kuvvet üretilmesini sağlar.

İletim hattının karakteristik empedansı ile beraber doğrultulmuş gerilimlerin dalgalanmalarını zayıflatır.

Doğru akım devresinin z.e.m.k'nın ortadan kalkması halinde uygun bir söndürme açısı ile evirme işleminin korunması için akımın yükselme hızını uygun bir değerde sınırlandırır. Akımın değişim büyüklüğü 200 A/ms mertebesindedir.

Bu elemanların boyutlandırılması, toprak ile sarımlar arasındaki doğru gerilime ve bu elemanın uçlarındaki alternatif gerilime ve geçici yüksek gerilimler esnasında sarımların mekanik dayanımlarına bağlıdır.

b) Düzleme Reaktansını Orta Noktasını Toprağa Bağlayan Empedans: Seri olarak bir endüktans ile bir dirençten oluşan büyük değerli bir empedanstır. İletim hattının nötrünü oluşturur. Evirici ve çevirivi istasyonlardan birine yerleştirilir ve altıncı harmoniği süzme görevini de üstlenir.

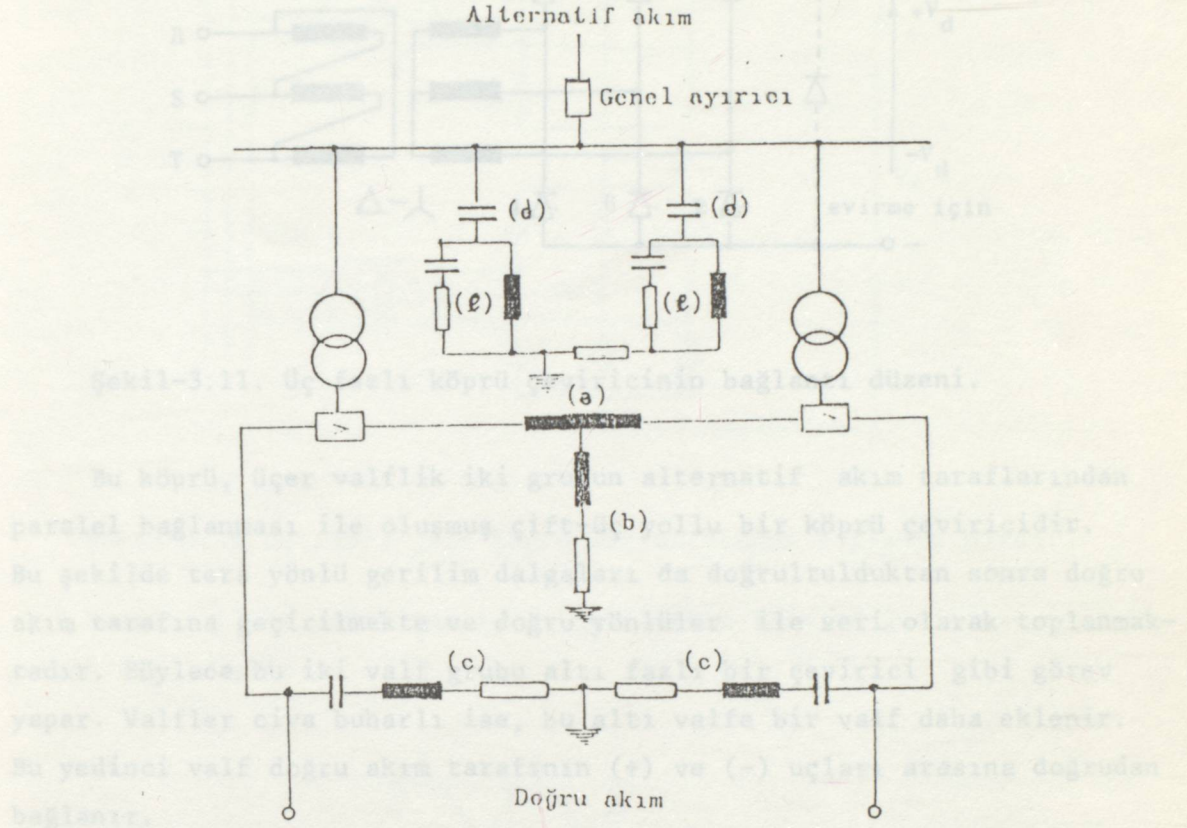
c) Kabloların Amortisman Empedansı: Her iletken ile toprak arasında yer alır, seri bağlı bir direnç, endüktans ve kapasiteden meydana gelmiştir. Düzleme bobinin endüktansı ile hat kapasitesi arasında olabilecek salınımları söndürmektir.

d) Kondansatör Bataryası: Valflerin kapı veya ızgara kumandaki ile ateşlemelerinin geciktirilmesi ve açıp-kapama, komütasyon esnasında ana dalganın bozulması sonucu bir reaktif güç gereksinimi ortaya çıkar.

Çünkü bu her iki olay da akım dalgasının fazını gerilim dalgasına göre geriye kaydırır, bu endüktif hali kompanze edebilmek için kapasitif güce gerek vardır. İşte bu gücü kondansatör bataryası sağlar. Genelde statik kompanzatörler kullanılır. Aşırı uyartılmış senkron makinalarla kapasitif güç vermek de bir çözüm olabilir. Ancak senkron makinenin bazı problemleri (stabilite, titreşim, salınım) söz konusu olduğundan daha çok statik kompanzatörler tercih edilmektedir.

e) Filtreler: Düzleme reaktansı nedeniyle alternatif akım dalgası tam sinüsoidal olmaz. Filtreler yardımıyla harmonik bileşenleri süzmek

mümkündür. Filtreler çeşitli bağlantı şekillerinde ve değişik değerdeki elemanlardan oluşur.

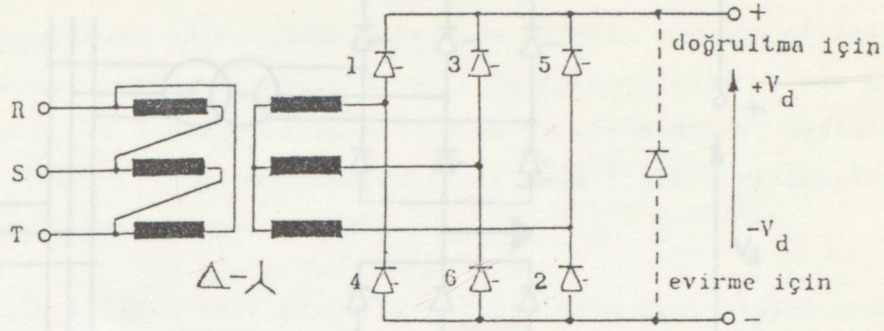


Şekil-3.10 Bir doğru akım iletim sisteminde kullanılan elemanlar.

3.6. Çevirici İstasyonlar

3.6.1. Doğrultucular

Alternatif dalgayı doğru dalgaya dönüştüren elemanlardır. Genellikle köprü tipinde çevirici kullanılır. Çünkü bu tip devrelerin transformatör kullanılması ve valf gerilimi bakımından üstünlükleri vardır. Şekil-3.11'de basit bir üç fazlı köprü gösterilmiştir.

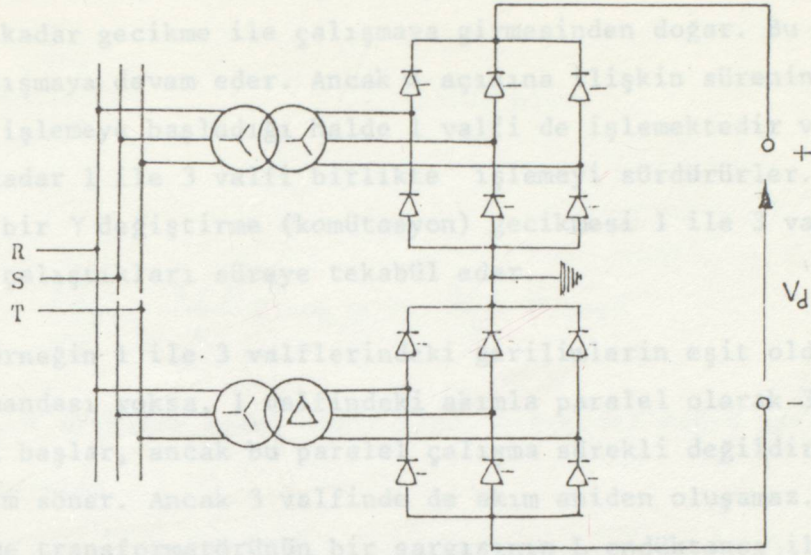


Şekil-3.11. Üç fazlı köprü çeviricinin bağlantı düzeni.

Bu köprü, üçer valflik iki grubun alternatif akım taraflarından paralel bağlanması ile oluşmuş çift-üç yollu bir köprü çeviricidir. Bu şekilde ters yönlü gerilim dalgaları da doğrultulduktan sonra doğru akım tarafına geçirilmekte ve doğru yönlüler ile seri olarak toplanmaktadır. Böylece bu iki valf grubu altı fazlı bir çevirici gibi görev yapar. Valfler civa buharlı ise, bu altı valfe bir valf daha eklenir. Bu yedinci valf doğru akım tarafının (+) ve (-) uçları arasına doğrudan bağlanır.

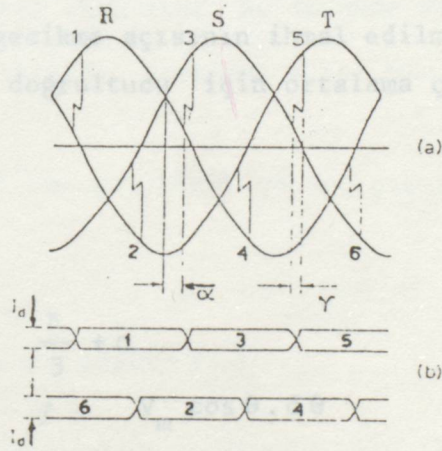
Normal işlemede ızgara kumandası yardımıyla çalışmaması sağlanır. Buna karşılık, bir valfte arkın geri dönmesi gibi bir iç arıza olduğu zaman arızalı valf kısa bir süre için kısa devre edilerek bu yedek valf işletmeye sokulur. Tiristörlü valfler kullanılırsa bu yedinci valfe gerek yoktur.

Bu altı valflik çeviricilerden iki ayrı grup alternatif akım tarafında bir araya getirilebilir. Burada kullanılan transformatörlerin biri yıldız-yıldız diğeri ise yıldız-üçgendir. Doğru akım tarafında seri bağlanan bu grup, oniki fazlı bir çevirici gibi işlemektedir. (Şekil-3.12)



Şekil-3.12 Üç fazlı çift köprü doğrultucunun bağlantı düzeni.

Şekil-3.13'de doğrultma işlemine ilişkin akım ve gerilimlerin dalgaları verilmiştir.



Şekil-3.13 Doğrultma işleminde gerilim ve akımlar. a) çıkış gerilimi, b) valf akımları.

Eğrilerden görüleceği gibi, α ile gösterilen bir gecikme açısı ve γ ile gösterilen bir komütasyon açısı bulunmaktadır.

α ateşleme açısı, örneğin A noktasında R fazındaki 1 valfi durdurur-

lup S fazındaki 3 valfi çalışmaya başlayacakken, 3 valfinin bir α açısı kadar gecikme ile çalışmaya girmesinden doğar. Bu durumda 1 valfi çalışmaya devam eder. Ancak α açısına ilişkin sürenin bitiminde 3 valfi işlemeye başladığı halde 1 valfi de işlemektedir ve bir C noktasına kadar 1 ile 3 valfi birlikte işlemeyi sürdürürler. Böylece ortaya çıkan bir γ değiştirme (komütasyon) gecikmesi 1 ile 3 valflerinin birlikte çalıştıkları süreye tekabül eder.

Örneğin 1 ile 3 valflerindeki gerilimlerin eşit olduğu anda, ızgara kumandası yoksa, 1 valfindeki akımla paralel olarak 3 valfinde akım geçişi başlar, ancak bu paralel çalışma sürekli değildir ve 1 valfindeki akım söner. Ancak 3 valfinde de akım aniden oluşamaz. Çünkü bu akım besleme transformatörünün bir sargısının L endüktansı ile etkilenmektedir. Bu yüzden γ açısı ile belirlenen bir zaman sabiti ortaya çıkar.

Izgara ya da kapı kumandası ile valflerin açısının değeri 0° ile 180° arasında değiştirilebilir. α açısının değeri 90° den büyük olduğu zaman, doğrultulmuş gerilimin yönü aksedilmiş olur. Bu durumda evirici işlemeye geçilir.

γ komütasyon gecikme açısının ihmal edilmesiyle, α ateşleme açısına bağlı olarak, doğrultucu için ortalama çıkış gerilimi şöyle bulunur :

$$\theta = \omega t \text{ dir.}$$

$$V_d = 2 \cdot \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{-\pi}{3} + \alpha}^{\frac{\pi}{3} + \alpha} V_m \cos \theta \cdot d\theta \quad (3.1)$$

denklemden

$$V_d = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \cos \alpha \quad (3.2) \text{ bulunur.}$$

Burada V_m : Alternatif gerilimin faz-nötr geriliminin tepe değeridir.

Alternatif gerilimin faz arası değerinin efektif değeri kullanılırsa :

$$U = \frac{\sqrt{3} V_m}{\sqrt{2}} \quad (3.3) \text{ olur.}$$

O halde

$$V_d = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{3\sqrt{3}}{\pi} U \cos \alpha = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U \cos \alpha \quad (3.4)$$

bulunur. α ateşleme açısı sıfır iken, çıkıştaki doğru gerilimi $V_d = V_o$ ile gösterelim.

Değişik ızgara veya kapı kumandalarında, α 'nın sıfırdan farklı olması halinde

$$V_d = V_o \cdot \cos \alpha \quad (3.5)$$

bağıntısı yazılır. (3.8) denklemiindeki α integrasyon sabiti, değiştirme

γ açısının varlığı nedeniyle, her fazda, o fazın gerilimine göre geride kalan bir alternatif akım akar. Bu durumda doğrultucu reaktif güç çeker.

Doğrultulmuş gerilimde, ateşleme açısı bir düşme, aşım açısı ise bir yükselme oluşturur.

Buna göre değiştirme gecikmesi sonucu çıkış gerilimindeki ortalama düşüş $\alpha > 0$ için

$$\Delta V = \frac{V_o}{2} [\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma)] \quad (3.6)$$

ile gösterilebilir. Değiştirme gecikmesi γ açısına ilişkin süre sonunda çıkış gerilimi,

$$V_d = V_o \cdot \cos \alpha - \Delta V = V_o \cos \alpha - \frac{V_o}{2} [\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma)]$$

olup,

$$V_d = \frac{V_o}{2} [\cos \alpha + \cos(\alpha + \gamma)] \quad (3.7)$$

değerini alır.

ΔV gerilimini I_d valf akımlarına dayanarak, tanımlama olanağı vardır. Çünkü değiştirme gecikmesi olayı sırasında besleme trafosunun iki fazı gerçekten kısa devre edilmiş durumdadır.

Örneğin 1 ve 3 valfleri arasında değiştirme olduğu zaman trafonun R ile S fazları arasında bir kısa devre meydana gelir. Bu durumda i ani kısa devre akımı, L trafonun faz başına seri endüktansı olmak üzere, U faz arası gerilimi için,

$$2L \frac{di}{dt} = \sqrt{2} \cdot U \sin \omega t$$

denklemini integre edersek,

$$i = - \frac{\sqrt{2} \cdot U}{2L} \frac{\cos \omega t}{\omega} + K \quad (3.8)$$

olarak elde edilir. (3.8) denklemindeki K integrasyon sabiti, değiştirme işleminin başlangıcında t açısal büyüklüğünün aldığı değere göre belirlenebilir. Değiştirme olayının başlangıcında, yani $\omega t = \alpha$ olduğunda, ani kısa devre akımı i sıfır olur. Buradan

$$K = \frac{\sqrt{2} \cdot U}{2\omega L} \cos \alpha$$

bulunur.

Değiştirme işleminin sonunda, yani $\omega t = \alpha + \gamma$ değerini aldığı anda, i akımı I_d değerine ulaşarak

$$I_d = \frac{\sqrt{2} \cdot U}{2L} \left[\frac{-\cos(\alpha + \gamma)}{\omega} + \frac{\cos \alpha}{\omega} \right]$$

değerinin kısaltması ile

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{2}\omega L} [\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma)] \quad (3.9)$$

olur. Buradan

$$\cos(\alpha + \gamma) = \cos \alpha - \frac{\sqrt{2} \omega L}{U} I_d$$

Doğru akım alternatif akıma çeviren düzenlerdir. İzgara kontrolü ya değerini denklem (6.7) de yerine koyarsak,

$$V_d = V_o \cos \alpha - \frac{V_o}{2} \frac{\sqrt{2} \omega L}{U} I_d \quad (3.10)$$

elde edilir. (3.4) ve (3.5) bağıntılarının karşılaştırılması

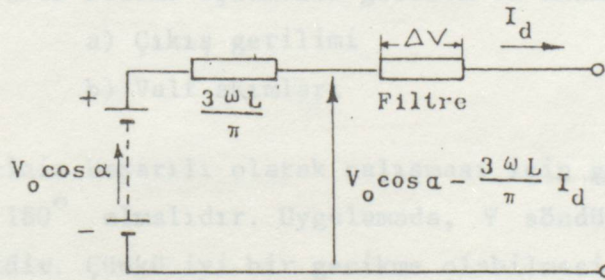
$$V_o = \frac{3 \sqrt{2}}{\pi} U$$

vereceğinden, bu değer (3.10) denkleminin ikinci teriminde yerine konursa,

$$V_d = V_o \cos \alpha - \frac{3 \omega L}{\pi} I_d \quad (3.11)$$

(3.11) denklemi, doğrultuya ilişkin eşdeğer devrenin çizilmesini sağlar. Ancak bu denkleme göre yapılacak çizimde, ark direncindeki gerilim düşümü ile alternatif akım sisteminin empedanslarının ihmal edildiği ve doğru akımın tam anlamıyla düzgün olduğu kabul edilmektedir.

Şekil 3.14, bu varsayımlara göre çizilen eşdeğer devreyi göstermektedir. Bu şema, bir gerilim kaynağını içerir. Kaynağın sağladığı gerilimin yüksüz değeri $V_o \cos \alpha$ olur. Seri eşdeğer direnç $\frac{3 \omega L}{\pi}$, valflerin değiştirilmesi (komütasyon) sırasında oluşan gerilim düşümünün gösterilmesini sağlar. Filtre etkisi ise ayrı bir gerilim düşümüyle gözönüne alınmalıdır.



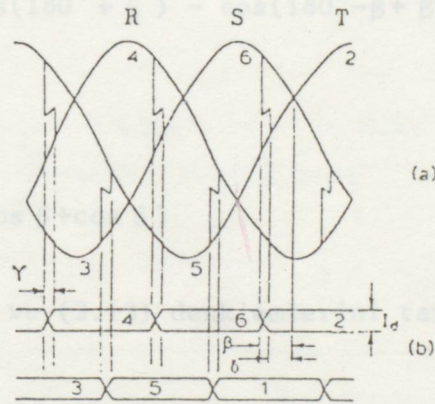
Şekil-3.14 Doğrultma işlemini gösteren eşdeğer devre.

3.6.2. Eviriciler

Doğru akımı alternatif akıma çeviren düzenlerdir. Izgara kontrolü ya da kapı kumandası dediğimiz sistemler aracılığıyla gecikme açısını, ortalama gerilim negatif oluncaya kadar değiştirme olanağı vardır. Bu negatif gerilimle valfler ters olarak hareket ettirilebilmekte ve gücün, çeviricinin doğru akım tarafından alternatif akım tarafına iletilebilmesi sağlanmaktadır. Böylece "Evirme" işlemi meydana gelmektedir. Bu şekilde işleyen çeviriciye de "Evirici" adı verilir.

Doğrultma işlemi için verilen temel denklemler evirme işlemi için de geçerlidir.

Evirme işlemine ilişkin gerilim ve akım dalgaları Şekil 1'deki devre için Şekil 3.15'de gösterilmiştir.



Şekil-3.15 Evirme işleminde gerilim ve akım dalgaları.

- a) Çıkış gerilimi
- b) Valf akımları

Eviricinin başarılı olarak çalışması için gecikme açısının değeri $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ olmalıdır. Uygulamada, ψ söndürme açısı denen bir sınır gereklidir. Çünkü iyi bir gecikme olabilmesi için uygun bir iyonizasyon kalkma zamanı olmalı ve bu zamana göre valfler arasındaki değiştirme (komütasyon) bitirilmelidir.

Evirme işlemi gözönüne alındığı zaman α gecikme açısının bir β açısı cinsinden $\beta = 180^\circ - \alpha$ olarak ifade edilmesi yerinde olur.

Şekil-3.7' den $\beta = \gamma + \delta$ olduğu görülebilir.

Eviriciye ilişkin değerleri (') ile gösterelim. (3.6) denkleminde α yerine $(180^\circ - \beta)$ ve (3.7) denkleminde γ yerine $(\beta - \delta)$ koyarsak,

$$\Delta V' = \frac{3\omega L'}{\pi} I_d = \frac{V_o'}{2} [\cos(180^\circ - \beta) - \cos(180^\circ - \beta + \beta - \delta)]$$

ile

$$\Delta V' = -\frac{V_o'}{2} (\cos \beta - \cos \delta) = \frac{3\omega L'}{\pi} I_d \quad (3.12)$$

olur. L' , eviriciye ilişkin trafonun faz başına seri endüktansıdır.

Eviricinin ucundaki gerilim,

$$V_d' = \frac{V_o'}{2} [\cos(180^\circ + \beta) - \cos(180^\circ - \beta + \beta - \delta)]$$

değerinden

$$V_d' = -\frac{V_o'}{2} (\cos \beta + \cos \delta) \quad (3.13)$$

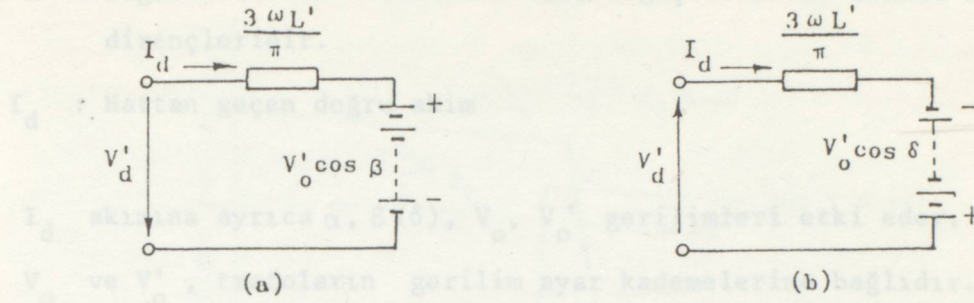
elde olunur. (3.12) ve (3.13) denklemlerini taraf tarafa toplayacak olursak,

$$V_d' = -(V_o' \cos \beta + \frac{3\omega L'}{\pi} I_d) \quad (3.14)$$

$$V_d' = -(V_o' \cos \delta - \frac{3\omega L'}{\pi} I_d) \quad (3.15)$$

bulunur.

Şekil-3.16.a'da β sabit alınarak, Şekil-3.8.b'de ise δ sabit alınarak ilgili eşdeğer devreler çizilmiştir.



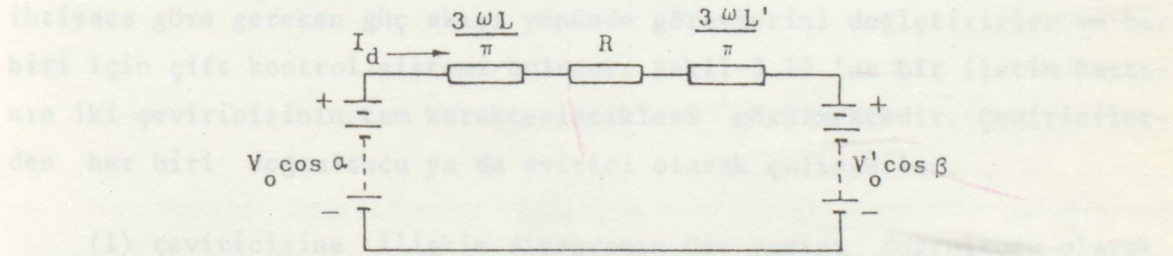
Şekil-3.16 Evirme işlemine ait eşdeğer devreler.

a) β sabit

b) δ sabit

3.6.3. Bir doğru akım iletim hattının işlemesi

İki alternatif akım sistemi arasında yer alan basit bir doğru akım-
la iletim hattının eşdeğeri Şekil-3.17 'de verilmiştir. Burada β sabit
kabul edilmiştir.



Şekil-3.17 Bir doğru akım iletim sisteminin basit eşdeğer şeması.

Hattın ilettiği akım, kapalı gözden,

$$I_d = \frac{V_0 \cos \alpha - V'_0 \cos \beta}{\frac{3\omega L}{\pi} + R + \frac{3\omega L'}{\pi}} \quad (3.16)$$

bulunur.

R : Hava hattı veya yeraltı kablosu şeklinde çekilen doğru akım ile-
tim sisteminin toplam direnci,

L ve L' : Doğrultucu ve eviricinin valf değiştirmeleri sonucu oluşan dirençleridir.

I_d : Hattan geçen doğru akım

I_d akımına ayrıca α , β (δ), V_o , V_o' gerilimleri etki eder.

V_o ve V_o' , trafoların gerilim ayar kademelerine bağlıdır.

Doğru akımın (I_d) genliği α , β , V_o ve V_o' ile kontrol edilebilir.

Ateşleme açısını değiştirerek yapılan kontrolde δ ve buna bağlı β değeri aşırı derecede reaktif güç çekimine yol açarsa bu kontrol sakıncalı olur.

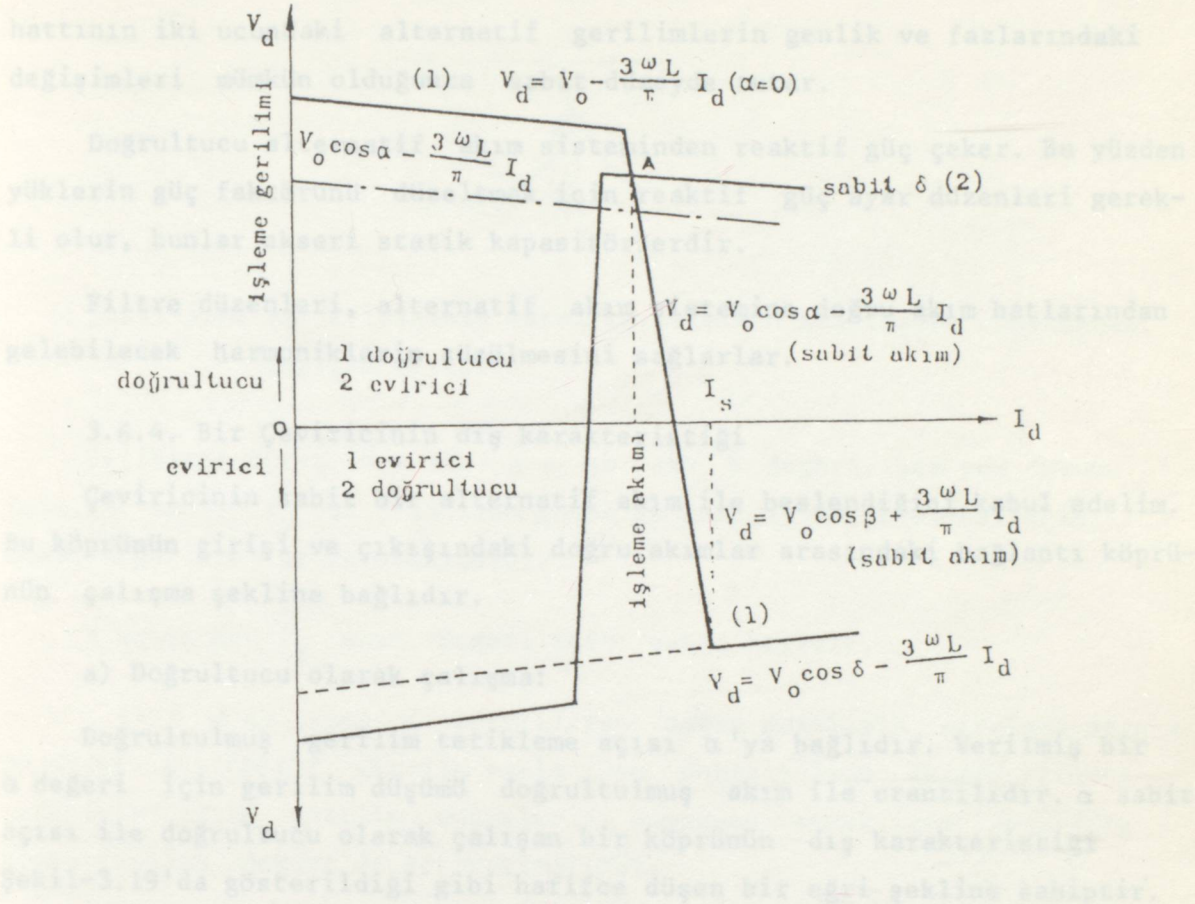
V_o' gerilimindeki düşme γ açısında artmaya yol açar ve eğer bunu kompanze etmek için β büyütülürse reaktif güç gereksinimi gene artar. O halde eviricinin sabit bir δ ile çalıştırılması en uygun kontrol olacaktır.

İletim hattında akımın sabit kalması arzu edilir. Doğrultucu ve evirici, ihtiyaca göre gereken güç akışı yönünde görevlerini değiştirirler ve her biri için çift kontrol sistemi bulunur. Şekil-3.18 'de bir iletim hattının iki çeviricisinin tam karakteristikleri görülmektedir. Çeviricilerden her biri doğrultucu ya da evirici olarak çalışabilir.

(1) çeviricisine ilişkin diyagramın üst yarısı doğrultucu olarak işlemeyi belirtir. $\alpha = 0$ anında en ideal işleme gerçekleşmektedir.

Sabit akım kontrolü ile çalışmada α büyür ve akıma bağlı gerilimin karakteristiği $V_d = 0$ eksenini ile kesişerek eksenin altına geçer. Alt tarafta ise (1) çeviricisi sabit δ ile evirici olarak çalışabilir.

(2) eviricisi için de benzer karakteristik çizilebilir. (2), evirici olarak çalışmaya başlar ve sabit akım kontrolü ile açısı arttırılarak doğrultucu işlemeye geçilebilir.



Şekil-3.18 Karma akımlı $V_d = f(I_d)$ karakteristiği.

Uygulamada doğrultucuyu sabit akım karakteristiği ile çalıştırmak elverişli olmaktadır. Evirici için ise sabit gerilim elverişlidir. İstenilen işleme akımı ve gerilimi belirleyecek şekilde doğrultucu ve evirici ayarlanır ve belli bir A noktası elde edilir (Şekil-3.10).

Bu karakteristiklere göre oluşturulan kontrol yönteminin doğru akım hattında meydana gelebilecek bir kısa devrede büyük yararı olduğu söylenebilir.

Çünkü böyle bir kısa devre yalnızca doğru gerilimin düşümüne yol açacak, akım üzerinde koruma gerekmeyecektir.

Bir doğru akım iletim sisteminde iyi bir işletme,

$$P = V_d I_d \quad (3.17)$$

gücünün sabit tutulmasıyla gerçekleşir.

Bu amaçla da kontrol düzenleri kullanılır. Kontrol sistemleri iletim hattının iki ucundaki alternatif gerilimlerin genlik ve fazlarındaki değişimleri mümkün olduğunca sabit düzeyde tutar.

Doğrultucu alternatif akım sisteminden reaktif güç çeker. Bu yüzden yüklerin güç faktörünü düzeltmek için reaktif güç ayar düzenleri gerekli olur, bunlar ekseri statik kapasitörlerdir.

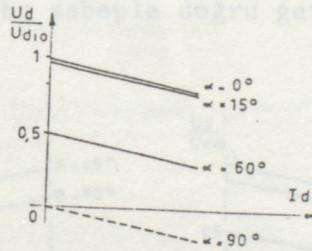
Filtre düzenleri, alternatif akım sistemine doğru akım hatlarından gelebilecek harmoniklerin süzülmesini sağlarlar.

3.6.4. Bir Çeviricinin dış karakteristiği

Çeviricinin sabit bir alternatif akım ile beslendiğini kabul edelim. Bu köprünün girişi ve çıkışındaki doğru akımlar arasındaki bağlantı köprünün çalışma şekline bağlıdır.

a) Doğrultucu olarak çalışma:

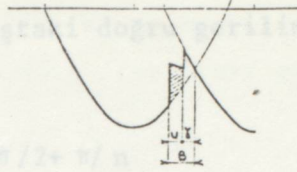
Doğrultulmuş gerilim tetikleme açısı α 'ya bağlıdır. Verilmiş bir α değeri için gerilim düşümü doğrultulmuş akım ile orantılıdır. α sabit açısı ile doğrultucu olarak çalışan bir köprünün dış karakteristiği Şekil-3.19'da gösterildiği gibi hafifce düşen bir eğri şekline sahiptir.



Şekil-3.19 $\alpha = sb$ iken bir doğrultucunun dış karakteristiği.

b) Evirici çalışma:

Bir eviricinin anotlarının tetiklenmesi 2 farklı yasa ile ifade edilebilir. (Şekil-3.20)



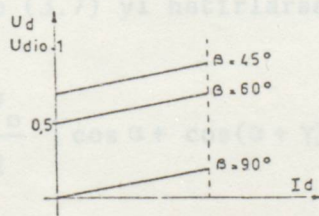
Şekil-3.20 Bir eviricinin katot geriliminin komütasyon esnasındaki değişim eğrisi.

Tetikleme açısı $\alpha = 180 - \beta = sb$ ise β değeri her yük durumu için, γ 'nın γ_0 'dan (minimum güvenlik sınırı) büyük olması için, büyük değerlere sahip olmalıdır.

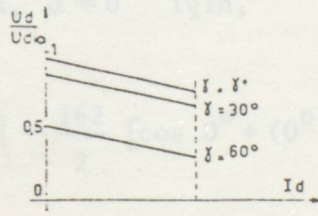
γ açısı her I_d akım değeri için sabit kılınır.

1) $\beta = sb$ iken u artırılırsa doğru gerilimin ortalama değeri de artar. Alternatif gerilim sabit iken doğrultulmuş akımın artması nedeniyle artan gerilim düşümlerini kompanze etmek için uygulanan doğru gerilim değeri de arttırılmalıdır.

2) $\gamma = sb$ iken I_d akımı artarsa, u açısı ve Şekil-3.20'deki taralı alan da artar ve bu sebeple doğru gerilim değeri düşer.



Şekil-3.21 $\beta = sb$ çalışan bir eviricinin dış karakteristiği.



Şekil-3.22 $\gamma = sb$ çalışan bir eviricinin dış karakteristiği.

3.7. Örnek Problemler

1- 230 kV'luk bir kaynaktan (230/120) kV'luk bir transformatör yardımıyla köprü bağlı bir doğrultucu beslenmektedir. Komütasyon açısı 15° dir. Gecikme açısı

- a) 0° ve $\gamma = 15^\circ$ olduğu bilinen köprü bağlı bir doğrultucu-
 den 100 kV 'luk doğru gerilim elde etmek istiyoruz. Doğrultucu,
 nominal 100 kV ile beslenmekte-
 dir. Transformatorün sekonder faz arası gerilimini ve uç değıştirme oranı-
 nı hesaplayalım.

$$V_o = \frac{1}{2\pi/n} \int_{\pi/2-\pi/n}^{\pi/2+\pi/n} V_m \sin \omega t \cdot d(\omega t) = \frac{V_m \sin(\omega/n)}{\pi/n}$$

$$100 = \frac{V_m}{2\pi/n} [\cos 30^\circ + \cos(45^\circ)] = 0.786 V_m$$

n: Faz sayısı olduğuna göre, $n = 3$ için ;

$$V_o = \frac{V_m \sin 60^\circ}{\pi/3} = V_m \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} = 0.83 V_m$$

$n = 6$ için :

$$V_o = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V = 0.955 V_m$$

V : Alternatif akımın efektif değeri

V_m : Tepe değeri

$$a) V_o = 0.955 (\sqrt{2} \cdot 120) = 162 \text{ kV}$$

Denklem (3.7) yi hatırlarsak, $\alpha = 0^\circ$ için,

$$V_d = \frac{V_o}{2} |\cos \alpha + \cos(\alpha + \gamma)| = \frac{162}{2} [\cos 0^\circ + (\cos 0^\circ + 15^\circ)] = 160 \text{ kV}$$

b) $\alpha = 30^\circ$ için

$$V_d = \frac{162}{2} [\cos 30^\circ + \cos(30^\circ + 15^\circ)] = 127 \text{ kV}$$

c) $\alpha = 60$ için

$$V_d = \frac{162}{2} [\cos 60^\circ + \cos(60^\circ + 15^\circ)] = 61.5 \text{ kV}$$

2- $\alpha = 30^\circ$ ve $\gamma = 15^\circ$ olduğu bilinen köprü bağlı bir doğrultucu-
dan çıkışta 100 kV'luk doğru gerilim elde etmek istiyoruz. Doğrultucu,
nominal değerleri (345/150) kV olan bir transformatör ile beslenmekte-
dir. Transformatörün sekonder faz arası gerilimini ve uç değiştirme oranı-
nı hesaplayalım.

Denklem (3.7) den,

$$100 = \frac{V_o}{2} [\cos 30^\circ + \cos(45^\circ)] = 0.786 V_o$$

$$V_o = \frac{100}{0.786} = 127 \text{ kV}$$

$$V_o = 0.955 (\sqrt{2} V) \text{ idi. } V = \frac{V_o}{\sqrt{2.0,955}} = 94 \text{ kV}$$

Bu şartları yerine getiren değişik tiplerde cihazlar ve donanımlar ti-
rafonun uç değiştirme oranı ise, 1970'lere kadar ortak gövde olarak çok
yollarla civa buharlı valfler kullanılmakta idi. Tristör valfler ilk olarak
1960'ların ortalarında kullanılmaya başlandı ve 1975'lerden itibaren
artık sadece tristörler kullanılmaktadır. Bu bakımdan civa buharlı valf-
lere kısaca değindikten sonra tristörlere geçeceğiz.

4.2. Civa Buharlı Valfler

Bu elemanlarda, metal veya camdan yapılmış bir kap içine civa kon-
muştur. Burada civa, katot denen elektrodu meydana getirmektedir. Katod-
un karşısında grafit bir elektrod vardır. Buna anot denir. Lamba gibi
metalden yapılmış ise iç kısmı yalıtımla kaplanır.

Camdan yapılmış ise camın eni ısı değişimlerine ve küçük darbelerle
dayanıklı olması gerekir.

Civa buharlı valflerin özellikleri elektron emisyon olaylarına de-
yanır.

Çalışma prensibini kısaca açıklayalım.

Valfi çalıştırmak için katoda ısıtılması gerekir. Bunun için yarı-
cı bir elektrod veya ısıtılabilir anoda gereklidir. Katoda ısıtılması

4. ÇEVİRİCİLERDE KULLANILAN VALFLER

4.1. Genel

YGDA ile iletimde kullanılan valflerin aşağıdaki bağıntılara uygun olması istenir.

- İletim yönünde gerilim düşümünün az olması,
- Valf izolasyonunun pozitif ve negatif yüksek gerilimlere dayanabilmesi,
- Tetikleme zamanı kontrol olanakları,
- Doğrultucu olarak çalışmada oluşacak olan komütasyon farkının az olması,
- İç ve dış devde arızalarının oluşturacağı aşırı akımlara dayanabilmesi.

Bu şartları yerine getiren değişik tiplerde cihazlar ve donanımlar ticari uygulamalarda kullanılmıştır. 1970'lere kadar ortak çözüm olarak çok yollu civa buharlı valfler kullanılmakta idi. Tristör valfler ilk olarak 1967 yılında ticari olarak kullanılmaya başlandı ve 1975'lerden itibaren artık sadece tristörler kullanılmaktadır. Bu bakımdan civa buharlı valflere kısaca değindikten sonra tristörlere geçeceğiz.

4.2. Civa Buharlı Valfler

Bu elemanlarda, metal veya camdan yapılmış bir kap içersine civa konmuştur. Burada civa, katot denen elektrodu meydana getirmektedir. Katodun karşısında grafit bir elektrod vardır. Buna anot denir. Lamba kabı metalden yapılmış ise iç kısmı yalıtkanla kaplanır.

Camdan yapılmış ise camın ani ısı değişimlerine ve küçük darbelere dayanıklı olması gerekir.

Civa buharlı valflerin özellikleri elektron emisyon olaylarına dayanır.

Çalışma prensibini kısaca açıklayalım.

Valfi çalıştırmak için katodun ısıtılması gerekir. Bunun için yardımcı bir elektroda veya ateşleme anoduna gerek vardır. Katodun ısıtılması

ile bir elektron emisyonu oluşur. Pozitif yüklü elektronlar anota doğru çekilir. Anottan katoda doğru bir elektrik akışı olur. Aynı anda katotdan çıkan elektronlar anota girerken civa buharı atomlarına çarparak iyonlaşmalarını sağlar. Katottan çıkan elektronlarla bombardıman edilen civa, elektronlarını bırakıp, pozitif iyon durumuna geçer. Civa atomundan ayrılan bu elektronlar anot tarafından çekilir ve anodun topladığı elektron miktarı artar. Pozitif iyonlar ise anot tarafından itilerek, katot tarafından çekilecektir. Katoda gelen pozitif iyonlar katottan elektron alarak nötrleşerek civa atomu oluşturulur. Bu atomlar tekrar bombardıman edilerek açığa çıkan elektron sayısı artırılır.

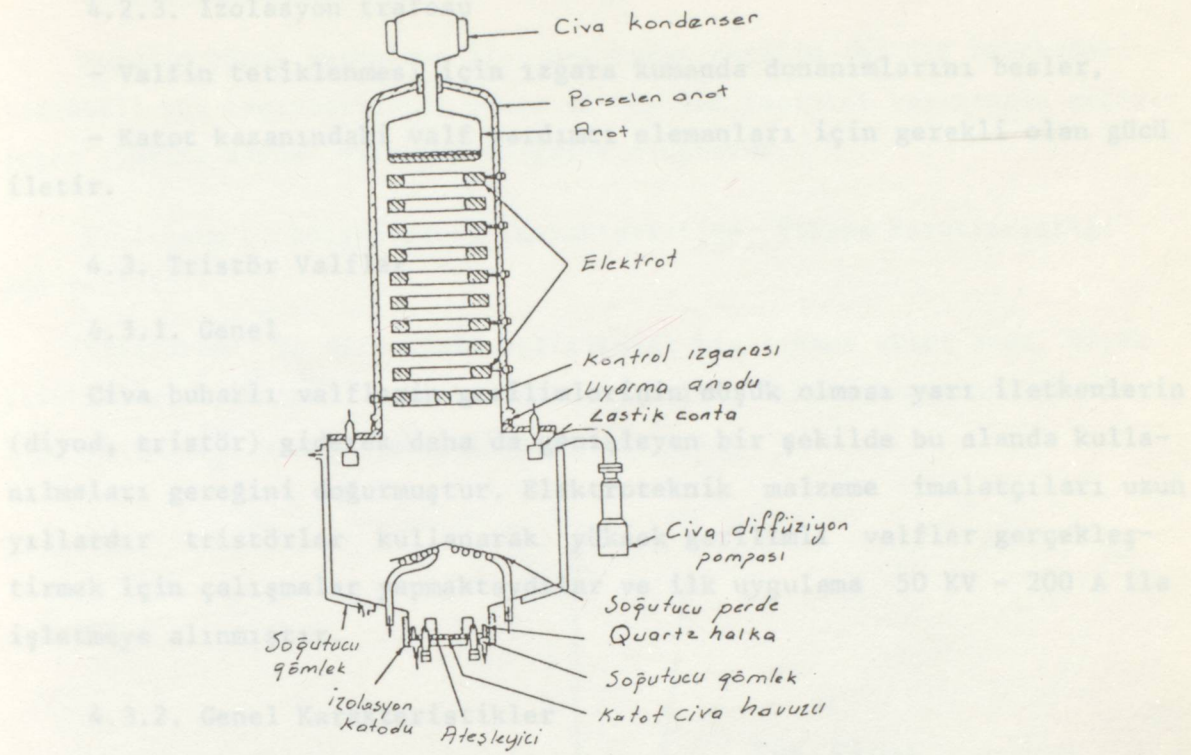
Düşük anma değerlerinde cam tüpler, daha büyük anma değerlerinde ise metal kaplı tüpler kullanılır. Bu elemanların özelliklerini de sıralayalım.

Aşırı yüklerde çalışabilirler. Kısa devrelere çok kısa bir an için dayanabilirler. Aynı akım değerinde çeşitli gerilimlerde çalışabilirler. Cam tüpten yapılanlar kırılğandır. Ömrü hayli kısadır. Elde edilen akım dalgalıdır. Tüpteki elektrot sayısını artırarak dalgalılık azaltılabilir. İç gerilim düşümü hayli fazladır.

Civa buharlı valfler akımı bir yönde iletirler. Anot pozitif, katot negatif olduğu zaman, katot ısıtılarak tüp ateşlenirse akım anottan katoda doğru gider. Anot negatif, katot pozitif iken devreden akım akmaz.

Şekil-4.1 'de çok fazla sayıda topraklama elektroduna sahip bir valf tasarımı gösterilmiştir.

Civa buharlı valflerin uyguh bir şekilde çalışmasını sağlamak için bir çok donanımın ilave edilmesi gerekir.



Şekil-4.1 100 KV'luk bir civa buharlı valfin prensip tasarımı

4.2.1. Anot akımı bölücüsü

Bunun için bir akım trafosu kullanılır. Bu trafonun primer sargıları seri bağlıdır. Sekonder sargıları ise her anotla seri bağlanmıştır. Eğer anotlardan biri diğerine göre daha önce tetiklenirse akımın sirkülasyonu diğer anotların potansiyellerinin artmasına neden olur ve bu sebeple diğer anotlarda tetiklenir. Eğer anotlardan biri sönmeye doğru giderse yine aynı sebepten dolayı tekrardan tetiklenir. Paralel bağlı anotların bu şekilde tetiklenmesi ile anot akımlarının da eşit olarak dağılması sağlanır.

4.2.2. Anot bobini

Valfin söndürülmesi esnasında di/dt 'yi sınırlaması görevi dışında anot bobinleri tetikleme esnasında ansızın meydana gelebilecek parazitlerin deşarj titreşimlerine de müdahale ederler.

4.2.3. İzolasyon trafosu

- Valfin tetiklenmesi için ızgara kumanda donanımlarını besler,
- Katot kazanındaki valf yardımcı elemanları için gerekli olan gücü iletir.

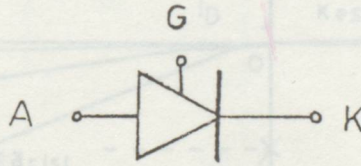
4.3. Tristör Valfler

4.3.1. Genel

Civa buharlı valflerin gerilimlerinin düşük olması yarı iletkenlerin (diyod, tristör) giderek daha da genişleyen bir şekilde bu alanda kullanılmaları gereğini doğurmuştur. Elektroteknik malzeme imalatçıları uzun yıllardır tristörler kullanarak yüksek gerilimli valfler gerçekleştirmek için çalışmalar yapmaktaydılar ve ilk uygulama 50 KV - 200 A ile işletmeye alınmıştır.

4.3.2. Genel Karakteristikler

Tristör, bir anot bir katot ve bir de kontrol elektrodu olan dört yarı iletken tabakalı bir elemandır. Tristör güç elektroniği devrelerinin en önemli elemanı olup, Şekil-4.2'de sembolü verilmiştir.



Şekil-4.2 Tristörün şematik gösterimi.

Uç p-tabakası anodu (A), diğer uç n-tabakası da katodu (K) oluşturur. Ortadaki p-tabakası ise kapı (G) elektrodudur.

Şekil-4.3 'de bir tristörün akım gerilim karakteristiği verilmiştir.

Bir tristörün ilettime geçmesi için ve kesime götürülmesi için belli koşullar veya yöntemler vardır. Eleman da aşağıdaki üç kenarlı konum söz konusudur :

- 1- Tıkama konumu
- 2- Kesim konumu
- 3- İletim konumu

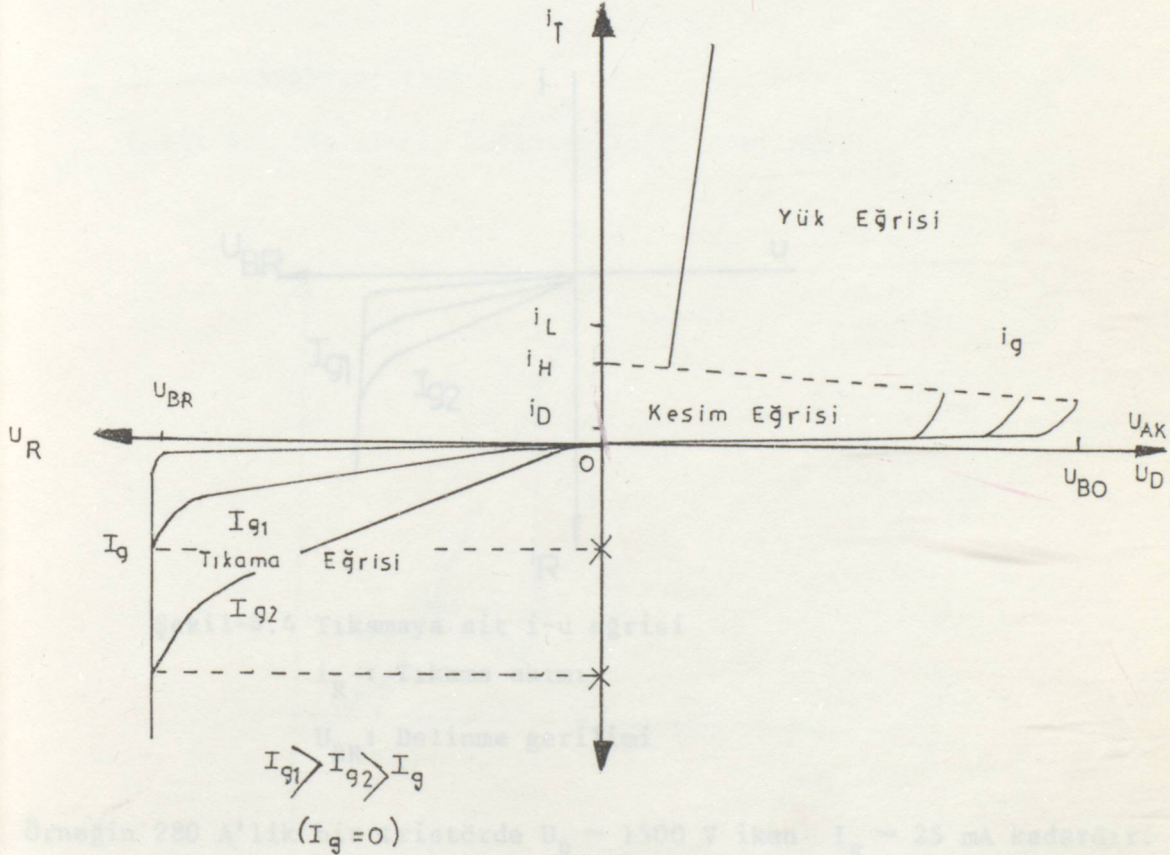
Tıkama karakteristiği

Negatif yönde kutuplama ile, uygulanan gerilim iki dış tabakadaki hareketli yük taşıyıcılarını çeker ve böylece taşıyıcı bakımından güçsüzleşen yerler büyük dirençli bölgeler oluşturur.

Tristörün bu bölgesindeki karakteristiğe "Tıkama Karakteristiği" adı verilir.

Tristörden iç direncinin belirlediği bir tıkama akımı akar, büyük tristörler için (mA) mertebesinde olabilir. Tıkama konumunda elemana kapı akımı (I_g) uygularsak, tıkama akımı artar.

Şekil-4.4'de tıkama karakteristiği verilmiştir.



Şekil-4.3 Bir Tristörün akım gerilim karakteristiği.

U_{BR} : Delinme gerilimi

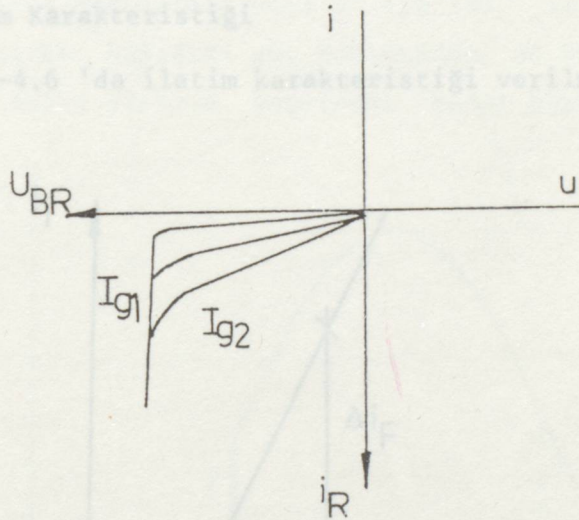
U_{BO} : Devrilme gerilimi

i_L : Kilitleme akımı

- i_H : Tutma akımı
 i_D : Sızdırma akımı
 i_T : Yük (iletim) akımı
 U_R : Tıkama gerilimi
 i_R : Tıkama akımı
 U_D : Kesim gerilimi
 I_g : Kapı akımı

gibi karakteristik tanım değerleri önem taşır.

Şekil-4.4'de tıkama karakteristiği verilmiştir.



Şekil-4.4 Tıkamaya ait i - u eğrisi

i_R : Tıkama akımı

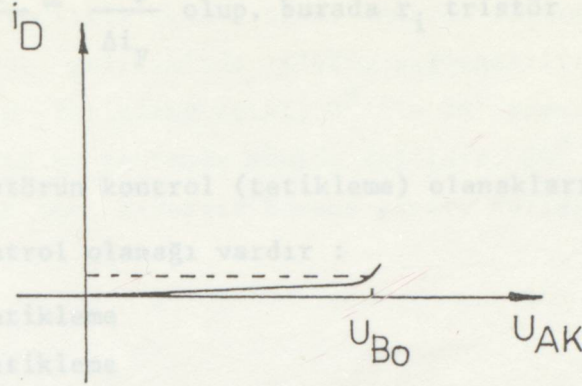
U_{BR} : Delinme gerilimi

Örneğin 280 A'lık bir tristörde $U_R = 1500$ V iken $I_R = 25$ mA kadardır.

Kesim Karakteristiği

Tristöre uygulanan (+) gerilim, hareketli yük taşıyıcılarını orta tabakadan çeker ve böylece büyük dirençli bir bölge oluşturulur. Bu nedenle, elemana doğal yönde (yani pozitif) gerilim uygulandığı halde gene de akım akıtmayabilir. Anot-katot gerilimi pozitif olduğundan tristör iletimdedir, ancak akım akıtmamaktadır (kesim). Bu anda tristörden bir (sızdırma) kesim akımı I_D akar. Şekil-4.5'de kesim olayına ait karak-

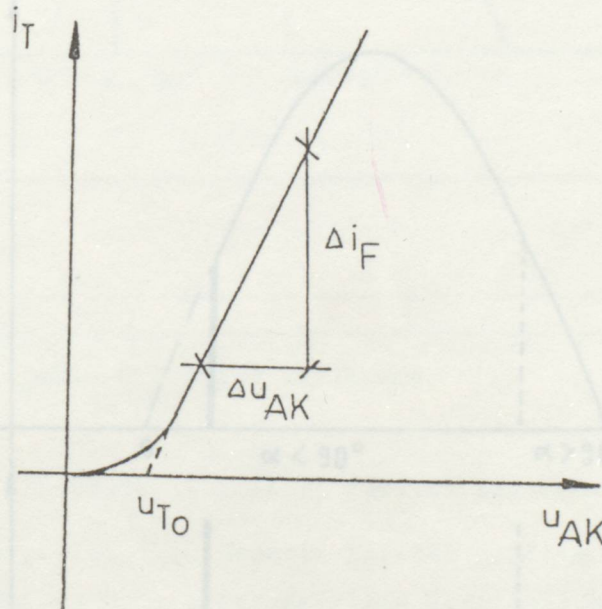
teristik verilmiştir.



Şekil-4.5 Kesim eğrisi.

İletim Karakteristiği

Şekil-4.6 'da iletim karakteristiği verilmiştir.



Şekil-4.6 İletim eğrisi.

$i_T = i_F$: İletim akımı

U_{To} : eşik gerilimi

U_{A-K} : Anot-katot gerilimi

Kontrol akımı akıdığı sürece, tetikleme, ancak sıfır devrilme gerilimi $r_i = \frac{\Delta U_{A-K}}{\Delta i_F} = \frac{\Delta U_F}{\Delta i_F}$ olup, burada r_i tristör elemanın iç direncidir. küçük anot-katot geriliminde iletim sağlanabilir. Kontrol akımının değiştirilmesiyle tetikleme açısı, 0° ile 90° arasında ayar edilebilir.

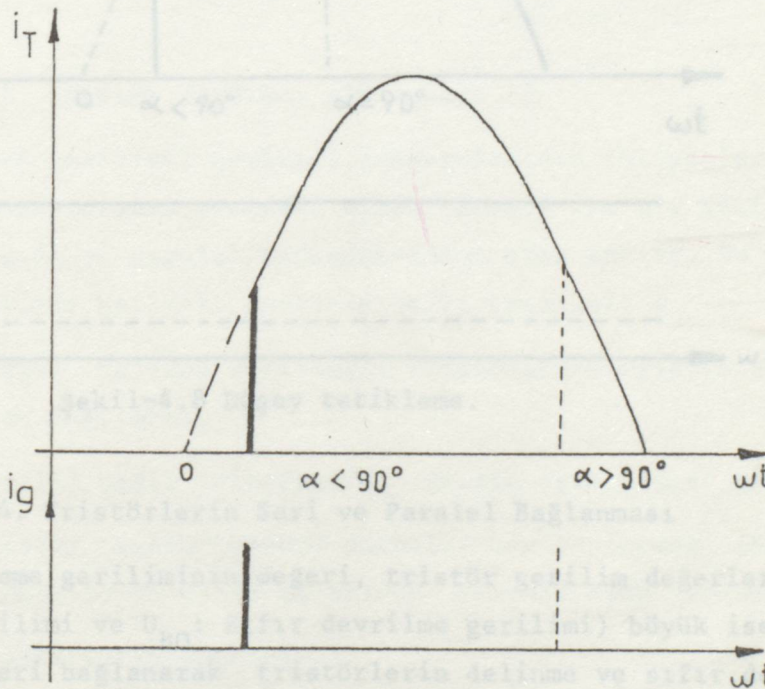
4.3.3. Tristörün kontrol (tetikleme) olanakları

İki tip kontrol olanağı vardır :

- 1- Yatay tetikleme
- 2- Düşey tetikleme

Yatay tetikleme

Burada tetikleme, fazı kaydırılabilen bir tetikleme darbesiyle yapılır. Tetikleme darbesinin yeri 0° ile 180° arasında değiştirilebilir. Seçilecek darbe, taşıdığı güç bakımından, en küçük anot-katot geriliminde bile tristörü ilettime geçirecek kadar büyük olmalıdır. (Şekil-4.7)

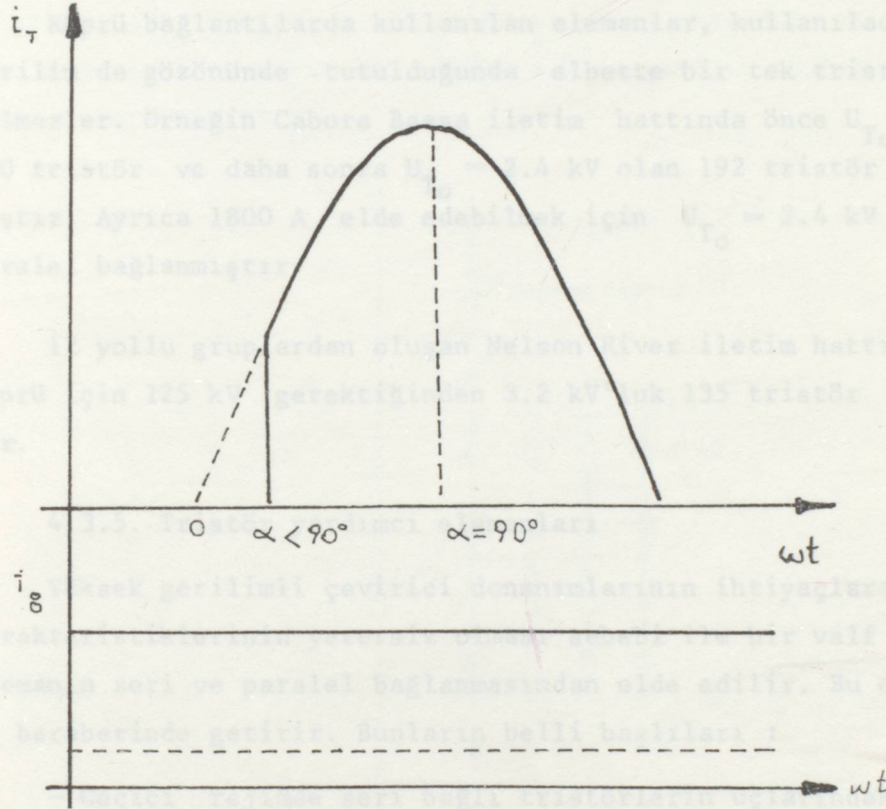


Şekil-4.7 Yatay Tetikleme.

Düşey Tetikleme

Düşey tetikleme prensibinde, karakteristikteki U_B devrilme geriliminin i_g kontrol akımına bağlılığından hareket edilir.

Kontrol akımı akmadığı sürece, tetikleme, ancak sıfır devrilme gerilimi U_{BO} 'nın aşılmasıyla mümkün olur. Kontrol akımının artmasıyla, daha küçük anot-katot geriliminde iletim sağlanabilir. Kontrol akımının değiştirilmesiyle tetikleme açısı, 0° ile 90° arasında ayar edilebilir. 90° için tetikleme bu yöntemle mümkün değildir. 90° ye yakın tetikleme açılarında, tetikleme kararsız konuma girer. Kullanılması pratikte sınırlıdır.



Şekil-4.8 Düşey tetikleme.

4.3.4. Tristörlerin Seri ve Paralel Bağlanması

Besleme geriliminin değeri, tristör gerilim değerlerinden (U_{BR} : delinme gerilimi ve U_{BO} : Sıfır devrilme gerilimi) büyük ise, yeter sayıda tristör seri bağlanarak tristörlerin delinme ve sıfır devrilme gerilimlerinin altında kalması sağlanır. Ancak seri bağlamada bazı önlemler alınmalıdır. Tristörlerin geçici rejimde uçlarına eşit gerilim düşmesi için paralel R-C devreleri kullanılır. Sürekli rejimde iken eşit gerilim sağlamak için ise paralel direnç veya zener diyod kullanılır. Seri bağlı tristörlerin aynı anda ilettime geçmesi gerekir.

Yük akımı bir tristörün akımından büyük ise, elemanlar paralel bağlanır. İletim durumunda, tristörlerin uç gerilimleri her zaman eşit olamayacağından, paralel tristörlerdeki akım dağılımı da farklıdır. Tüm elemanlarda aynı jonksiyon sıcaklığı sağlamak için, hepsi aynı soğutucuya bağlanır. Tüm elemanlar ilettime geçinceye kadar kapı işareti uygulanmaya devam edilmelidir.

Köprü bağlantılarda kullanılan elemanlar, kullanılacak akım ve gerilim de gözönünde tutulduğunda elbette bir tek tristörden meydana gelmezler. Örneğin Cabora Bassa iletim hattında önce $U_{T_0} = 1.65$ kV olan 280 tristör ve daha sonra $U_{T_0} = 2.4$ kV olan 192 tristör seri bağlanmıştır. Ayrıca 1800 A elde edebilmek için $U_{T_0} = 2.4$ kV olan iki tristör paralel bağlanmıştır.

12 yollu gruplardan oluşan Nelson River iletim hattında her 6 yollu köprü için 125 kV gerektiğinden 3.2 kV'luk 135 tristör seri bağlanmıştır.

4.3.5. Tristör yardımcı elemanları

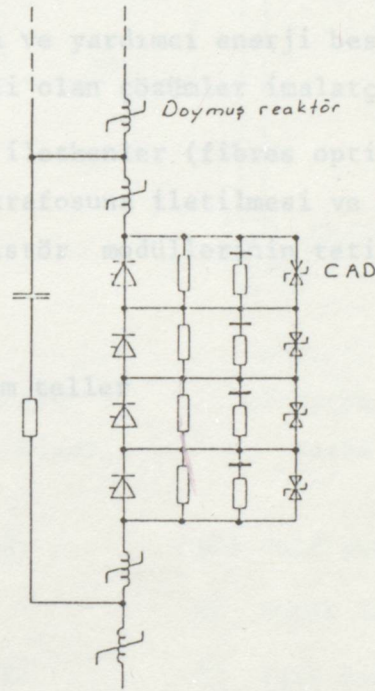
Yüksek gerilimli çevirici donanımlarının ihtiyaçlara göre tristör karakteristiklerinin yetersiz olması sebebi ile bir valf çok sayıda elemanın seri ve paralel bağlanmasından elde edilir. Bu da bir çok sorunu beraberinde getirir. Bunların belli başlıları :

- Geçici rejimde seri bağlı tristörlerin uçlarındaki gerilimlerin eşit olarak dağılması,
- Paralel bağlı tristörlerde akımın eşit olarak dağılması,
- Tristör ızgara kumanda darbelerinin beslenmesi (büyük genlikte ve eşit zamanlı) ve köprü uçlarında gerekli olan izolasyonun sağlanması,
- Tristörlerin soğutulması.

4.3.5.1. Gerilim bölücü devreler

İletim süresince bir valf, doğru ve alternatif gerilimler, komütasyon aşırı gerilimler, manevra veya şok darbeleri gibi değişik zorlamalara maruz kalabilir. Bunları önlemek için dirençler ve kondansatörler-

den oluşmuş gerilim bölücü devreler (zaman sabiti küçük seçilmiş) kullanılır. Dirençler kaçak akımları kompanze ederler. Kondansatörlerde komütasyon aşırı gerilimlerinin şiddetini azaltırlar ve parazitlerin dalga biçimlerini düzeltirler. Bu gerilim bölücü devre ile toprak arasına genelde doymuş bir reaktör eklenir. Bu reaktör gerilim dalgalımını düzelttiği gibi du/dt ve di/dt 'nin tristörlere yaptığı zorlamaları da azaltır ve tetikleme osilasyonları da söndürür. Bazen her tristöre ıçığ kontrollu diyotlarda (CAD) bağlanır ve bu diyotlar pik değerleri sınırlarlar. Şekil-4.9'da gerilim bölücü bir devre tasarımını gösterilmiştir.



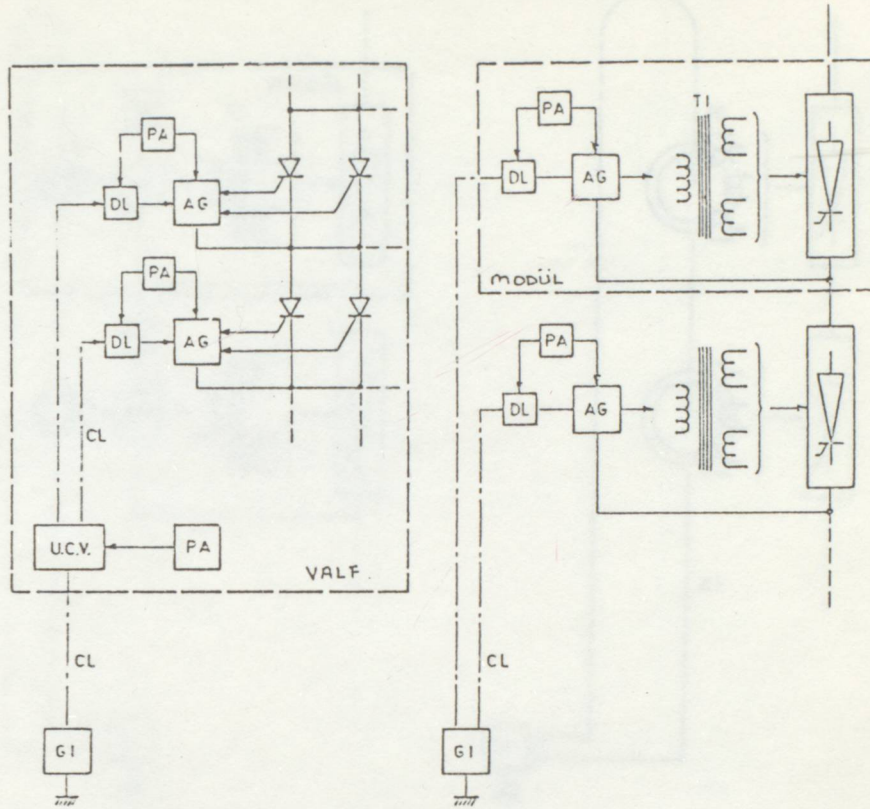
- Kısa süreli darbeler. Köprünün debloke olması için özel bir düzen gereklidir. Tristör tetikleme devreleri için gerekli olan yardımcı güç kaynağının düşük güçlü olması avantajı vardır. Bu güç valfin uçlarına direkt olarak uygulanabilir ve bu da yardımcı trafo kullanmayı gerektirmez.

- Valfin iletim süresince ya da 120° elektriki açı ile kumanda edilmesi. Bu sistem tristör valflerin tetiklenmesi için kolayca kullanılabilen bir yöntemdir ve bu sistemde yardımcı güç kaynağının önemi büyüktür. Bu sistemin en büyük avantajı komütasyon akımındaki bir osilasyon sonrası valfin debloke olmayıp ilettime devam etmesidir.

Galvanik izolasyon ve yardımcı enerji beslemelerine zarar vermemek için kullanılması gerekli olan çözümler imalatçılara göre çok farklıdır.

- Optik okuyuculu iletkenler (fibres optique) ile sıfır potansiyel-
deki darbelerin darbe trafosuna iletilmesi ve burada elektrik darbeleri
şekline dönüştürülüp tristör modüllerinin tetiklenmesi.

Fibres optiques: Cam teller



a) Sadece optik okuyuculu
iletkenler ile tetikleme.

b) Optik okuyucu iletkenler ve
darbe trafosu ile tetikleme.

PA Yardımcı güç kaynağı

UCV Valf kumanda ünitesi

DL Işık dedektörü

CL Optik iletici

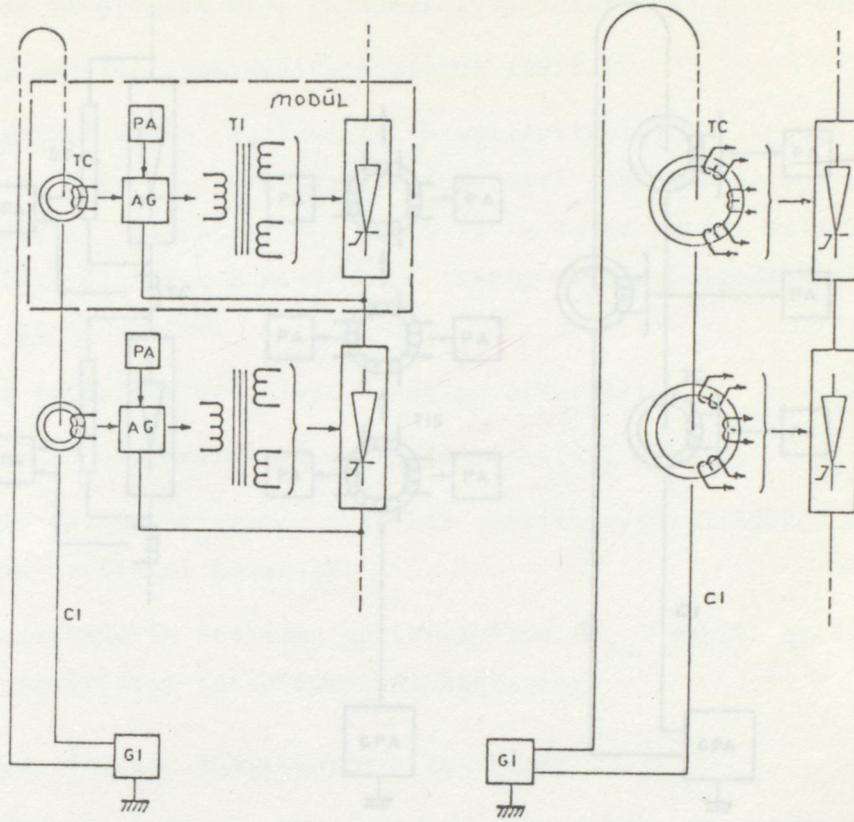
AG Izgara akımı amplisi

GI Işık darbe generatörü

TI Darbe trafosu

Şekil-4.10 Optik okuyuculu düzenlerle valf tetikleme devreleri.

- Valflerin soğutulmasında kullanılan hava ile tahrik edilen bir türbinin çevirdiği generatör ile tetikleme.



a) Akım trafosu ve darbe trafosu ile tetikleme.

b) Yardımcı güç kaynağı kullanmadan akım trafosu ile tetikleme.

PA Yardımcı güç kaynağı

GI Darbe generatörü

AG Izgara kumanda darbesi

TI Darbe trafosu

TC Akım trafosu

CI İzoleli iletken

Şekil-4.11. Akım trafolu düzenlerle valf tetikleme devreleri.

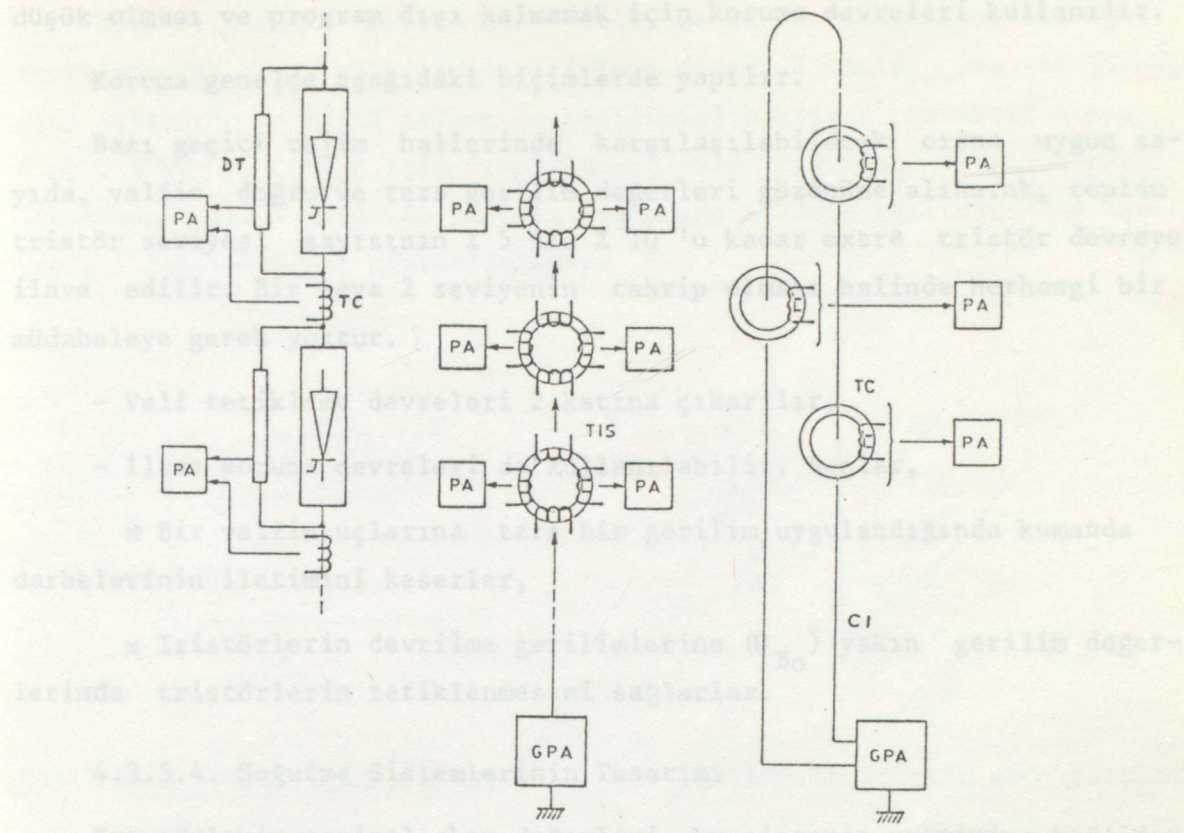
- Yüksek permeabiliteli çekirdeğe sahip bir akım trafosu ile tetikleme,

- Kaskat bağlı darbe trafosu ile tetikleme

- İzolasyon trafosu ile tetikleme.

4.3.3.2. Kurma Devreleri

Kullanılabilirlik oranının yüksek olması gerekir. Arıza sonrası tekrar işletmeye alınması ve arıza sırasında mümkün olan işlemlerin süresinin



a) Gerilim bölücü ve akım trafosu ile tetikleme.

b) Kaskat bağlı izolasyon trafosu ile tetikleme

c) Akım trafosu ile tetikleme.

PA : İzgara kumanda darbesinin güç beslemesi

TC : Akım trafosu

DT : Gerilim bölücü

TIS : İzolasyon trafosu

GPA : Yardımcı güç kaynağı

• Enerji geri alma düzenleri ile valfin tetiklenmesi.

- Valfe gerilim uygulandığı andan itibaren bütün iletim süresince tristör veya modülün uçlarından enerji alarak stoklayan ve tetikleme anında bu enerjiyi kullanan düzenler ile tetikleme.

4.3.5.3. Koruma devreleri

Kullanılabilirlik oranının yüksek olması istenir. Arıza sonrası tekrar işletmeye alma ve arıza sırasında müdahale etme işlemlerinin süresinin

düşük olması ve program dışı kalmamak için koruma devreleri kullanılır.

Koruma genelde aşağıdaki biçimlerde yapılır.

Bazı geçici rejim hallerinde karşılaşılabilecek orana uygun sayıda, valfin doğru ve ters gerilim değerleri gözönüne alınarak, toplam tristör seviyesi sayısının % 5 ile % 10 'u kadar extra tristör devreye ilave edilir. Bir veya 2 seviyenin tahrip olması halinde herhangi bir müdahaleye gerek yoktur.

- Valf tetikleme devreleri 2 katına çıkarılır,

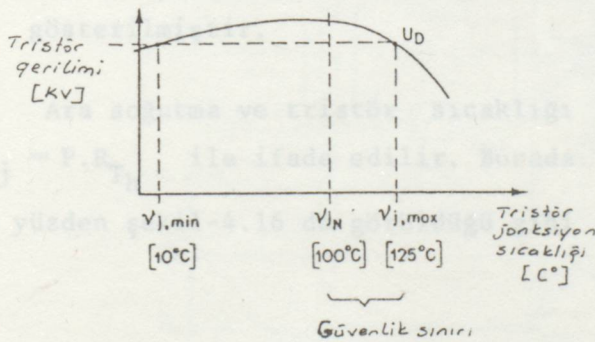
- İlave koruma devreleri de kullanılabilir. Bunlar,

✱ Bir valfin uçlarına ters bir gerilim uygulandığında kumanda darbelerinin iletimini keserler,

✱ Tristörlerin devrilme gerilimlerine (U_{Bo}) yakın gerilim değerlerinde tristörlerin tetiklenmesini sağlarlar.

4.3.5.4. Soğutma Sistemlerinin Tasarımı

Tristörlerin nominal akım değerleri bu sistemin verimine bağlıdır. Şekil-4.12 den 4.17'ye kadar olan şekillerde tristör valflerin soğutma sistemlerini tasarımında dikkate alınması gerekli olan parametreler gösterilmiştir.

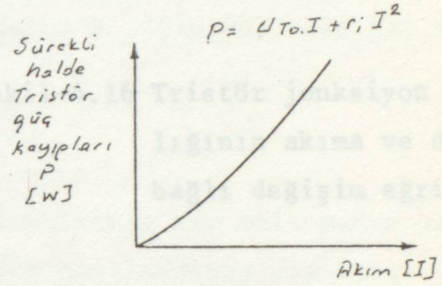
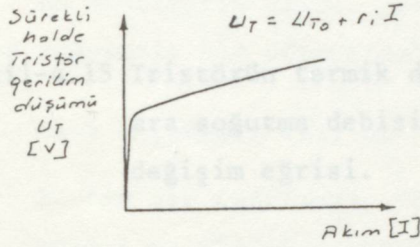


γ_j : Nominal yük koşullarında gerçek jonksiyon sıcaklığı

γ_{jN} : Sürekli halde maksimum jonksiyon sıcaklığına göre seçilen bir değer.

Şekil-4.12 Tristör tıkama gerilimi ile jonksiyon sıcaklığı arasındaki bağıntı.

Tristör gerilim düşümü Şekil-4.13 'de gösterildiği gibi akımın fonksiyonudur. U_{T_0} eşik gerilimi (Tipik değeri 1V), r_i ise iç direnç olup tristörün aktif alanı ve gerilimine bağlıdır. (Effektif alanı 8 cm^2 , 3 KV ve 1000 A için tasarlanmış bir tristörün yaklaşık gerilim düşümü 1.5 V tir). Bu gerilim düşümünün meydana getirdiği güç kayıpları Şekil-4.14'de gösterilmiştir.

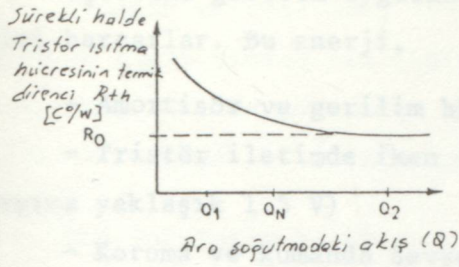


Şekil-4.13 Tristör gerilim düşümü.

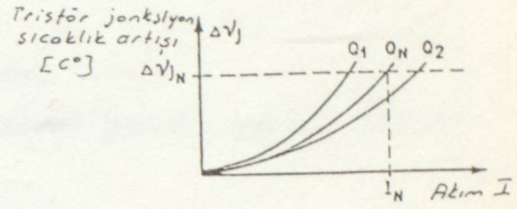
Şekil-4.14 Tristör güç kayıpları.

Tristör ısıtma hücresinin verimi termik direnci ile ifade edilir. Bu direnç $R_{Th} = R_o + k \cdot 1/Q_2$ ile ifade edilir. Burada R_o , tristör sıcaklığının artmasına karşı düşen direnç değeridir ve ara soğutma sisteminden akan sıvının debisine (Q) bağlıdır. Şekil-4.15'de R_{Th} ile Q arasındaki ilişki ve ısıtma hücresi için seçilmiş optimum akış değeri Q_N gösterilmiştir.

Ara soğutma ve tristör sıcaklığı arasındaki sıcaklık artışı $\Delta V_j = P \cdot R_{Th}$ ile ifade edilir. Burada $P = f(I)$ ve $R_{Th} = f(Q)$ dir. Bu yüzden şekil-4.16 da görüldüğü gibi $\Delta V_j = f(I, Q)$ yazabiliriz.

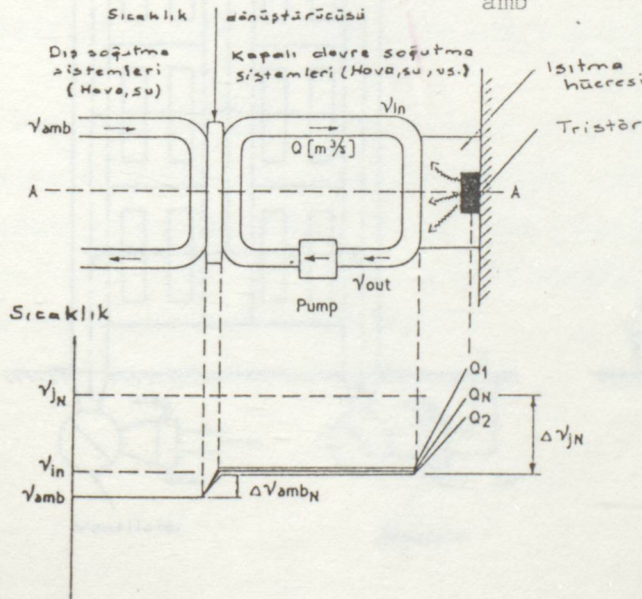


Şekil-4.15 Tristörün termik direncinin ara soğutma debisine bağlı değişim eğrisi.



Şekil-4.16 Tristör jonksiyon sıcaklığının akıma ve debiye bağlı değişim eğrisi.

Şekil-4.17'de soğutma sisteminin diğer dış sistemlere (Nehir veya deniz suyu ile soğutma kulesi) ve kapalı sistem (Hava veya yağ) ile birlikte gösterilmiştir. Tristör ısıtma hücresine bağlanmıştır. Soğutma sisteminin değişik kısımlarındaki sıcaklık durumları A-A kesiti boyunca şeklin alt kısmında gösterilmiştir. Çevre sıcaklığını etkileyen parametreler akım (I) ve ara soğutmadaki v_{amb} akış hızı (Q) dir.



Şekil-4.17 Tristör valfin soğutma sisteminin şematik gösterilişi.

Soğutma sistemi için gerekli şart

$$V_{jN} < V_{amb} + \Delta V_{amb} + \Delta V_j \text{ dir.}$$

4.3.5.5. Soğutma sistemleri

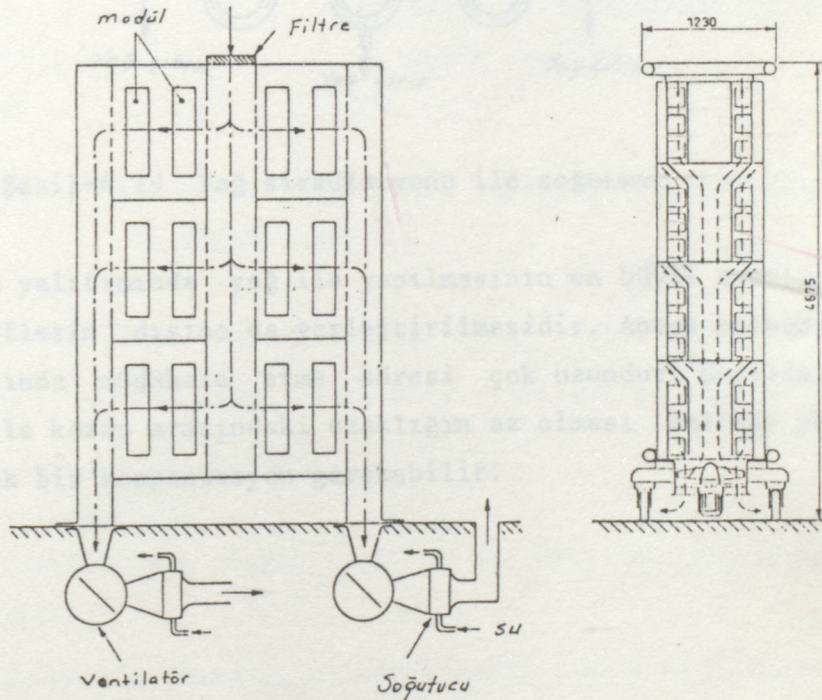
Uçlarına gerilim uygulandığı andan itibaren tristör valfler ısı enerjisi harcarlar. Bu enerji,

- Amortisör ve gerilim bölücü devrelerde,
- Tristör iletimde iken tristör uçlarındaki gerilim düşümü (Tristör başına yaklaşık 1.5 V)
- Koruma ve kumanda devrelerinde harcanır.

Bu devrelerin aşırı ısınmalarından sakınmak için her valf yağ, su veya soğutmalı bir düzene sahip olmalıdır.

Hava soğutmalı valfler

Bu tip bir soğutmada, tristör modülleri yalıtkan bir malzemeden yapılmış madeni kutuların içine konarak zorlamalı havalandırma yapılır.



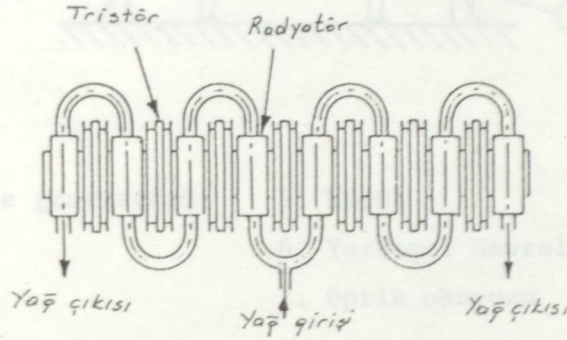
Şekil-4.18 Hava sirkülasyonu ile soğutmalı valfler.

Su Soğutmalı Valfler

İyondan arındırılmış su ile tristörlerin fazla ısınmaları önlenir ve buna bağlı olarak ısı değiştirici cihaz ve bağlantılarının boyutları küçülür. Bu yöntemde suyun direncinin 2 M Ω dan büyük olması için iyon arındırma filtrelerine ihtiyaç vardır.

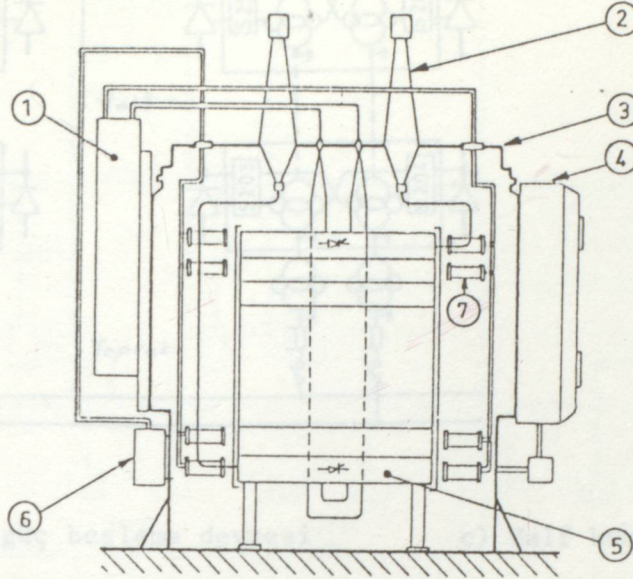
Yağ Soğutmalı Valfler

a) İç yalıtımın hava ile yapılması halinde borulardaki tıkanıklıklar azalır. Fakat buna karşılık sistemi gerçekleştirmek için gerekli olan hazırlık süresi daha fazladır.



Şekil-4.19 Yağ sirkülasyonu ile soğutma.

b) İç yalıtımında yağ ile yapılmasının en büyük avantajı bu sistemin valflerin dışına da yerleştirilmesidir. Ancak herhangi bir arıza sonrasında müdahale etme süresi çok uzundur. Gerilim altındaki kısımlar ile kazan arasındaki uzaklığın az olması halinde parazitler artar ve ek bir kompanzasyon gerekebilir.



- | | |
|----------------------------|--|
| 1. Izgara darbe generatörü | 5. Modül |
| 2. Travers | 6. Yardımcı devrelerin bağlantı kutusu |
| 3. Yağ kazanı | 7. Optik okuyucu |
| 4. Soğutucu | |

Şekil-4.20 İç yalıtımında yağla yapıldığı bir tristör valfin iç donanımları.

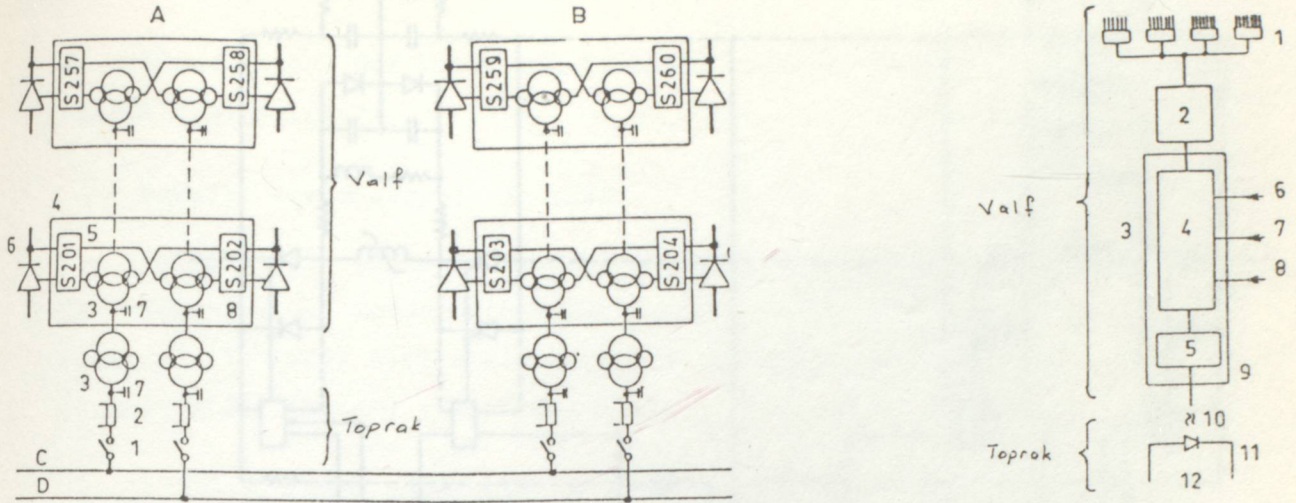
4.3.6. Günümüzde Kullanılan Valflerle İlgili Bazı Bilgiler

4.3.6.1. 50 KV - 220 A ASEA Valfi (Gotland Kanalı)

- 60 tristör (3 KV-250 A), 15 katlı
- Hava soğutmalı
- Gerilim bölücü olarak basit RC devreleri ve non-lineer bir direnç kullanılmıştır.

- Kısa süreli darbelerle tetiklemeli (15-30 μ s). Darbelerin iletimi 2 etaplı olup optik iletkenler kullanılmıştır.

- Yardımcı güç beslemesi kaskat bağlı izolasyon trafosu ile yapılmaktadır. 115/115/15/15 V - $f = 50$ Hz.



a) Yardımcı güç besleme devresi

c) Valf kumanda ünitesi

3. İzolasyon trafosu

1. Foto diyodlar

5. İzgara darbe generatörü

2. Ampli

7. Kondansatör

4. Lojik devreler

8. Optik iletken

6.7.8. Koruma devreleri

10. Optik iletken

Şekil-4.21 50 KV-200 A ASEA valfi.

4.3.6.2. GECO Valfleri

- Her modül 10 tristör seviyesinden oluşmuştur. Her seviye 1 veya daha fazla sayıda tristörün paralel bağlanması ile oluşmuştur. Bu valflerde 2.5 KV-500 A'lık tristörler kullanılmıştır.

* Eel River istasyonunda 40 KV - 1000 A, her valf 5 modül ve her seviyede 4 tristör bulunmaktadır.

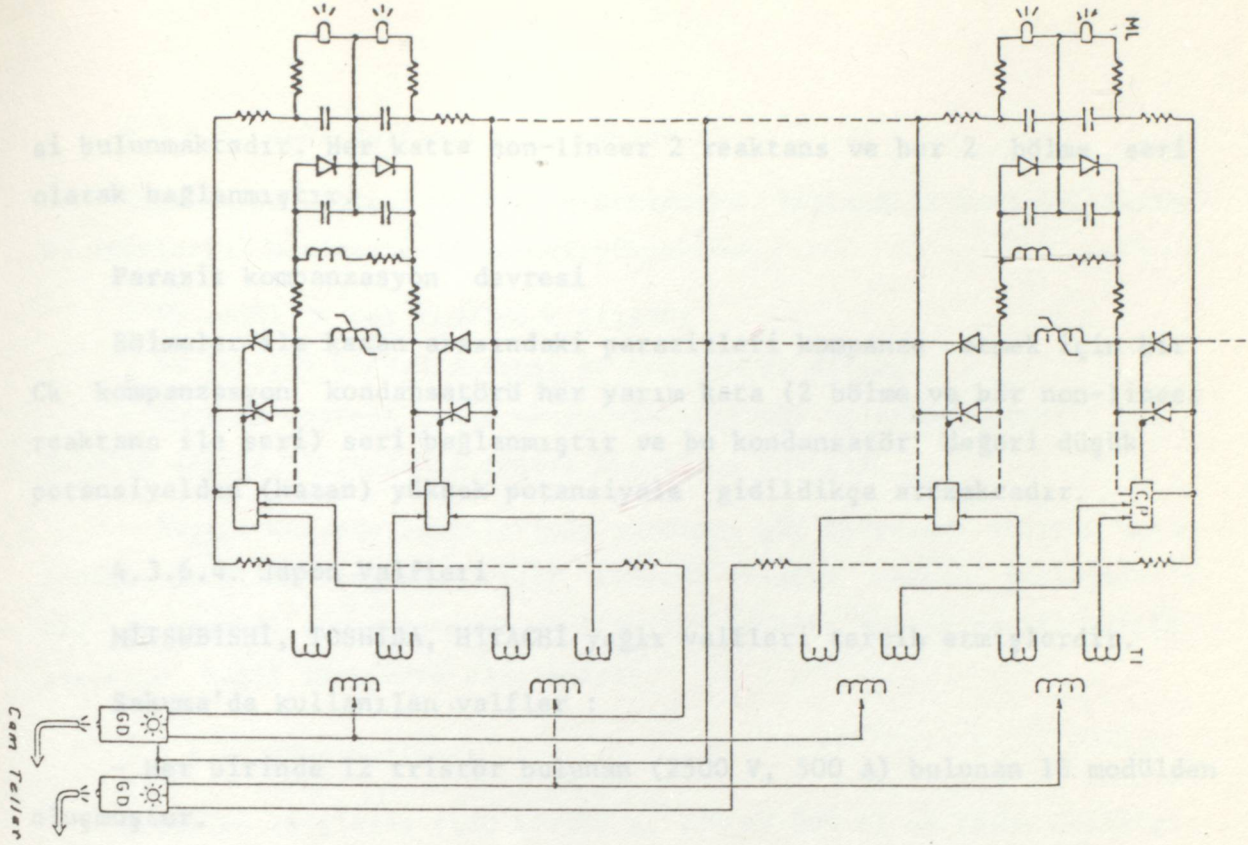
* Echinghen istasyonunda 100 KV- 1000 A, her valf 12 modül ve her seviyede 4 tristör bulunmaktadır.

- Soğutma hava ile

- Gerilim bölücü olarak RC devresi ve doymuş reaktör

- Optik iletken ve darbe trafosu ile kumanda

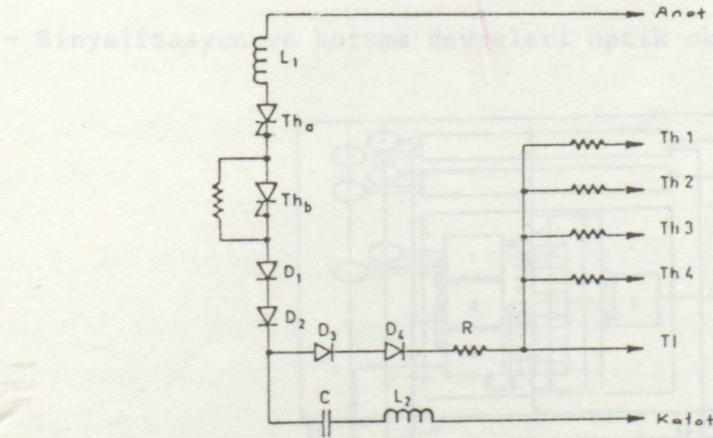
- Her tristör seviyesinde U_{B_0} değerini kontrol eden ve bu sınır değere yakın gerilimlerde ızgaraya kumanda edecek olan koruma düzenleri bulunmakta.



CP: Kontrol kartı TI: Darbe trafosu

ML: Arızalı seviye sinyalizasyonu GD: Darbe generatörü

Şekil-4.22 Bir modülün elektriksel eşdeğer şeması. (GECO valfi)



Şekil-4.23 Kontrol kısmının şeması.

4.3.6.3. AEG-B.B.C - SİEMENS

Son yıllarda iç yalıtımın hava ile yapıldığı yağ soğutmalı valflerin imalatına ağırlık vermiştir. Bu valflerin her katında belirli sayıda bölme bulunmaktadır. Her katta 4 bölüm ve her bölümde 7 tristör seviye-

si bulunmaktadır. Her katta non-lineer 2 reaktans ve her 2 bölme seri olarak bağlanmıştır.

Parazit kompanzasyon devresi

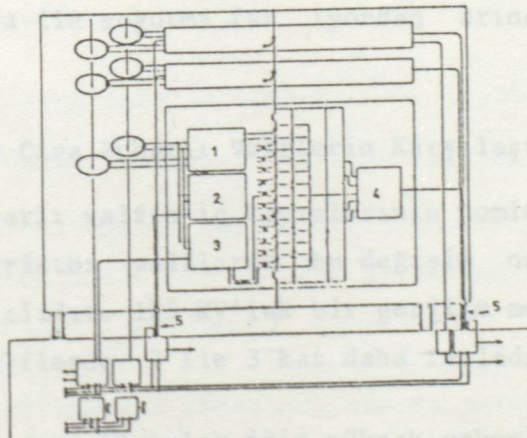
Bölmeler ile kazan arasındaki parazitleri kompanze etmek için bir Ck kompanzasyon kondansatörü her yarım kata (2 bölme ve bir non-lineer reaktans ile seri) seri bağlanmıştır ve bu kondansatör değeri düşük potansiyelden (kazan) yüksek potansiyele gidildikçe artmaktadır.

4.3.6.4. Japon Valfleri

MITSUBISHI, TOSHIBA, HITACHI yağlı valfleri tercih etmişlerdir.

Sakuma'da kullanılan valfler :

- Her birinde 12 tristör bulunan (2500 V, 500 A) bulunan 16 modülden oluşmuştur.
- Gerilim bölücü olarak RC ve non-lineer direnç kullanılmıştır.
- İzolasyon trafosu ile valflerin tetiklenmesi için gerekli olan yardımcı güç sağlanır.
- 120° elektriki açı süresince darbe trafosu ile ızgara kumandası
- Sinyalizasyon ve koruma devreleri optik okuyuculu



- | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Izgara kumanda devresi | 4. Tahrip olmuş tristör dedektörü |
| 2. Kumanda devresi arıza dedektörü | 5. Optik iletken |
| 3. Ters gerilim dedektörü | |

Şekil-4.24 Bir Japon valfinin elektriksel şeması.

4.3.6.5. ASEA Valfleri (250 KV-560 A)

İnga-Shaba (Zaire) ve Norveç-Danimarka bağlantılarında kullanılan bu valflerin besleme gerilimleri yüksektir.

- 40 modül ve her modülde 6 tristör
- RC gerilim bölücü devresi ve non-lineer direnç
- Kumanda devresi optik okuyuculu. Tristör uçlarında negatif bir gerilim değeri oluştuğunda ızgara kumandası kesilir.

- Izgara kumanda ünitelerinin yardımcı güç devreleri tristör uçlarındaki gerilime bağlıdır. Valf kumanda ünitesi katota yerleştirilmiş ve gerekli güç soğutmada kullanılan havanın tahrik ettiği valfin şasesine bağlı türbinden elde edilir.

4.3.6.6. URSS Valfleri

Üretilen valflerin (100 kV-150 A, 100 kV-900 A) en büyük özelliği modüllerin paralel veya seri bağlanması ile servisteki bir valfin akım ve geriliminin değiştirilebilmesidir. (250 kV ve 4000 A'a kadar)

- Her modül seri bağlı 36 tristör hücresinden ve her hücre 1 veya 3 paralel tristör içermektedir.

- Gerilim bölücü devreler RC elemanları, çıkış diyotları ve non-lineer reaktansları içerir.

- İzolasyon hava ile soğutma ise iyondan arındırılmış su ile yapılmaktadır.

4.4. Tristör ve Civa Buharlı Valflerin Karşılaştırılması

a) Bir civa buharlı valfin iç kayıplarının nominal gerilime göre değişimi düşüktür. Tristör valflerde bu değişim nominal gerilim değeri ile doğru orantılıdır. 125 KV'luk bir gerilim mertebesi için bu kayıplar tristör valflerde 2 ile 3 kat daha fazladır.

b) Civa buharlı doğrultucular için yüksek vakumlu donanımlar gereklidir, bu sebeple elemanları işletmeye almadan önce bu donanımları çalışma sıcaklığına getirme zorunluluğu vardır (katot için $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) ve bu valflerin hatasız çalışma sınırı çok dar sıcaklık bantlarında gerçekleşir.

c) 12 fazlı uygulama ile harmonik filtreleri basitleştirme olanağı tristör valfler için geçerlidir ve yardımcı donanımlar daha azdır. Bu, toplam yüzeyin ve blokların alanlarının önemli bir şekilde azalmasını sağlar.

d) Civa buharlı doğrultucularda çalışma sıcaklığı önemli bir etken olduğundan, bu elemanlar ancak kapalı yerlerde tesis edilebilir. Oysa tristör bloklarını açık alanlara yerleştirmek mümkündür.

e) Civa buharlı valflerde ark atlaması olayı vardır. Bu olayın meydana geldiği hallerde arızalı köprü uzun bir peryot boyunca işletme dışında kalmakta ve kullanılabilirlik oranı düşmektedir.

f) Civa buharlı doğrultucularda ters gerilim bulunmasına karşın, tristörlerde böyle bir tehlike yoktur.

g) Valflerin modüller yapısı hata yüzdesini ve bakım uygulamalarının teorik olarak önceden hesaplanmasına olanak tanır. Bir kaç tristörün arızalanması sistemin işleyişini etkilemez, sadece işletmenin güvenlik katsayısının da önemsiz bir düşmeye neden olur. Genelde % 10 fazla eleman eklenmiş olan 150 KV'luk bir çevirici donanımının bakım süresi 1 yıldır. Bakım işlemi hava soğutmalı valflerde çok basittir, çünkü bu sistem kolayca kontrol edilebilecek bir kaç modülden meydana gelmiştir ve boyutları küçüktür.

h) Tristör valflerin fiyatları halen daha pahalıdır.

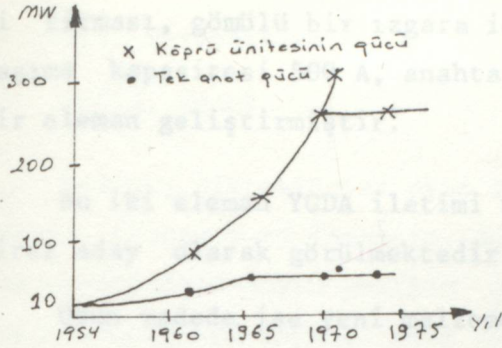
ı) Tristör valflerde şöntleme valfine (by-pass) ihtiyaç yoktur.

i) Yarı iletken malzemeler yüksek gerilimlere karşı daha duyarlıdır. Bundan dolayı izolasyon düzenleri işletme açısından önemlidir (özellikle valflere paralel parafudr kullanma)

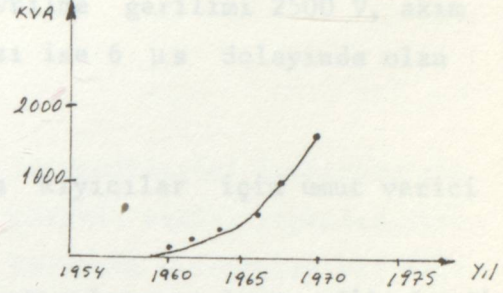
j) Valflerin tetiklenmesi esnasında oluşan parazitlerin dalgalanması tristör valflerde bir kaç μs 'dir. (Civa buharlı valflerden 1 μs daha az).

k) Civa buharlı valflerin nominal anot karakteristikleri tavan sınırına erişmiştir. Tek bir anot gücü artırılmayacağına göre yapılması

gerekli olan paralel bağılı anot sayısını arttırmaktır. Günümüzde 6 anotlu valfler halen kullanılmaktadır.



Şekil-4.25 Civa buharlı valflerle oluşturulmuş köprü güçlerinin gelişimi



Şekil-4.26 Tristörlerin nominal güçlerinin gelişimi.

Tristör güçlerinin artışı yarı iletken teknolojisindeki gelişme ile orantılı olarak tırmanışa devam etmektedir. Akım ve gerilim değerleri silisyum tekniğindeki ilerleme ve kullanılan pastil (Yonga) çapları ile ilgilidir.

YIL	PASTİL ÇAPI	KARAKTERİSTİKLER
1970	40 mm	Tristör : 2500 V, 500 A
1972	60 mm.	Tristör : 2500 V, 1000 A
1974	-	Tristör : 4000 V, 800 A
1976	-	Tristör : 2500 V, 1500 A
1978	75-100 mm	Tristör : 4000 V, 1500 A
1980	-	SiTh : 2500 V, 100 A

Tablo-4.1. 1970 'li yıllarda görülen gelişmeler.

Son yıllarda tristör ailesi içersindeki elemanlar arasına iki yeni eleman daha katılabilmesi için yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bunlardan birincisi alan denetimli tristör (FCT:field controlled thyristor) bir kapı işareti olmadan ilettime geçer ve kapıya ters yönde bir gerilim uygulanarak tıkamaya geçirilir.(General Electric).

İkinci eleman statik endüksiyon tristörü (SITh : Static induction thyristor) üzerinde Japonya'da yoğun çalışmalar yapılmakta olup, Hitachi firması, gömülü bir ızgara içeren, devrilme gerilimi 2500 V, akım taşıma kapasitesi 500 A, anahtarlama hızı ise 6 μ s dolayında olan bir eleman geliştirmiştir.

Bu iki eleman YGDA iletimi ve d.a/d.a kıyıcılar için umut verici birer aday olarak görülmektedir.

Uzun vadede ise yeni malzemelerin araştırılmasına devam edilmektedir. (Karbonlu silisyum gibi).

		Akım/gerilim değerleri
Zorlamalı aktarmalı Uygulamalar için tristörler	Ters tıkamalı	4000 V/3000 A
	Işık tetiklemeli	6000 V/1500 A 8000 V/1200 A Prototipler
	Yüksek hızlı, Ters tıkamalı	1200 V/1500 A 2500 V/400 A
	Ters geçiren	2500 V/1000 A Ters (400 A)
Kapıdan tıkanabilen tristörler	GTO	3600 V/600 A (1000 A denetleme)
	SITh	4000 V prototip 2200 A denetleme

Tablo-4.2 1982 ortalarında güç elektroniği elemanları.

5. DOĞRU AKIMLA İLETİMİ ZORLAŞTIRAN BAZI ETKENLER

5.1. Harmonikler

5.1.1. Genel

Bir güç sistemindeki akım ve gerilim harmoniklerini incelememizin nedeni, rezonans ve iletişim devrelerine parazit etkisi yapmalarıdır. Bir çeviricinin doğru gerilim çıkışında harmonik bileşenler yer alır, bunun sonucu hat boyunca akım ve gerilim harmonikleri oluşur.

Bunları süzme bobini ile azaltmak mümkündür.

γ azaltıldıkça harmoniklerde de düşme gözlenir. Belli bir γ için α 'daki değişimler, harmonik bileşenlerde büyük azalmalar oluşturmaz, zaten α için olabilecek en büyük değişiklik 0° ile 10° arasındadır.

Normal işlemede α , 10° den küçük olup, γ da 20° mertebesinde dir. Bundan ötürü harmonikler küçük düzeydedir.

Ancak arıza halinde α , hemen hemen 90° ye ulaşır, γ gene küçük değerlerde kalmasına karşın büyük mertebede harmoniklerin üretilmesi kaçınılmazdır.

Doğru gerilim ve şebeke akımındaki harmoniklerde en önemli faktör, çeviricinin yol sayısıdır. Zira yol sayısı, ortaya çıkan harmoniğin numarasını belirler. Darbe sayısı ve dönüştürücü trafonun bağlantı şekli uygun seçilmek şartıyla bazı harmonikler ortadan kaldırılabilir.

Komütasyon devresindeki reaktanslar, şebeke akımının büyük numaralı harmoniklerini zayıflatırlar. Bu reaktanslar komütasyon sırasında ani akım değişmelerine engel olurlar. Harmoniklerin azaltılması için diğer bir önlem, belirli harmonikleri süzen (yutan) devrelerden yararlanmaktır. Bu devrelere "filtre" adını veriyoruz. Örneğin 6-yollu bir çeviricide en etken 5. ve 7. harmonikler, uygun şekilde hesaplanmış filtrelerle zayıflatılabilir. Genel olarak büyük numaralı harmoniklerin genlikleri düşme gösterir.

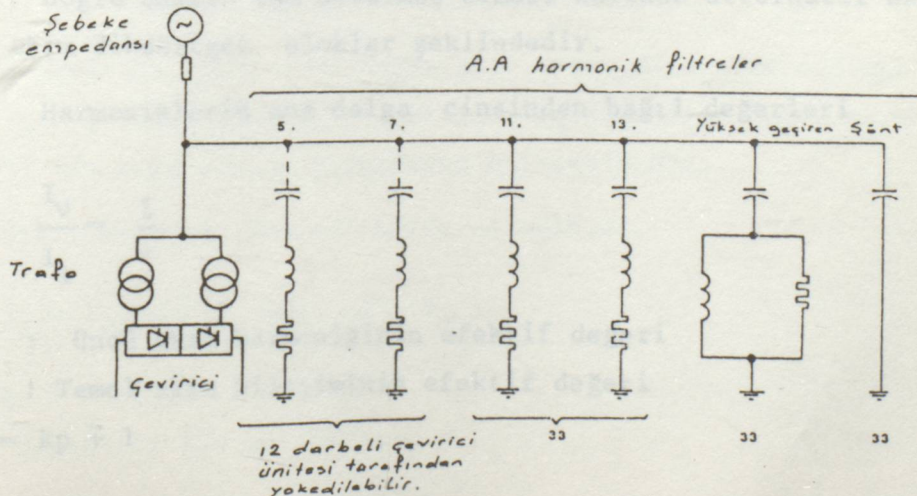
Tablo-5.1 leri harmonik bileşen mertebesine, akımı, gerilime ve güce bağlı olarak değişebilir. Aynı şekilde değişik harmonikler da kullanılabilir.

Harmonikler	5	7	11	13	17	19	23	25
Alternatif akım tarafında I_h/I_o % distorsiyonu (1)	16.5	9.5	3	1.5	1	1	0.8	0.6
Filtre edilmemiş alternatif gerilimin distorsiyon yüzdesi	16.5	13	7	4	3.5	3.5	3.5	3
Filtre edilmiş alternatif gerilimin distorsiyon yüzdesi	0.7	0.7	0.5	0.5	0.15	0.15	0.15	0.15

(1) $\alpha = 15^\circ$ $\gamma = 25^\circ$ için

(2) Kısa devre gücü çevirici gücünün 5 katı ve frekansın şebeke frekansı ile orantılı olduğu kabulü ile.

Şekil-5.1 'de bir alternatif akım filtre düzeni gösterilmiştir. Bu filtreler şebekenin yüksek gerilimli fazlarına ya da trafoların 3. sarmılarına direnç ve kondansatörden oluşmuş seri endüktans devreleri olarak eklenirler. Bu devrelerin rezonans frekansları yüksek mertebedeki harmonikleri içerir (5.7.11.13). Daha yüksek mertebedeki harmonikler için kullanılan amorti (şiddetini zayıflatan) filtrelerin empedans değerleri düşük, frekans bantları ise daha geniştir. Temel harmonik filtrelerin ayarlanması otomatik olarak da yapılabilir. Bu ayarlama işlemi ya bir tap değiştirici ile ya da sarmıların arasındaki elektromagnetik kuplajın değiştirilmesi ile yapılır.



Şekil-5.1 Alternatif akım filtre düzeni.

Elemanların değerleri, süzecekleri harmonik bileşen mertebesine, akıma, gerilime ve güce bağlı olarak değişebilir. Aynı şekilde değişik bağlantılar da kullanılabilir.

Örneğin İngiltere-Fransa doğru akım iletim sisteminde yer alan Lydd istasyonuna ait harmonik filtre düzeni ve değerler şöyledir (Şekil-5.2)

Gerilim harmoniklerinin ideal boşta çalışma gerilimi V_o 'a oranları

$$\frac{V_v}{V_o} = \frac{\sqrt{2}}{v^2 - 1} \quad (5.1)$$

yazılabilir. Burada

V_v : v üncü gerilim harmoniğinin efektif değeri

$v = k.p$ Harmonik numarası (5.2)

$k = 1, 2, 3, \dots$

p : Bağlantıdaki yol sayısı

(Elemanların değerleri 33 kV/faz için verilmiştir) Şekil-5.2 için değerler:

$$C'_1 = 36.1, \quad C'_2 = 24.23, \quad C'_3 = 36.1, \quad C'_4 = 192.53 \quad \mu F$$

$$L'_1 = 1.44, \quad L'_2 = 1.5, \quad L'_3 = 13.05 \quad \text{mH}$$

$$R'_1 = 6.3, \quad R'_2 = 0.1041, \quad R'_3 = 0.2646 \quad \Omega$$

Doğru akımın tam süzölmüş olması halinde alternatif akım tarafındaki akım dikdörtgen bloklar şeklindedir.

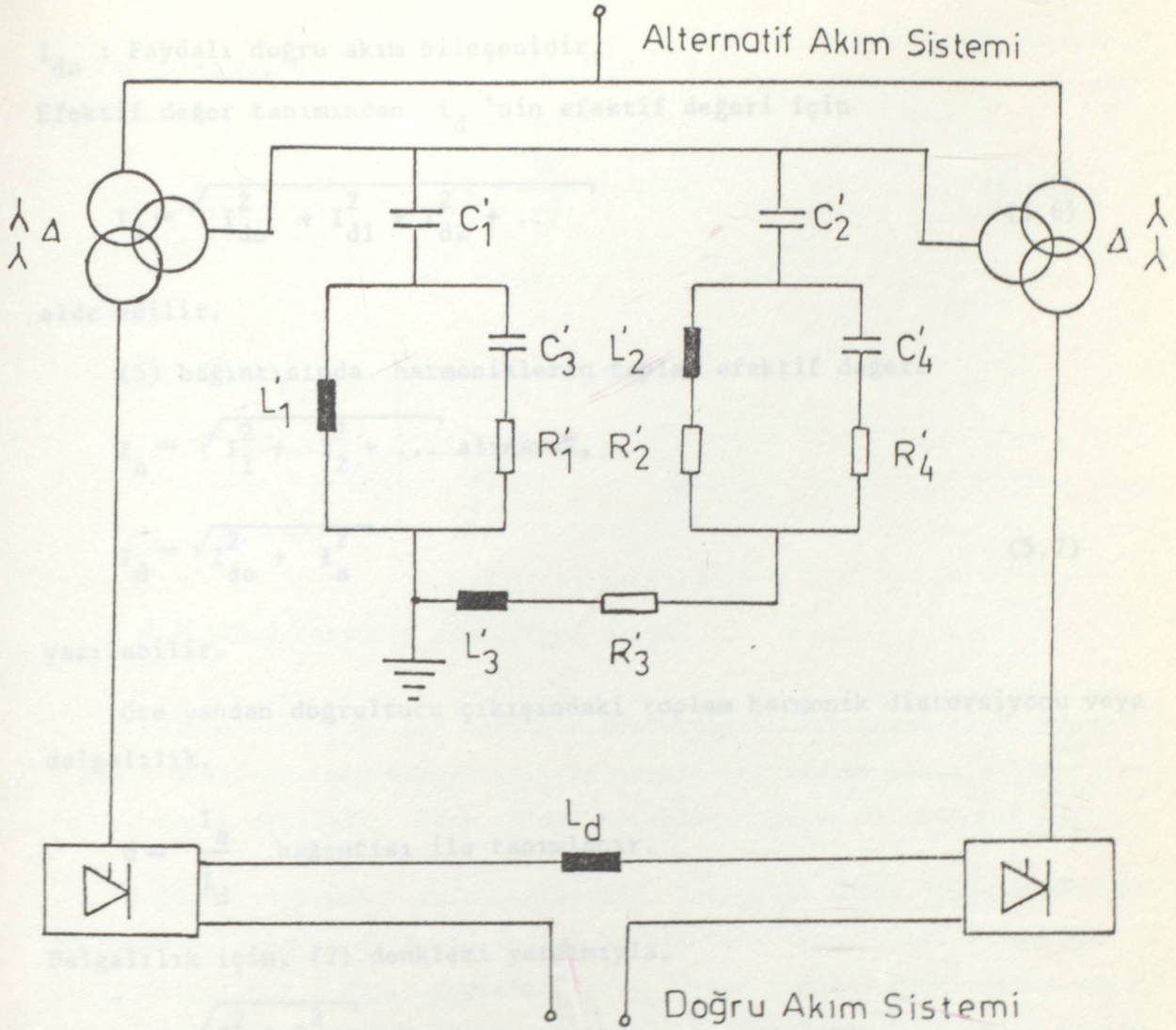
Harmoniklerin ana dalga cinsinden bağlı değerleri

$$\frac{I_v}{I_1} = \frac{1}{v} \quad (5.3)$$

I_v : üncü akım harmoniğinin efektif değeri

I_1 : Temel akım bileşiminin efektif değeri (5.4)

$$v = kp + 1$$



Şekil-5.2 İngiltere-Fransa doğru akım iletim şebekesinin Lydd istasyonuna ait harmonik filtre düzeni.

5.1.2. Doğrultucudaki harmonik distorsiyonu

Doğrultucu çıkışında doğru akım doğru akım elde edilmek istendiğine göre, çıkış akımının Fourier serisine açılımındaki doğru akım bileşeni dışındaki tüm harmonikler istenmeyen bileşenlerdir.

Çıkış akımının Fourier serisine açılımı,

$$i_d = I_{do} + \sum_v I_v \sin(\omega t - \psi_v) \quad (5.5)$$

Burada $v = 1, 2, 3, \dots$

genel bağıntısı ile verilebilir.

I_{do} : Faydalı doğru akım bileşenidir.

Efektif değer tanımından i_d 'nin efektif değeri için

$$I_d = \sqrt{I_{do}^2 + I_{d1}^2 + I_{d2}^2 + \dots} \quad (5.6)$$

elde edilir.

(5) bağıntısında harmoniklerin toplam efektif değeri

$$I_a = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots} \text{ alınarak,}$$

$$I_d = \sqrt{I_{do}^2 + I_a^2} \quad (5.7)$$

yazılabilir.

Öte yandan doğrultucu çıkışındaki toplam harmonik distorsiyonu veya dalgallılık,

$$d = \frac{I_a}{I_d} \text{ bağıntısı ile tanımlanır.}$$

Dalgallılık için, (7) denklemi yardımıyla,

$$d = \frac{\sqrt{I_d^2 + I_{do}^2}}{I_d} \quad (5.8)$$

elde olunur.

5.1.3. Eviricideki harmonik distorsiyonu

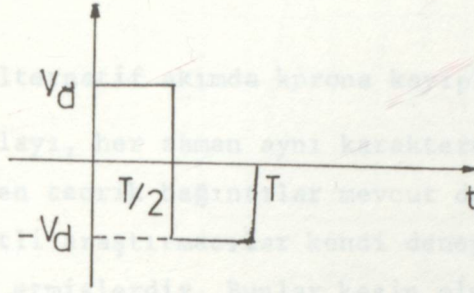
Tristörlerin anahtar gibi çalışması sonucu, evirici çıkışındaki gerilimin dalga şekli sinüs biçiminde olmaz. Bu ise, çıkış geriliminde yararlı bileşenlerin yanısıra harmoniklerin de bulunması demektir. Şekil-5.3'deki bir dalga için Fourier serisi açılımını şöyle yazabiliriz.

$$V_d = \frac{4 V_d}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin n\omega t, \quad n = 1, 3, 5, \dots \quad (5.9)$$

Toplam harmonik distorsiyonu ise,

$$d = \sqrt{1 - \frac{V_{d1}^2}{V_d^2}} = \sqrt{1 - \frac{8}{\pi^2}} \approx 0.44 \quad (5.10)$$

bulunur.



Şekil-5.3 Peryodik dikdörtgen dalga.

Uygulamalarda çoğu kez harmonik distorsiyonu sakıncalı olur. Harmonikleri azaltmak için süzgeç (filtre) devrelerinden de yararlanılabilir. Se de, büyük güçlerde süzme işlemi sorunlar doğurur ve ekonomik olmaz.

Doğrudan doğruya evirici çıkışında harmoniği düşük dalga şekli elde etmek ve süzgeç devrenin yükünü hafifletmek uygun olur. Bu amaçla çıkış dalgasında "darbe genişlik" veya "darbe genlik" modülasyonu uygulanır. Özellikle kontrol açısı arttıkça efektif değer küçülerek, toplam harmonik distorsiyon aynı anda artar.

5.2. Korona Olayı

5.2.1. Genel

Eğrilik yarıçapı nispeten küçük olan elektrodlarda görülen, tam olmayan ve kendi kendini besleyen deşarja "Korona Deşarjı" adı verilir.

Gerilim yavaş yavaş artırıldıkça, elektrodların yakınındaki alan o derece yükselir ki, çarpma suretiyle iyonizasyon başlar. Böylece elektrodları kuşatan ince tabakada, tam olmayan deşarj için gerekli şartlar sağlanmış olur. Hatların çevresi korona adı verilen ışıklı bir taş ile kuşatılır.

Gerilimin artması ile akım da artacağından iletken ışıklı bir zarla

örtülür ve cızırtılar duyulur. Akımın daha da artması ile ışık saçılımı artar, ön deşarj ve kıvılcımlar oluşur ve sonuçta Korona Deşarjı meydana gelir.

Giriş açısından korona olayına genelde değindikten sonra işletme açısından asıl bizi ilgilendiren kayıplara ve radyo parazitlerine değineceğiz.

5.2.2. Alternatif akımda korona kayıpları

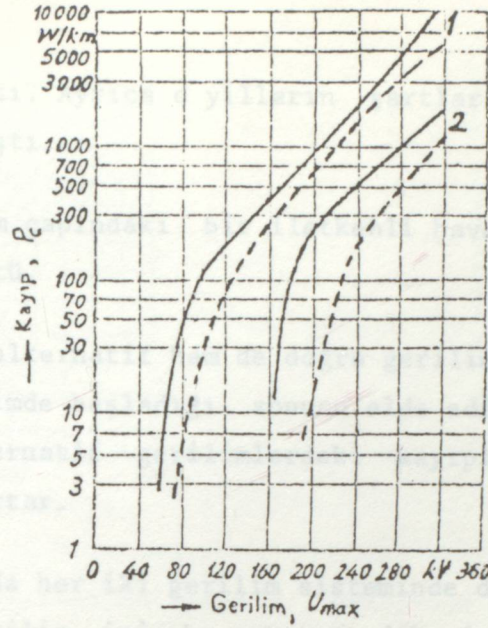
Korona olayı, her zaman aynı karaktere sahip olmadığından, bu konuda tam sonuç veren teorik bağıntılar mevcut değildir. Ancak bu alanda araştırma yapan çeşitli araştırmacılar kendi deney şartlarına ilişkin değişik bağıntılar elde etmişlerdir. Bunlar kesin olmamakla birlikte, genelde ihtiyaca cevap verebilecek niteliktedir.

Deneylere dayanılarak çıkarılmış bu formüllere "amprik formül" diyoruz. Kayıplara ilişkin Peek, Peterson, Salesski, Mayr, Holm gibi araştırmacıların vermiş oldukları bağıntılar mevcuttur. Konumuz dışı olduğu için bunların içeriğine girmeyeceğiz. Ancak kayıpların, sıcaklık, hava basıncı, frekans, iletken çapı, gerilim, iletken yüzeyi ile ilgili olduğunu söylemekle yetinelim.

5.2.3. Doğru Akımda Korona Kayıpları

Doğru gerilimdeki korona kayıplarına ilişkin ilk denemeler test hatları üzerinde yapılmıştır. Bunlar araştırma ve laboratuvar çalışması niteliğindeydi. Aşağıda bu konuda yapılan araştırmaların en önemli üç tanesi verilmiştir.

- Strigel, normal şartlar altında çeşitli yarıçaplı iletkenlerle deneyler yapmış ve doğru gerilim ile alternatif gerilim (aynı tepe değerde olmak üzere) için korona kayıplarını karşılaştırmıştır. Çapı 25 mm olan iletkenlerle 3.75 m aralıklı çift hat üzerinde deneme yapıldığında, aşağıdaki eğride görülen sonuç bulunmuştur.



Şekil-5.4 Alternatif ve doğru gerilimdeki korona kayıplarının karşılaştırılması.

----- Doğru gerilimde

———— 50 Hz lik alternatif gerilimde

(1): Yağmurda, (2): Açık havada

Görüldüğü gibi doğru gerilimdeki korona kayıpları alternatif gerilime göre daha azdır.

- 1946 yılında bir ay süreyle İsveç'te 480 m lik bir hattın doğru ve alternatif gerilimlerdeki korona kayıpları gözlenmiştir. Ölçümler üç fazlı bir hatta yapılmış, ancak her iki hat topraklı olduğundan gerilim bir hatta verilmiştir.

Deney esnasında hava şartları çok elverişsiz ve değişken idi.

Tüm hava şartlarında yapılan ölçümler sonucu, doğru gerilimdeki kayıpların alternatif gerilime göre küçük olduğu görülmüştür. İletken seçiminde yalnızca korona kayıpları dikkate alınsaydı U gibi bir alternatif gerilim yerine $1.35 U$ gibi doğru gerilim kullanılabileceği görülmüştür. Ancak radyo parazitleri nedeniyle $1.1 U$ 'luk bir doğru gerilime izin verilebilir.

Bu denemede deney süresi 1 ay olduğundan tüm iklim koşulları göz-

önünde tutulmamıştı. Ayrıca o yılların şartlarına göre çok yüksek gerilimlere çıkılamamıştı.

- Wagner 20 mm çapındaki bir iletkenli hava hattında ($\ell = 50$ m) deneyleri yürütmüştü.

Buradan, hem alternatif hem de doğru gerilimler için korona kayıplarının aynı gerilimde başladığı sonucu elde edilmiştir. Gerilim yükseltildiğinde alternatif gerilimlerdeki kayıplar doğru gerilime göre daha büyük hızla artar.

Yağmurlu havada her iki gerilim sisteminde de kayıpların arttığı görülmüş, doğru gerilim için bu artışın daha fazla olduğu belirlenmiştir.

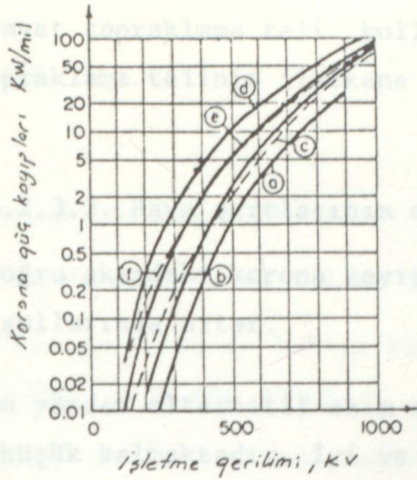
Bununla birlikte doğru gerilimdeki kayıplar ancak çok kötü hava şartlarında alternatif gerilimdeki kayıplara erişebilecektir.

5.2.3.1 Tek kutuplu ve çok kutuplu hatlarda korona kayıpları

Negatif kutup için korona kayıpları Trichel darbeleri diye adlandırılan ve bir kaç pC'luk darbelerin tekrarlanması olayıdır. Pozitif kutup için bu darbelerin tekrarlanma süresi daha azdır. Fakat şarjların değeri bir kaç bin pC 'dur. Bir akım darbesinin müddeti μs mertebesinde-dir. (Negatif kutbun ki pozitif kutupa göre daha azdır).

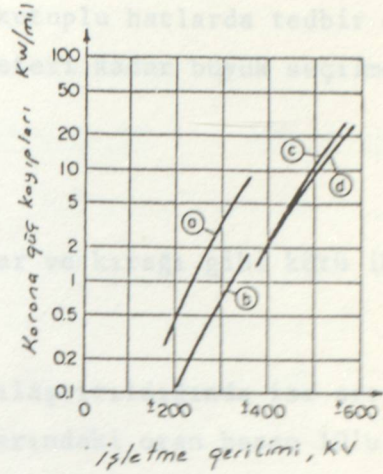
Korona deşarj mekanizması her ne kadar kutuplara göre farklılık gösterse de bu iki ayrı kutuptaki ortalama korona kayıpları yaklaşık olarak aynıdır. Şekil-5.4 'de bu durum ile tek kutuplu bir hatta ölçülen korona kayıpları gösterilmiştir.

Çok kutuplu YGDA hatlarındaki ortalama korona kayıpları tek kutuplu hatlara tekabül eden kayıplara göre biraz daha azdır.



Şekil-5.4 Tek kutuplu test hattında ölçülmüş d.a korona kayıpları.

- a) Açık havada, düzgün silindirik Al
d=100 mm, H=10 m, Pozitif kutup
- b) Açık havada, düzgün silindirik Al
d=37 mm, H=10 m, Pozitif kutup
- c) Açık havada, düzgün silindirik Al
d=37 mm, H=10 m, Negatif kutup
- d) Yağmurlu havada, düzgün silindirik Al
d=37 mm, H=10 m, Pozitif kutup
- e) Açık havada, ACSR iletken
d=27.7 mm, H=10 m, Pozitif kutup
- f) Açık havada, ACSR iletken
d=27.7 mm, H=10 m, Negatif kutup



Şekil-5.5 Açık havada çift kutuplu test hattında ölçülmüş d.a korona kayıpları.

- a) ACSR iletken
d=36.2 mm, D=6 m, H=13 m
- b) ACSR iletken
d=36.2 mm, D=12 m, H=13 m
- c) ACSR iletken
d=61 mm, D=10.5 m, H=15 m
- d) Çiftli ACSR iletken
d=46.2 mm, D=10.5 m, H=15 m

5.2.3.2. Çift kutuplu hatlarda Korona kayıpları

Çift kutuplu hatlardaki toplam ortalama korona kayıpları aynı tip iletken ve aynı işletme gerilimindeki 2 tek kutuplu hattaki kayıplarından daha fazladır. Bu, iletkenler arasındaki boşlukta pozitif ve negatif yüklerin tekrar birleşmesinden dolayı meydana gelmektedir. Şekil-5.5 de çift kutuplu bir hat için korona kayıpları gösterilmiştir. Kayıplar her 2 iletkeninde de yaklaşık olarak aynıdır.

Şayet topraklama teli kullanılacaksa tek kutuplu hatlarda tedbir olarak topraklama telinin iletken olan uzaklığı yeteri kadar büyük seçilmelidir.

5.2.3.3. Hava şartlarının etkisi

Doğru akımdaki korona kayıpları, yağmur, kar ve kırağı gibi kötü iklim koşullarında artar.

Bu yönden alternatif akım sistemi ile karşılaştırıldığında ise artış oranı küçük kalmaktadır. İyi ve kötü hava şartlarındaki oran bazen 10'u aşabilir. Bu da, doğru akım sistemlerinin alternatif akım sistemlerine göre bir üstünlüğünü oluşturmaktadır.

İletken yüzeyindeki alan şiddeti yüksek olduğunda kötü hava şartlarındaki artış da az olacaktır. Örneğin 20 kV/cm'lik alan şiddetinde iyi ve kötü iklim şartlarındaki korona kayıpları oranı 1:10, halbuki 28 kV/cm'-de bu değer 1:2 olarak gözlenmiştir.

Doğru akımda ünipolar uzay yüklerine karşı koyucu bir etki olması nedeniyle, koronanın oluşumu sınırlanmaktadır.

Doğru akım hatlarında demet iletken kullanmak koronayı azaltıcı etki yapmamaktadır. Bununla birlikte bir ölçüde olsa korona kayıplarını azaltabilmektedir. (Bilindiği gibi, alternatif akım sistemlerinde korona kayıpları demet iletken kullanarak azaltılmaktadır). Direk üzerinde toprak iletkenleri varsa ve iletkenlerin çapları küçükse bunlarda da ek korona kayıpları oluşur.

5.2.3.4. Ortalama yıllık korona kayıpları

Korona kayıp karakteristiği ve yıl boyunca hava şartları biliniyorsa, ortalama yıllık korona kayıpları hesap edilebilir. Tablo 5.2'de 500 kV'luk üç fazlı alternatif gerilimle 7400 kV'luk iki kutuplu doğru gerilim hava hatları karşılaştırılmıştır. Güç her iki sistem için de aynıdır.

Tablo-5.2

Korona kayıplarının hesaplanması için gerilim değeri ile karakterize etmek yerine hat gerilimiyle temsil etmek daha uygun olur.

	Korona Kayıpları (kW/km)	
	<u>7400 kV DC</u>	<u>500 kV AC</u>
Açık havada ortalama kayıplar	1.3	1.3
Açık havada minimum kayıplar	0.6	0.1
Kötü hava şartlarında hattın küçük bir bölümündeki maksimum kayıplar	10	130
Kötü hava şartlarında tüm hattın maksimum kayıpları	6	20
Tüm hat için yıllık ortalama kayıplar	2.3	5.6

Yılın 5880 saatinde hava açık, 2000 saatinde sis, çığ, kırağı, 880 saatinde ise yağmur görülmüştür.

Görüldüğü gibi her iki sistemdeki açık havaya ilişkin korona kayıpları aynıdır, halbuki hem yıllık ortalama kayıplar hem de özellikle maksimum kayıplar doğru akım sisteminde alternatif akım sistemine oranla daha küçüktür.

Gerçekte doğru akımdaki güç kayıpları alternatif akımdaki kadar ciddi problem yaratmaz.

Korona kayıpları iletkenlerdeki deşarjlarla değerlendirildiğinden, metal kısımlar ile izolatörlerdeki korona toplam kayıpların küçük bir bölümünü oluşturmaktadır.

İletken deşarjlarının yoğunluğu büyük ölçüde iletkenin yüzeyine bağlıdır. Yüzeydeki su damlacıkları, kuş pislikleri, toz tanecikleri olumsuz etkenlerdir.

Çoğu hallerde, kablolardaki yabancı malzeme ve çiziklerden ötürü yeni çekilmiş bir hattaki korona kayıpları daha fazla olur. Bir süre sonra iletkenlerin korona kayıpları azalır.

Doğru gerilimdeki korona karakteristiği, serbest yükün zıt yöndeki toprağa veya iletkene taşınması şeklinde gerçekleşir. Alternatif gerilimde ise durum böyle değildir. Yüzey yüklerinin çok etkin olması sonucu

koronayı alan şiddeti ile karakterize etmek yerine hat gerilimiyle tanımlamak daha uygun olur.

5.2.4. Korona kayıplarının hesabı

Kayıpları incelerken ilk gözönüne alınması gereken büyüklük korona akımı (I_c) olmalıdır.

Akımı hesapladıktan sonra, kutup gerilimi ile çarparak korona kayıplarını bulabiliriz.

Aşağıda verilen bağıntılar, İsveç'te Annelberg'de yapılan çok sayıda periyodik inceleme ve testler sonunda elde olunmuştur. Buna göre, bir iletkendeki korona akımı,

$$I_c = C.m.r.2^{0.25(E_{\max} - E_o)}, 10^{-3} \quad | \text{ A/km} | \quad (5.11)$$

ifadesi ile verilir. Burada,

C : İletkenin yüzeyine bağlı bir sabit, (0,15...0,35)

m : Bir iletkendeki demet sayısı,

r : İletken (kablo) yarıçapıdır.

$E_{\max}$ = Kablo yüzeyindeki maksimum alan şiddeti,

$$E_{\max} = E_{\text{ort}} \left[1 + (m-1) \frac{r}{R} \right] \quad (5.12)$$

R : Demet iletkenlerin merkezleri arasındaki açıklık,

E_{ort} : Kablo yüzeyindeki ortalama alan şiddetidir.

$$E_{\text{ort}} = \frac{C.V}{2\pi r m \epsilon} \quad (5.13)$$

V : İletken ile toprak arasındaki gerilim $| V |$

C : Hattın birim uzunluğunun kapasitesi $| \text{ F/m} |$

ϵ : Havanın permitivitesi $| \text{ F/m} |$

$E_o = 22 \delta$ ise, şeklinde ifade edebileceğimiz referans alan şiddetidir.

δ : Bağıl hava yoğunluğu.

Buradan, korona kayıpları için

$$P_c = C \sqrt{30 \text{ m}} \left(\frac{P}{n} \right)^{0.75} \cdot 2^{0.25(E_{\max} - E_o)} \cdot 10^{-5} \text{ | kW/km |} \quad (5.14)$$

n : Kutup(iletken) sayısıdır.

Bir örnek olması bakımından, Annelberg'de kurulu bir doğru akım hattının korona kayıplarını verelim:

Dört demetli, 7600 kV'luk iki kutuplu hatta iletken çapı 4 cm, kesit 950 mm^2 , demet aralıkları 45 cm' dir. Bu hat için korona kayıpları yaklaşık olarak 18 kW/km'dir.

5.3. Yüksek Gerilim Doğru Akım Hava Hatlarında Görülen Radyo Parazitleri

Bir yüksek gerilim doğru akım hava hattında oluşan radyo parazitleri şu üç nedenden doğar :

- Valflerin ateşlenmesi ile oluşan darbelerle,
- Hattaki korona darbeleri ile,
- İzolatörlerdeki kısmi deşarjlarla.

Birinci neden terminal istasyonunda önceden tedbir alınarak azaltılabilir veya yok edilebilir.

Radyo parazitlerini şu denklem ile verebiliriz :

$$F_o = 25 + 10 \log m + 20 \log r + 1.5 (E_{\max} - E_o) \text{ [dB]} \quad (5.15)$$

Burada E_o için deniz seviyesinde 22 kV/cm alınabilir, ancak bu değer bağıl hava yoğunluğu ile azalır.

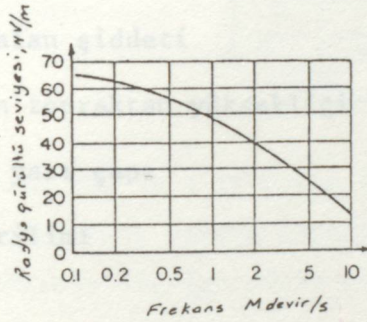
Eğer birden fazla iletken ve bunların radyo parazitleri söz konusu ise, toplam parazit seviyesi hesaplanabilir.

a,b,c,... iletkenlerinin parazitleri $F_a, F_b, F_c, \dots$ ise ve içlerinde en büyük parazit seviyesi F_a ise toplam parazit

$$F = F_a + 10 \log (1 + 10^{-0.1(F_a - F_b)} + 10^{-0.1(F_a - F_c)} + \dots) \quad (5.16)$$

Radyo parazitleri genellikle pozitif yüklü iletken için etkin olup, negatif yüklü iletken için çoğu kez ihmal edilebilir.

Çok iletkenli sistemlerdeki yayılma (yayılma yasası, uzaklığın karesi ile ters orantılıdır) yaklaşık olarak tek iletkenli sistemdekine eşittir. Korona olayından dolayı meydana gelen parazitlerin tipik frekans spektrumu Şekil-5.6'da gösterilmiştir.

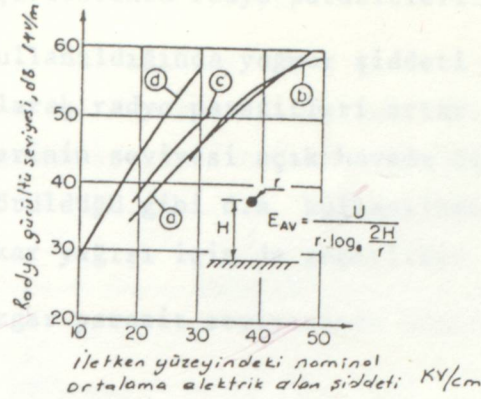


Şekil-5.6 2 kutuplu d.a. hattın 30 m uzaklıkta ölçülmüş radyo parazitlerin frekans spektrumu.

İşletme gerilimi:
 ± 400 kV, $d = 6.1$ cm
 (Tek kablo için),
 iki kutup arasındaki mesafe 10.3 m,
 ortalama yükseklik 17 m.

5.3.1. Tek kutuplu ve çok kutuplu d.a. hatlarında radyo parazitleri

İletkenlerde korona olayı nedeniyle meydana gelen radyo parazitleri negatif kutupta daha azdır. Negatif kutbun toplam korona kayıpları pozitif kutbunkine nazaran daha büyük olsa bile, negatif darbeler genelde efektif değer olarak çok küçüktür. Şekil-5.7'de NEMA ölçmesi kullanılarak pozitif kutuplu bir iletim hattındaki radyo parazit seviyesinin karakteristiği çıkarılmıştır.



Şekil-5.7 Açık havada, tek kutuplu d.a hattın (pozitif kutup) 30 m uzakta 1 MHz radyo parazit seviyesindeki elektrik alan şiddetlerinin ölçümü. Burada :

Σ_{AV} : Nominal alan şiddeti	a) Düzgün silindirik Al
H : İletkenin topraktan yüksekliği	d=37 mm, H = 12.5 m
r : Kablonun yarı çapı	b) ACSR iletken
U : Kutup gerilimi	d=27.7 mm, H=12.5 m
	c) ACSR iletken
	d=36.2 mm, H=13 m
	d) Düzgün silindirik Al
	d=100 mm, H=10 m

Şayet negatif kutup kullanılsaydı radyo parazit seviyesi 10-20 dB daha düşük bir seviyede olurdu. Çok kutuplu sistemlerdeki radyo parazit seviyesi aynı işletme geriliminde çalışan Tek Kutuplu bir hattinkine eşit veya biraz daha az olur.

5.3.2. Çift kutuplu d.a. hatlarda radyo parazitleri

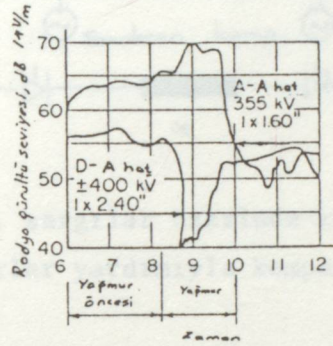
Tek bir iletken yerine aynı toplam kesite sahip bir demet iletken kullanımı radyo parazit seviyesini düşürür. Bunun nedeni 2 iletken yüzeydeki elektrik alan şiddetleri arasındaki ilişkidir ve demet iletkenler kullanılarak elektrik alan şiddetleri azaltılabilir.

Buna rağmen d.a hatlarında iletkeni çevreleyen uzay yükleri de demet iletken sayısının artmasına aynı tepkiyi gösterir. Toplam kutup alanı sabit tutularak iletken sayısını artırmakla (demet iletken kullanma) d.a hatlarındaki radyo parazitlerinde önemsiz azaltmalar yapmak mümkün ise de, bu yol kesin bir çözüm değildir.

5.3.3. Kötü hava şartlarında radyo parazitleri

Alternatif akım kullanıldığında yağmur şiddeti ve iletken yüzeyinin alan şiddetine bağlı olarak radyo parazitleri artar. Yağmur süresince ölçülen radyo parazitlerinin seviyesi açık havada ölçülenlerden daha büyüktür. Şekil-5.8'de görüldüğü gibi d.a kullanılması halinde bunun tersi olmaktadır. Bu azalma kar yağışı için de geçerlidir.

Birçok durumda rüzgar parazit seviyesinin düzensiz bir şekilde artmasına neden olur.



Şekil-5.8 0.83 MHz ve çift kutup d.a ve 3 fazlı a.a hattından 30 m uzaklıkta; yağmur öncesinde, yağmur yağışı süresince ve sonrasında ölçülen radyo parazit seviyeleri.

5.4. Reaktif Güç

Çeviricilerde faz kesme kumandası nedeniyle bir reaktif güç ortaya çıkar. α gecikme açısına bağlı faz gerilimi ile doğrultucu arasındaki faz farkı, alternatif akım şebekesinin ek bir reaktif güçle yüklenmesine neden olur. Bu reaktif gücün :

- Kumanda reaktif gücü
- Komütasyon reaktif gücü

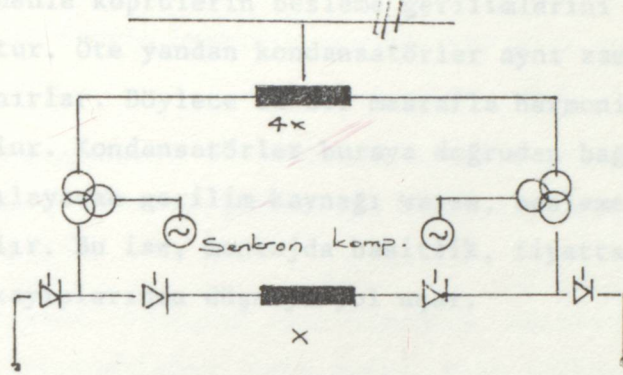
olmak üzere iki bileşeni vardır.

Kumanda reaktif gücü α açısına bağlıdır. Komütasyon reaktif gücünün nedeni ise komütasyon devresindeki reaktanslar. Bu reaktanslar, komütasyon süresince iki fazdan da akım geçmesine ve akımın gerilime göre faz farkının biraz daha artmasına neden olurlar.

Şebekedeki çeviricilerin reaktif güç gereksinimi ya senkron kompanzatorlar ya da statik kapasitörler tarafından sağlanır.

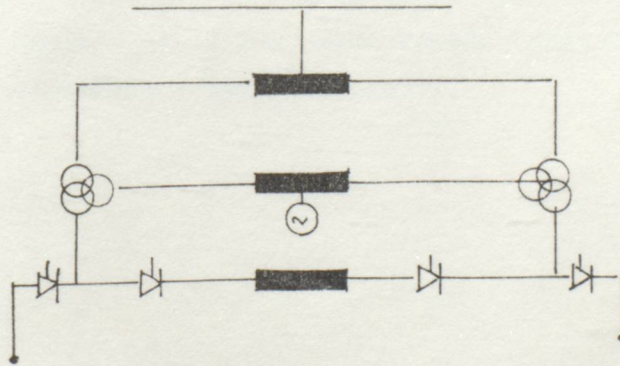
5.4.1. Reaktif gücün senkron kompanzatörler tarafından sağlanması

Bir çevirici istasyonun işlemesi için gerekli reaktif güç, bölgesel alternatörler veya çevirici istasyonun besleme trafolarının 3. sargılarına monte edilmiş senkron kompanzatörler tarafından verilebilir (Şekil-5.9)



Şekil-5.9 Bağımsız 3. sargılar üzerinde kuple edilmiş senkron kompanzatörler yardımıyla kompanzasyon.

Çeviricinin beslendiği yüksek gerilim şebekesinin X reaktansı nedeniyle, köprülerden biri üzerindeki komütasyon, diğer köprünün besleme gerilimini değiştirir. Köprüler arasına $4X$ değerinde bir kompanzasyon sargısı konarak ve sistemi bu reaktansın orta noktasından besleyerek köprü gerilimlerinin birbirinden bağımsız olması sağlanır. Yukarıdaki bağlantının bir sakıncası, her kompanzatörün sürekli olarak 5 ve 7 nci harmonikleri köprülere iletmesidir. Bunu önlemek için kompanzatörleri yeni bir reaktansın orta noktasına bağlamak gerekir.



Şekil-5.10 Paralel bağlı 3.sargılar üzerine kuple edilmiş senkron kompanzatörler yardımıyla kompanzasyon.

5.4.2. Reaktif gücün kondansatörler tarafından sağlanması

Şebekenin kendi alternatif güç kaynağı olmadığı zaman, reaktif gücün kondansatörler yardımıyla sağlanması en uygun çözümdür. İncelemeler sonucu kondansatörlerin ardındaki şebekenin sonsuz şebeke gibi davrandığı anlaşılmıştır. O nedenle köprülerin besleme gerilimlerini eşlemek için reaktansa gerek yoktur. Öte yandan kondansatörler aynı zamanda harmonik filtre olarak davranırlar. Böylece az bir masrafla harmonik akımların sınırlandırılması mümkün olur. Kondansatörler buraya doğrudan bağlanırlar. İç ihtiyaç gücünü karşılayacak gerilim kaynağı varsa, besleme trafolarının 3.sargıları kaldırılır. Bu ise, montajda basitlik, fiyatta azalma ve çevirici istasyonunun kayıplarında düşmeye yol açar.

6. TERMİNAL TASARIMLARI

6.1. Temel Devreler

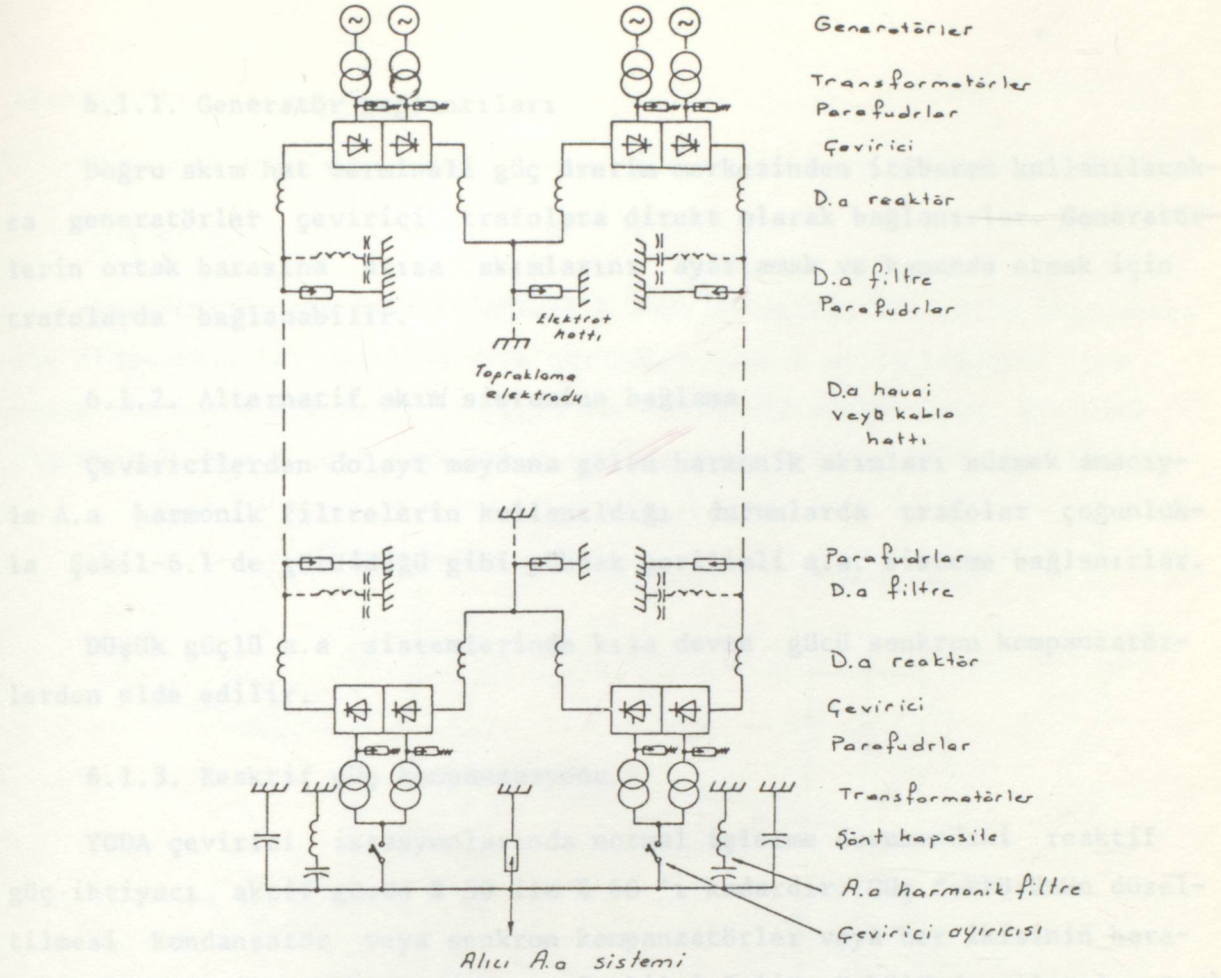
Doğru akım terminalleri,iletici olarak hattın başında bulunan doğrultucular ve alıcı olarak iletim hattının sonunda yer alan eviricilerden oluşur.

Bir çevirici istasyonun $\lambda - \lambda$ ötekinin $\lambda - \Delta$ bağlanması ile iki 6 yollu çevirici 12 yollu tek bir çeviriciye dönüştürülür.(2 köprü arasında 30° faz farkı mevcut).

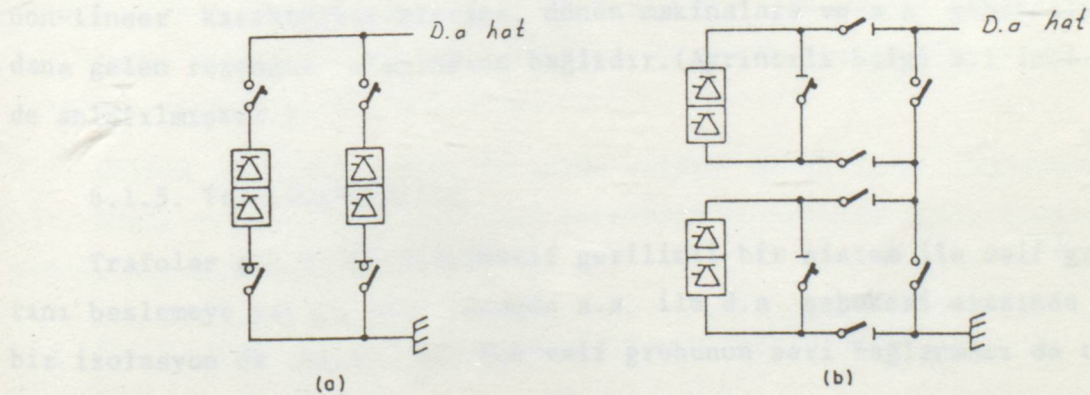
12 yollu çeviricide oluşacak olan harmonik akımların genliği ve sayısı 6 yollu çeviricidekinden daha azdır. Esas itibariyle d.a tarafındaki gerilimin 6. harmoniği, a.a tarafındaki ise akımın 5.ve 7. harmonikleri otomatikman filtre edilmişlerdir. Her çevirici istasyonda filtre kullanılmasının pratik sebebi daha az yer kaplamaları ve ucuz olmalarıdır. Şekil-6.1 de 2 kutuplu bir hat ile beslenen terminal ile yardımcı ayırıcı olarak kullanılan toprak iletkeni gösterilmiştir.

Şayet herhangi bir kutbun nominal gücü bir blok için çok büyük ise birbirinden bağımsız olarak çalışacak bir kaç 12 yollu çeviriciyi birleştirmek mümkündür. Bu 12 darbeli çeviriciler Şekil-6.2 de gösterildiği gibi paralel veya seri bağlanabilir.

Seri bağlantıda çeviricinin nötr noktası ile olan bağlantısı d.a tarafı için düşük izolasyon seviyesi sağlar. Nominal kutup geriliminden dolayı paralel bağlantı seçilirse açma-kapama düzenlerinin (anahtarlar) sayısı ve d.a hatlarındaki kayıplar azalır.



Şekil-6.1 Üretim mahallindeki verici ile 2 kutuplu d.a hat sonunda bulunan alıcı ile a.a şebekesine bağlanmış bir iletim hattındaki mevcut düzenler ve ayırıcı iletken olarak kullanılan toprak dönüşlü bir YGDA iletim sisteminin genel görünüşü.



Şekil-6.2 Çeviricilerin paralel (a) veya seri (b) olarak iletim kutbuna bağlanması.

6.1.1. Generatör bağlantıları

Doğru akım hat terminali güç üretim merkezinden itibaren kullanılacaksa generatörler çevirici trafolarla direkt olarak bağlanırlar. Generatörlerin ortak barasına arıza akımlarını ayarlamak ve kumanda etmek için trafolarla bağlanabilir.

6.1.2. Alternatif akım sistemine bağlama

Çeviricilerden dolayı meydana gelen harmonik akımları süzmek amacıyla A.a harmonik filtrelerin kullanıldığı durumlarda trafolar çoğunlukla Şekil-6.1 de görüldüğü gibi yüksek gerilimli a.a. sisteme bağlanırlar.

Düşük güçlü a.a sistemlerinde kısa devre gücü senkron kompanzatorlerden elde edilir.

6.1.3. Reaktif güç kompanzasyonu

YGDA çevirici istasyonlarında normal işletme durumundaki reaktif güç ihtiyacı aktif gücün % 50 ile % 60 'ı kadardır. Güç faktörünün düzeltilmesi kondansatör veya senkron kompanzatorler veya her ikisinin beraber kullanımı ile sağlanır.(Ayrıntılı bilgi 5.4'üncü bölümde anlatılmıştır)

6.1.4. Alternatif akım filtreleri

Bu filtrelerin harcadığı toplam reaktif güç normalde d.a hatlarındaki aktif gücün % 10 ile % 40'ı kadardır.

Çeviricinin temel harmonikleri dışında kalan diğer harmonikler (3,4,8 ve 9 gibi) bazı durumlarda ortaya çıkabilirler. Bu trafoların non-lineer karakteristiklerine, dönen makinalara ve a.a şebekesinde meydana gelen rezonans olaylarına bağlıdır.(Ayrıntılı bilgi 5.1 inci bölümde anlatılmıştır.)

6.1.5. Transformatörler

Trafolar çok fazlı alternatif gerilimli bir sistem ile valf gruplarını beslemeye yarar. Aynı zamanda a.a ile d.a şebekesi arasında galvanik bir izolasyon da sağlar. Bir çok valf grubunun seri bağlanması da trafolar sayesinde mümkün olur.

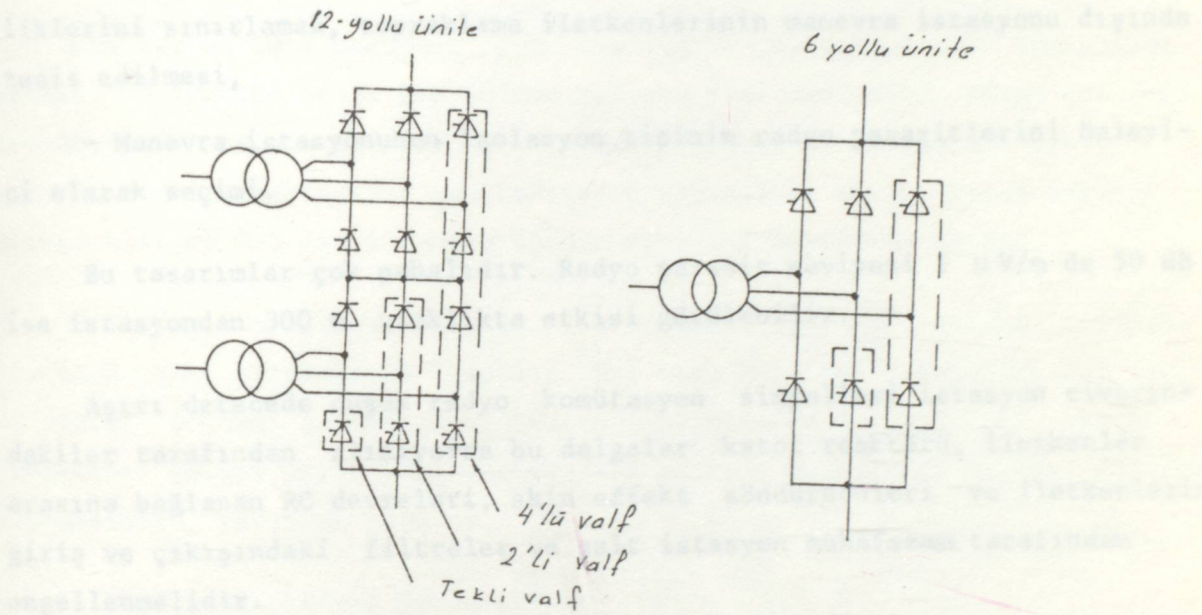
Trafolar valflerin komütasyonuna, yaklaşık 1 ms 'ye yakın bir süre içinde 6 defa, bağlı olan titreşimlere maruz kaldıkları için ek tedbirler

alınmalıdır.

Harmonik akımların akması nedeni ile ek kayıplar meydana gelebilir.

6.1.6. Çeviriciler

Çeviriciler elektriksel olarak 6 veya 12 valfin iki yollu bağlantısı ile oluşturulurlar. Şekil-6.3'de görüldüğü gibi 6 yollu bağlantı ya 6 yollu bir ünite ile ya da 12 yollu bir ünite ile oluşturulur. Fiziksel olarak 1,2 veya 4 valf fonksiyonu tek bir yapı içinde birleştirilebilir.



Şekil-6.3 Çeviricinin yapısal tasarımı.

Bir kutuptaki seri bağlı çeviricilerden birini devre dışına almak için yardımcı anahtar kapatılarak akımın çevirici yerine anahtar üzerinden akması sağlanır. Paralel bağlantı durumunda ise çevirici akımının sıfırdan geçişi kontrol edilir.

Valfin söndürme devresi normalde valfin kendi içine yerleştirilmiştir. Düşük radyo parazit seviyesi istendiği durumlarda valfe yüksek frekanslı bir reaktör bağlanır.

6.1.7. Doğru akım tarafındaki filtre ve süzme devreleri

D.a girişinin ve çıkışının süzülmesi, doğru gerilimdeki osiyasyonlarının söndürülmesi ve d.a bağlantı aksaklıklarını gidermek için d.a iletiminde (havai veya kablo hattı) reaktörler kullanılır. D.a iletim hatlarına radyo parazitlerinin karışmasını azaltmak için özel filtre düzen-

leri kullanılır. D.a hat ile toprak arasına süzücü devreler konur. Bu devrelerin temel elemanı kondansatörlerdir.

6.1.8. Radyo parazitlerini bastıran düzenler

Radyo komütasyon parazitlerinin etkisini azaltmak için kullanılan yöntemler şunlardır.

- Tesis yerinin vadi olarak seçilmesi,
- Valf kanalının elektromagnetik yayılmaya karşı korunması
- Çevirici manevra istasyonundaki iletkenlerin boyları ve yüksekliklerini sınırlamak, topraklama iletkenlerinin manevra istasyonu dışında tesis edilmesi,
- Manevra istasyonunun izolasyon tipinin radyo parazitlerini önleyici olarak seçimi.

Bu tasarımlar çok pahalıdır. Radyo parazit seviyesi $1 \mu V/m$ de 50 dB ise istasyondan 300 m uzaklıkta etkisi görülebilir.

Aşırı derecede düşük radyo komütasyon sinyalleri istasyon civarındakiler tarafından alınıyorsa bu dalgalar katot reaktörü, iletkenler arasına bağlanan RC devreleri, skin efekt söndürücüleri ve iletkenlerin giriş ve çıkışındaki filtreler ve şalt istasyon muhafazası tarafından engellenmelidir.

6.2. Aşırı Gerilime ve Aşırı Akıma Karşı Koruma

Aşırı gerilim koruması 3.2 bölümünde anlatılmıştır. Koruma seviyesinin seçimindeki temel unsur izolasyondur. Civa buharlı valfler aşırı gerilimlere daha fazla dayanıklıdır.

Dalgalanmaları önleyen kapasiteler elektrod hattı ile istasyon topraklaması arasına bağlanır.

Tristör valfler civa buharlı valflere nazaran aşırı akımlara daha fazla hassastırlar. Bazı durumlarda tristörler kısa süreli aşırı akımlara dayanabilirler. Kontrol sistemi ve normal hızla çalışan devre ayırıcıları (2-3 devirli) makul bir zamanda aşırı akımları sınırlarlar.

Çevirici istasyonları aşırı akıma karşı yedek koruma (backup protection) ile korunmalıdır. Trafoların iç arızalarına karşı differensiyel ko-

ruma trafoları kullanılır.

Çevirici, kesme düzeninde bir toprak arızası meydana geldiğinde diferensiyel koruma fark akımının mertebesine bağlı olarak çalışır. Bu doğru akımın hava hattına giriş-çıkışı ile istasyonun orta noktalarındaki akım değerlerinin karşılaştırılması şeklinde olur.

Kısa devre korumasında her bir 6 yollu çeviricideki a.a ile d.a'nın giriş-çıkış değerleri karşılaştırılır. Çeviricide bir kısa devre arızası olması halinde büyük a.a'lar meydana geldiği halde d.a değeri artmaz.

Komütasyon hata koruması a.a ile d.a'ı karşılaştırır. Komütasyon arızası durumunda belli bir müddet boyunca trafodan akım akmamasına rağmen köprü devresinin içinden d.a akar. A.a'daki bu azalma ile sabit kalan d.a karşılaştırılır ve komütasyon arızasının devam etmesi halinde koruma sistemi 0.5 ile 1 saniye içinde çevirici devreden ayırır.

D.a tarafındaki harmonik gerilim koruması d.a tarafındaki söndürme reaktörü gibi elemanlarla yapılır. Bir veya daha fazla sayıdaki ana valfte arıza meydana gelmesinden, kontrol sistemi veya şebekedeki asimetriklikten dolayı aşırı yüklenme meydana gelirse bu durumda a.a'da değişik frekanslarda yükselme görülür.

6.3. Izgara Kontrol Düzenleri

Valfin yüksek potansiyel ihtiyacı dikdörtgen ızgara darbeleri ile karşılanır. Bunun için iletici cihazlar (fotoselli bir ışık kaynağı, valf potansiyel amplisi) ve bazı izolatör tipleri (izolasyon trafosu) kullanılmalıdır. Bu düzenlerle ilgili ayrıntılı bilgi ilerki konularda verilecektir.

6.4. Yardımcı Güç

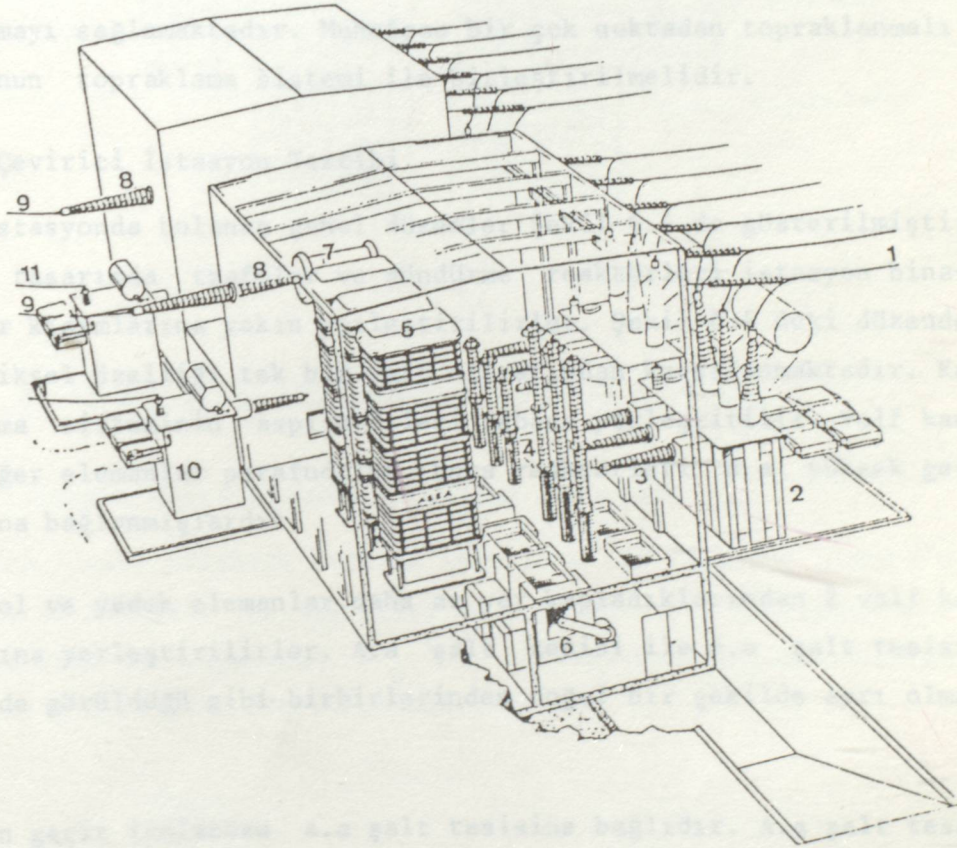
Valflerin soğutma donanımları, çeviricilerin kontrolü, istasyon bataryaları, devre ayırıcılarının çalışması, genel iç aydınlatma ve güvenlik aydınlatması için gerekli olan güç yardımcı güç kaynaklarından sağlanır.

Izgaraların tetiklenmesi için doğru bir zamanla yapılmalıdır. Bu çeviriciler tarafından komütasyon geriliminin a.a sistemine doğru bir şekilde verilmesi ile olur. Bu gerilim magnetik veya kapasitif gerilim trafoları ile sağlanır.

Valflerin tetiklenmesi ve kontrolu için gerekli olan yüksek potansiyelli güç izolasyon trafolarından veya valfin kendi içinde ki dönen kısımlar vasıtası ile sağlanır.

Trafoların, reaktörlerin ve dirençlerin soğutulması ve kontrol donanımları ve havalandırma için gerekli olan güç ayrı ayrı sağlanmalıdır. Izgara kontrolu ve valf için gerekli yedek gücü sağlayacak olan sistemler büyük tutularak sistemde oluşabilecek dalgalanmalar önlenmelidir.

Soğutma donanımlarında herhangi bir arıza olması halinde işletmenin kesilmemesi için yedek üniteler hazırda bekletilir.



Şekil-6.4 12 darbeli bir çevirici istasyonunun genel düzenleri.

- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1) A.a barası | 7) Hava reaktörü |
| 2) Trafolar | 8) Koruyucu geçit izolatörü |
| 3) Trafonun valf tarafındaki geç izolatörü | 9) D.a çıkışları |
| 4) Parafudrlar | 10) Söndürme reaktörü |
| 5) 4'lü valf | 11) Elektrot hattı bağlantı çıkışı. |
| 6) Valf soğutma aspiratörü | |

6.5. İzolasyon Seviyesi

D.a tarafta toprak ile hat arasına seri bağlı çevirici donanımların izolasyonları hattan toprağa doğru kademe kademe yapılır. Sadece çevirici hattı nominal d.a hat gerilimine göre izole edilir. Geri kalan kısımların toprağa göre izolasyonları kademe kademe azaltılır.

6.6. Valf Muhafazaları

Valflerin içinde bulundukları mekanlarının duvarları ve çatışı minimum 0.5 mm kalınlığında çelik veya alüminyum levhalarla yapılması ve zeminin ağ şebeke biçiminde $5 \times 5 \text{ cm}^2$ lik betonla takviye edilmesi yeterli korumayı sağlamaktadır. Muhafaza bir çok noktadan topraklanmalı ve istasyonun topraklama sistemi ile birleştirilmelidir.

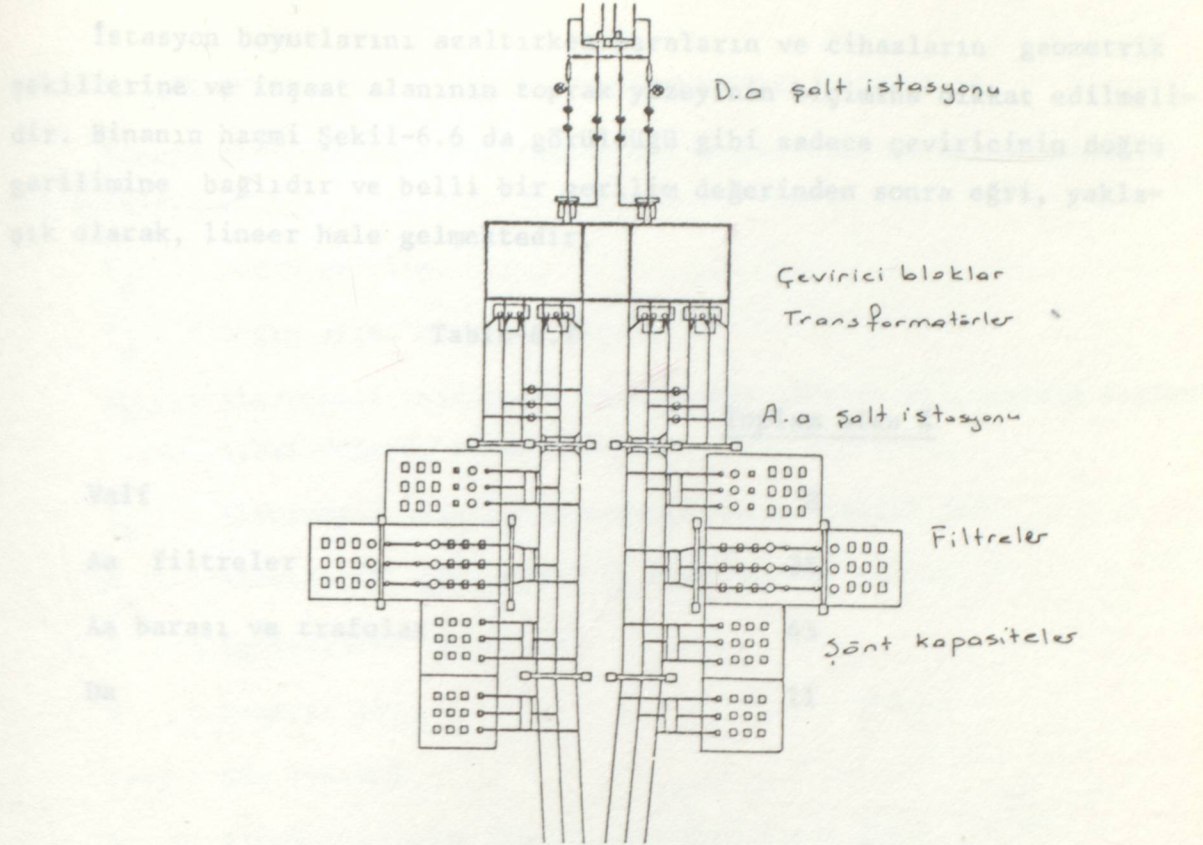
6.7. Çevirici İstasyon Tertibi

Her istasyonda bulunan genel düzenler Şekil-6.4 de gösterilmiştir. Komple bir tasarımda trafolar ve söndürme reaktörleri istasyon binasının duvar kısımlarına yakın yerleştirilirler. Şekil-6.4 deki düzende 4 valfin fiziksel özelliği tek bir valf tarafından karşılanmaktadır. Kapalı hava soğutma sisteminin aspiratörleri tabana yerleştirilir. Valf kanallındaki diğer elemanlar parafudrlar, hava reaktörleri d.a yüksek gerilim tarafına bağlanmışlardır.

Kontrol ve yedek elemanlar daha az yer kapladıklarından 2 valf kanalı arasına yerleştirilirler. A.a şalt tesisi ile d.a şalt tesisi Şekil-6.5'de görüldüğü gibi birbirlerinden doğal bir şekilde ayrı olmalıdır.

Hattın geçit izolatörü a.a şalt tesisine bağlıdır. A.a şalt tesisi a.a filtreleri, anahtarı ve güç devresi ayırıcılarını kapsar.

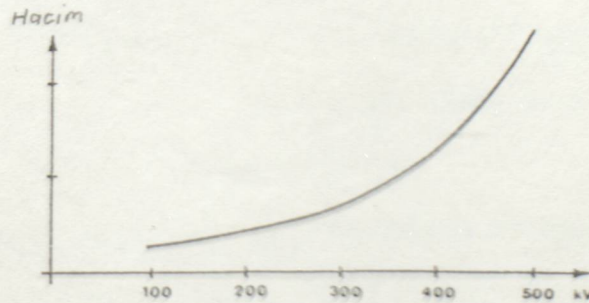
D.a tarafındaki elemanların, söndürme reaktörü hariç, yerleştirilmesi dik olarak yapılmıştır. (Parafudrlar, gerilim bölücüler, akım ölçü trafoları, kesiciler).



Şekil-6.5 Tipik bir çevirici istasyon tertibi.

6.8. İstasyon Binasındaki Yerleştirme Sorunları

Şekil-6.5 deki istasyon tertibi için $20 \text{ m}^2/\text{MW}$ 'lık bir alana ihtiyaç vardır. D.a ve a.a şalt istasyonları ve a.a harmonik filtreler gibi büyük parçaların izolasyonunda SF_6 'nın kullanılması halinde bu bağıntı 1 MW için 2 m^2 olarak düzeltilebilir.



Şekil-6.6 Çevirici bina hacminin doğru gerilime göre değişimi.

İstasyon boyutlarını azaltırken baraların ve cihazların geometrik şekillerine ve inşaat alanının toprak yüzeyinin biçimine dikkat edilmelidir. Binanın hacmi Şekil-6.6 da görüldüğü gibi sadece çeviricinin doğru gerilimine bağlıdır ve belli bir gerilim değerinden sonra eğri, yaklaşık olarak, lineer hale gelmektedir.

V_d : Doğru gerilim,

I_d : Doğru akım, Tablo-6.1

U_L : Alternatif akım barasındaki temel gerilim bileşeninin fazlar arası değeri, efektif değer, Toplam alan %

Valf	8
Aa filtreler	35
Aa barası ve trafolar	45
Da	11

Q : Reaktif güç,

$\cos \phi$: Güç faktörü,

Q_L : Alternatif akım şebekesinin kısa devre gücü $= \frac{U_L^2}{X_L}$,

Q_c : Nominal gerilim altında alternatif akım filtreleri ve kondansatör bataryaları tarafından üretilen reaktif güç,

S : Doğru akım tarafında bulunan seri bağlı 6-pollü köprü adedi,

m : Transformatörün çevirme oranı,

K : Akım oranı $= 1.35 S \cdot m$

α : Doğraltıcının gecikme (atalemlenme-retiklasyon) açısı,

γ : Filtrelerin gecikme açısı,

x_d : γ açısı olarak toplam endüktif gerilim düşümü,

x_r : γ açısı olarak toplam endüktif gerilim düşümü,

x_p : Filtrelerin endüktif düşümü $= x_d + x_r$

x_L : Filtrelerin endüktif değeri anlamında kullanılmaktadır.

7.1. Bu bölümde istasyon için Alternatif Akım ve Doğru Akım şebekelerinin arasındaki bağlantılar ve Genel Kavollar:

Alternatif akım şebekesini besleyen ve basitleştirilmiş genetik diyagram ile gösterilen bir çevirici sistemi Şekil-7.1'de verilmiştir.

7. BİR ÇEVİRİCİNİN İŞLEMESİ VE MATEMATİKSEL BAĞINTILAR

Konuya girmeden önce kullanacağımız sembollerin ne anlama geldiğini açıklayalım :

V_d : Doğru gerilim,

I_d : Doğru akım, ortalama değer,

U_L : Alternatif akım barasındaki temel gerilim bileşeninin fazlar-
arası değeri, efektif değer,

I_L : Alternatif akım şebekesindeki akım, efektif değer,

E_L : Alternatif şebekedeki iç elektromotor kuvvet,

P : Çeviricinin aktif gücü $V_d \cdot I_d$,

Q : Reaktif güç,

$\cos\psi$: Güç faktörü,

Q_L : Alternatif akım şebekesinin kısa devre gücü $= \frac{U_{LN}^2}{X_L}$,

Q_c : Nominal gerilim altında alternatif akım filtreleri ve kon-
dansatör bataryaları tarafından üretilen reaktif güç,

S : Doğru akım tarafında bulunan seri bağlı 6-yollu köprü adedi,

m : Transformatörün çevirme oranı,

K : Akım oranı $= 1.35 S \cdot m$

α : Doğrultucunun gecikme (ateşleme-tetikleme) açısı,

γ : Eviricinin sönme açısı,

dx : V_{oN} 'in yüzdesi olarak toplam endüktif gerilim düşümü,

dr : $V_o N$ 'in yüzdesi olarak toplam ohmik gerilim düşümü,

dt : Toplam gerilim düşümü $= dx + dr$

(N) indisi nominal değer anlamında kullanılmıştır.

7.1. Bir Doğrultucu İstasyon için Alternatif Akım ve Doğru Akım Büyüklikleri Arasındaki Bağıntılar ve Genel Kabuller

Alternatif akım şebekesini besleyen ve basitleştirilmiş şematik diyagram ile gösterilen bir çevirici sistemi Şekil-7.1'de verilmiştir.

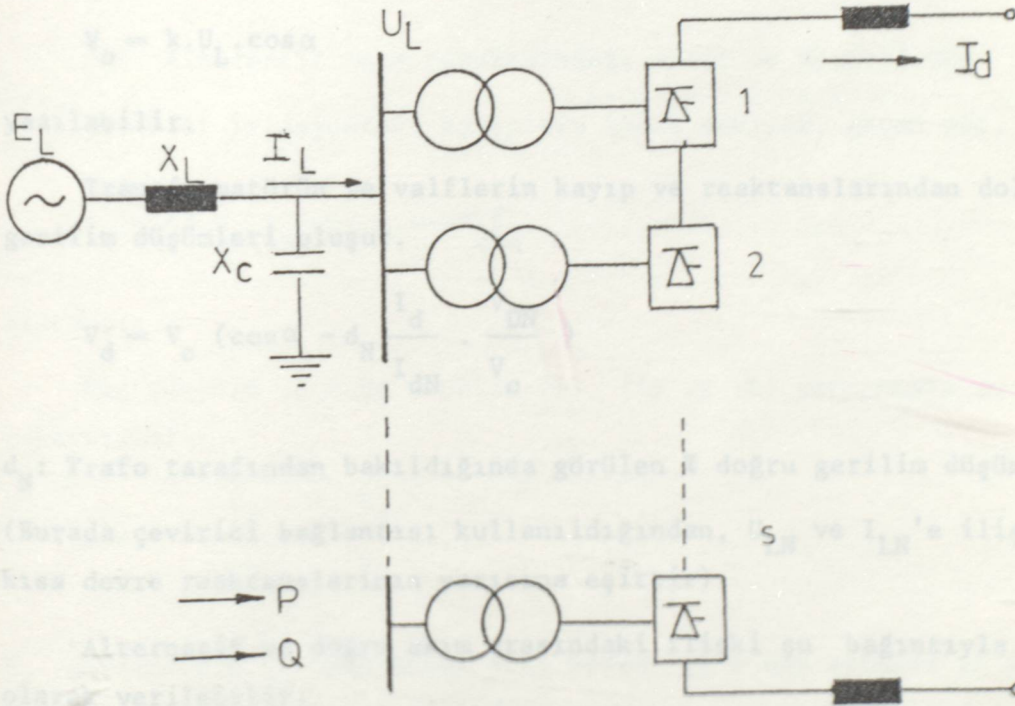
Alternatif akım şebekesi, E_L gibi bir elektromotor kuvvet ve buna seri bağlı bir empedans ile gösterilmiştir.

Alternatif akım barasında yer alan filtre düzenlerinden ötürü, bu noktadaki gerilimin sinüsoidal olduğu kabul edilmiştir.

Alternatif akım barasındaki fazlararası temel gerilim bileşeninin efektif değeri U_L ve nominal değeri de U_{LN} ile gösterilmiştir.

Nominal gerilimde alternatif akım filtrelerinde ve şönt kapasitör ünitelerinde üretilen toplam reaktif güç Q_c ile gösterilmiştir.

Ayrıca çevirici istasyonun doğru akım bölümünde, seri ve paralel olarak bağlanmış birden fazla 6-yollu doğrultucunun bulunduğu kabul edilmektedir.



Şekil-7.1 Bir çeviricinin (doğrultucu) şematik diyagramı.

Doğru akım reaktörü nedeniyle, doğru akım tarafındaki akım tamamen süzülür. Doğru akım bileşeni I_d ile gösterilmiştir. Buna tekabül eden nominal değer ise I_{dN} 'dir. Bir kutuplu iletimde kutup ile toprak arasında, iki kutuplu iletimde ise iki kutup arasında tanımlanabilen doğru gerilim V_d ile gösterilmiştir,

Alternatif akım bara geriliminin sinüsoidal olduğu kabul edildiğine göre, 6-yollu çeviricilere ilişkin akım ve gerilim değerleri arasındaki bağıntılar gerek doğru akım gerekse alternatif akım kısmında aynı olacaktır.

Alternatif akım barasında çok sayıda seri köprünün bağlı olduğunu ve transformatörün çevirme oranının m olduğunu söylemiştik.

Boşta çalışma gerilimi V_o 'ın, alternatif akım barasının U_L gerilimi ile doğru orantılı olduğu gösterilebilir.

$$V_o = 1.35 \text{ s.m. } U_L = k \cdot U_L \quad (7.1)$$

Faz kontrolü ile boşta çalışma gerilimi daha da azaltılabilir. Doğrultucu olması halinde,

$$V_o = k \cdot U_L \cdot \cos \alpha \quad (7.2)$$

yazılabilir.

Transformatörün ve valflerin kayıp ve reaktanslarından dolayı ek gerilim düşümleri oluşur.

$$V_d = V_o \left(\cos \alpha - d_N \frac{I_d}{I_{dN}} \cdot \frac{V_{DN}}{V_o} \right) \quad (7.3)$$

d_N : Trafo tarafından bakıldığında görülen % doğru gerilim düşümü.

(Burada çevirici bağlantısı kullanıldığından, U_{LN} ve I_{LN} 'e ilişkin % kısa devre reaktanslarının yarısına eşittir).

Alternatif ve doğru akım arasındaki ilişki şu bağıntıyla yaklaşık olarak verilebilir:

$$\frac{I_L}{I_d} = \frac{k}{\sqrt{3}} \quad (7.4)$$

Çevirici böylelikle seri köprü sayısı, trafo oranı ve orantı sabitine bağlı olarak alternatif ve doğru akım arasında sabit bir transformasyon (dönüştürme) sağlamış oluyor.

7.2. Bir Evirici İstasyonu için Alternatif Akım ve Doğru Akım Büyüklükleri Arasındaki Temel Bağlantılar

Bir doğrultucu istasyonu için geçerli olan bağlantı ve kabuller, evirici istasyon için de geçerlidir. Bununla birlikte pratik nedenlerden ötürü doğru ve alternatif akım sistemlerinde iletilen gücün yönleri birbirine ters alınır. O halde α gecikme açısı 90° den daha büyüktür.

Doğrultucudaki gecikme açısı ile aynı mertebede olan (15° ile 18° arasında) bir sönme açısı (γ) söz konusudur. Denklem (3) şu şekilde yazılabilir :

$$V_d = V_o \left(\cos \gamma - dN \cdot \frac{I_d \cdot V_{oN}}{I_{dN} \cdot V_o} \right) \quad (7.5)$$

7.3. Alternatif Akım Şebekesindeki Aktif ve Reaktif Güç

Çevirici istasyondaki kayıpları ihmal edersek, geçen güç,

$$P = \sqrt{3} U_L I_L \cos \psi = V_d I_d \quad (7.6)$$

olacaktır.

Güç faktörü için de denklem (1), (4) ve (6) yardımıyla şu ifade çıkarılabilir.

$$\cos \psi = \frac{V_d}{k \cdot U_L} \quad \frac{V_d}{V_o} \quad (7.7)$$

V_d geriliminin V_o 'dan küçük olma nedeni ya α nın artması ya da trafo-daki endüktif gerilim düşümünün büyümesi ile açıklanabilir.

Görünür güç için,

$$S = \sqrt{3} U_L I_L = V_o I_d \quad (7.8)$$

ve reaktif güç için de,

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = V_d I_d \sqrt{\left(\frac{V_o}{V_d} \right)^2 - 1} \quad (7.9)$$

ifadelerini yazabiliriz.

7.4. Alternatif Akım Şebekesinin Bir Çevirici Tarafından Yükleneşi

Yukarıda çıkarttığımız bağıntılar, yük akışı ve stabilite açısından çeviriciyi bilgisayar programında ele almak için yeterlidir.

Bununla birlikte geniş bilgisayar programları kullanmadan yapılmış basit çalışmalar Şekil-7.2'de gösterilen alternatif akım şebeke modelini kullanmak suretiyle gerçekleştirilebilir. Alternatif akım şebekesi, bir E elektromotor kuvveti ile seri bağlı bir X_L reaktansı ile gösterilebilir.

Senkron makinelerin geçici reaktansı kullanılmalıdır. X_L reaktansını kısa devre gücü ile tanımlama olanağı vardır.

$$Q_L = \frac{U_{LN}^2}{X_L} \quad (7.10)$$

Hesabı basitleştirmek maksadıyla alternatif akım filtreli ve şönt kapasiteli bir alternatif akım şebekesinin Thevenin teoremine göre eşdeğer devresi Şekil-2'de verilmiştir.

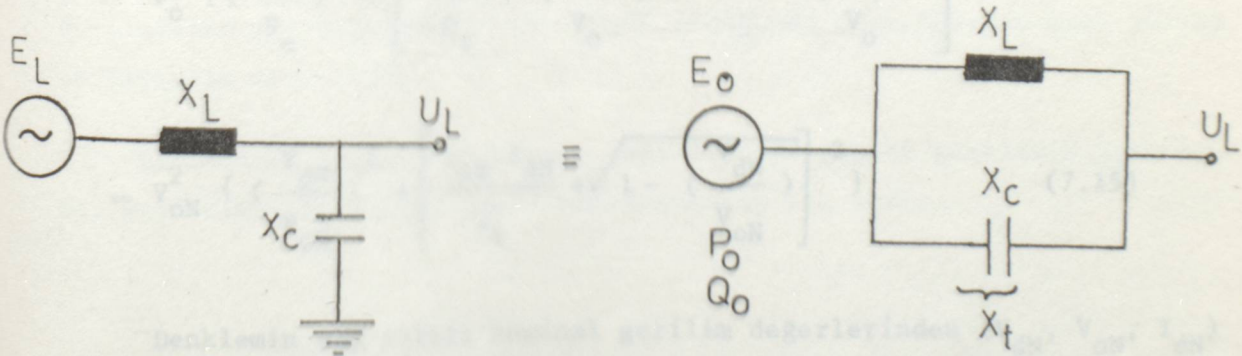
Kapasitör ve alternatif akım filtreleri tarafından üretilen Q_c gücü nedeniyle, toplam kısa devre gücü azalacaktır. O halde,

$$Q_t = Q_L - Q_c \quad (7.11)$$

bulunur. Dolayısı ile iç elektromotor kuvvet de

$$E_o = \frac{Q_L}{Q_L - Q_c} \cdot E_L \quad (7.12)$$

olacaktır.



Şekil-7.2 Bir alternatif akım şebekesinin dönüşümü.

Çeviricideki yükün aniden sıfıra düşmesi halinde E_o , geçici alternatif akım bara gerilimine eşit olduğundan (o) indisi kullanılır.

İç elektromotor kuvveti alternatif akım bara büyüklükleri cinsinden de ifade etmek mümkündür.

Reaktif güç için

$$Q_o = 3I_L^2 \cdot X_t + Q = \frac{S^2}{Q_t} \left(\frac{U_{LN}}{U_L} \right)^2 + Q \quad (7.13)$$

yazılabilir.

Alternatif akım şebekesini kayıpsız kabul edersek,

$$P_o = P \text{ olur}$$

$$P_o = \sqrt{3} U_L I_L \cos \psi \text{ ve } S_o = \sqrt{P_o^2 + Q_o^2} = \sqrt{3} E_o I_L \text{ 'den}$$

$$E_o = U_L \sqrt{\cos^2 \psi \left[\frac{S}{Q_t} \left(\frac{U_{LN}}{U_L} \right)^2 + \sin^2 \psi \right]^2} \quad (7.14)$$

7.5. Doğru Akımın Geçici Değişimi

Doğru akımda ani bir değişme olduğunda, geçici şebeke empedansının ardındaki iç elektromotor kuvvetin (E_o) genliğinin sabit olduğu düşünülebilir.

Denklem (7.1), (7.7), (7.8) ve (7.9) ile şu ifade çıkarılabilir.

$$\begin{aligned} V_o^2 \left\{ \left(\frac{V_d}{V_o} \right)^2 + \left[\frac{V_o \cdot I_d}{Q_t} \left(\frac{V_{oN}}{V_o} \right)^2 + \sqrt{1 - \left(\frac{V_d}{V_o} \right)^2} \right]^2 \right\} \\ = V_{oN}^2 \left\{ \left(\frac{V_{dN}}{V_{oN}} \right)^2 + \left[\frac{V_{oN} \cdot I_{dN}}{Q_t} + \sqrt{1 - \left(\frac{V_{dN}}{V_{oN}} \right)^2} \right]^2 \right\} \quad (7.15) \end{aligned}$$

Denklemin sağ tarafı nominal gerilim değerlerinden (V_{dN} , V_{oN} , I_{dN}) hesaplanmış E_o^2 yi, sol tarafı ise boşa çalışma durumundaki değerler-

den hesaplanmış E_o^2 'yi göstermektedir. Yeniden düzenlersek,

$$V_d = V_o \left(\cos \alpha - d_N \frac{I_d}{I_{dN}} \cdot \frac{V_{oN}}{V_o} \right),$$

$$\begin{aligned} & \frac{2 I_{dN} \cdot V_{oN}}{Q_t} \cdot \frac{I_d}{I_{dN}} \sqrt{\left(\frac{V_o}{V_{oN}} \right)^2 \left[1 - \left(\cos \alpha - d_N \cdot \frac{I_d}{I_{dN}} \cdot \frac{V_{oN}}{V_o} \right)^2 \right] + \left(\frac{V_o}{V_{oN}} \right)^2} \\ & = 1 + \frac{V_{oN}}{Q_t} \left[1 - \left(\frac{I_d}{I_{dN}} \right)^2 \right] + \frac{2 I_{dN} \cdot V_{oN}}{Q_t} \sqrt{1 - \left(\cos \alpha - d_N \cdot \frac{I_d}{I_{dN}} \cdot \frac{V_{oN}}{V_o} \right)^2} \quad (7.16) \end{aligned}$$

7.6. Yükün Ayrılması Anındaki Geçici Gerilim Artışı

Nominal şartlar altında toplam yükün ayrılması anındaki geçici gerilim artışı, denklem (7.16)'da I_d yerine sıfır konarak hesaplanır.

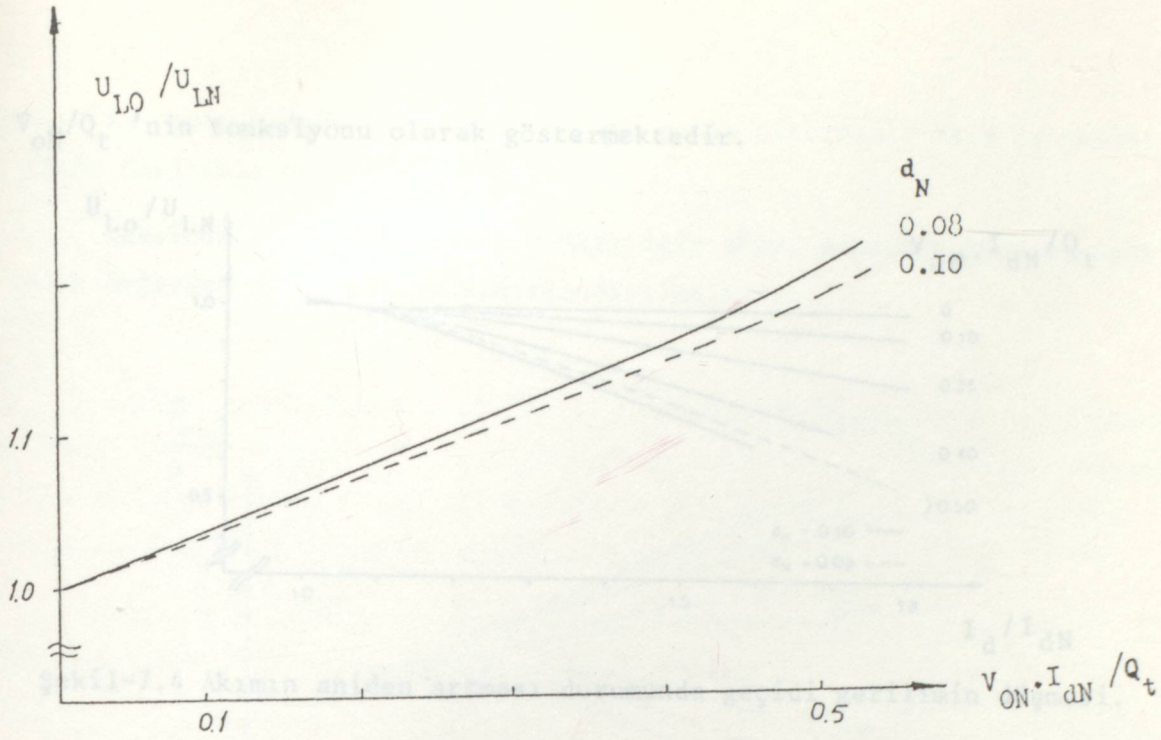
$$\frac{U_{Lo}}{U_{LN}} = \frac{V_o}{V_{oN}} = \sqrt{1 + \left(\frac{V_{oN} \cdot I_{dN}}{Q_t} \right)^2} + \frac{2 V_{oN} \cdot I_{dN}}{Q_t} \cdot \sqrt{1 - (\cos \alpha_N - d_N)^2} \quad (7.17)$$

U_{Lo}/U_{LN} ve $V_{oN} \cdot I_{dN}/Q_t$ arasındaki bağıntı, $\alpha_N = 15^\circ$ ve d_N parametre alınmak üzere Şekil-7.3'de verilmiştir.

Burada şebeke empedansının faz açısının 90° ye eşit (yani saf endüktif) olduğu unutulmamalıdır.

Gerçek şebekede, özellikle şebekenin kısa devre gücü ile doğru akımda iletilen güç arasındaki oran küçük olduğunda önem kazanan bazı yükler ve kayıplar mevcuttur.

Şebekedeki bu ohmik bileşen, doğrultucuda geçici gerilimin artmasına, eviricide ise geçici gerilimin düşmesine yol açar.



Şekil-7.3 Ani yük artışında geçici gerilimindeki yükselme.

7.7. Maksimum Geçici Güç Artışı

Çeviricideki maksimum güç artışı, doğru akımdaki ani artışın doğru gerilimde de bir artışa yol açması nedeniyle sınırlanır.

U_L ve V_o gerilimleri, alternatif akım şebeke empedansındaki gerilim düşümü dolayısıyla azalacaktır, trafonun reaktansı nedeniyle çeviricideki iç gerilim düşümü de artacaktır.

Gecikme açısı sıfır olduğunda (çıkıştan maksimum doğru gerilim alınır) maksimum güç iletimi gerçekleşmiş olur. Denklem (7.16)'yı $\alpha = 0^\circ$ ve $\alpha_N = 15^\circ$ değerleri ile yeniden kullanabiliriz.

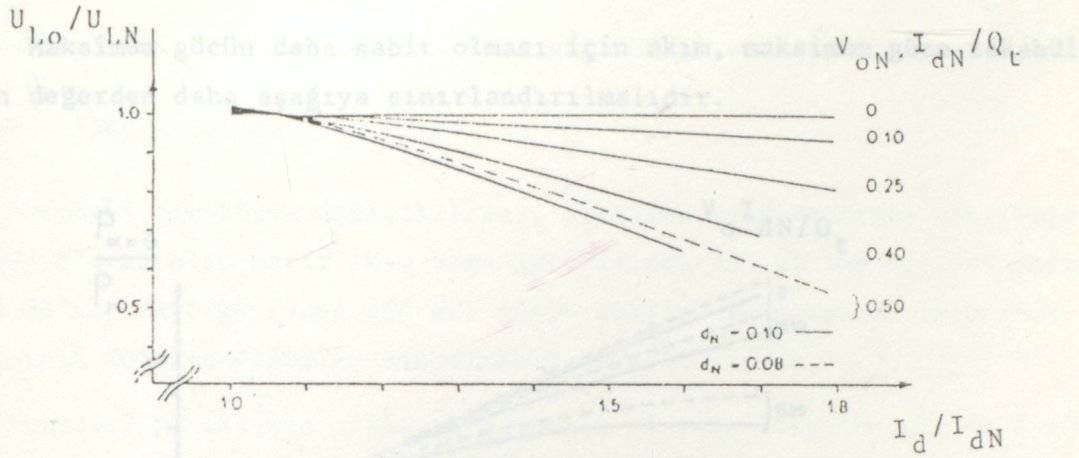
$$\frac{2I_{dN} \cdot V_{oN}}{Q_t} \cdot \frac{I_d}{I_{dN}} \sqrt{2 \cdot dN \frac{I_d}{I_{dN}} \cdot \frac{V_o}{V_{oN}} - \left(dN \frac{I_d}{I_{dN}}\right)^2 + \left(\frac{V_o}{V_{oN}}\right)^2}$$

$$= 1 + \left(\frac{I_{dN} \cdot V_{oN}}{Q_t}\right)^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{I_d}{I_{dN}}\right)^2\right] + 2 \cdot \frac{I_{dN} \cdot V_{oN}}{Q_t} \cdot \sqrt{1 - (\cos \alpha_N - d_N)^2} \quad (7.18)$$

Bu denklemden V_o/V_{oN} 'in U_L/U_{LN} 'e eşit olduğu görülebilir.

Şekil-7.4, U_L/U_{LN} 'i, dN parametre olmak üzere I_d/I_{dN} ile I_{dN}

V_{oN}/Q_t 'nin fonksiyonu olarak göstermektedir.



Şekil-7.4 Akımın aniden artması durumunda geçici gerilimin düşmesi.

Geçici güç ile nominal güç arasındaki oran için elektromotor kuvvetin sabit olduğunu kabul ederek şu ifadeyi yazabiliriz.

$$\frac{P_{\alpha=0}}{P_N} = \frac{V_o}{V_{oN}} \cdot \frac{I_d}{I_{dN}} \cdot \frac{1-d_N(I_d/I_{dN}) (V_{oN}/V_o)}{(\cos \alpha_N - d_N)} \quad (7.19)$$

V_o/V_{oN} , denklem (18) den bulunabilir.

...

$I_{dN} V_{oN}/Q_t = 0$ eğrileri, alternatif akım barasında gerilimin sabit olmasına tekabül eder ($Q_t = \infty$).

Yukarıdaki varsayımın alternatif akım şebekesinin boşa çalışması için geçerli olduğu unutulmamalıdır.

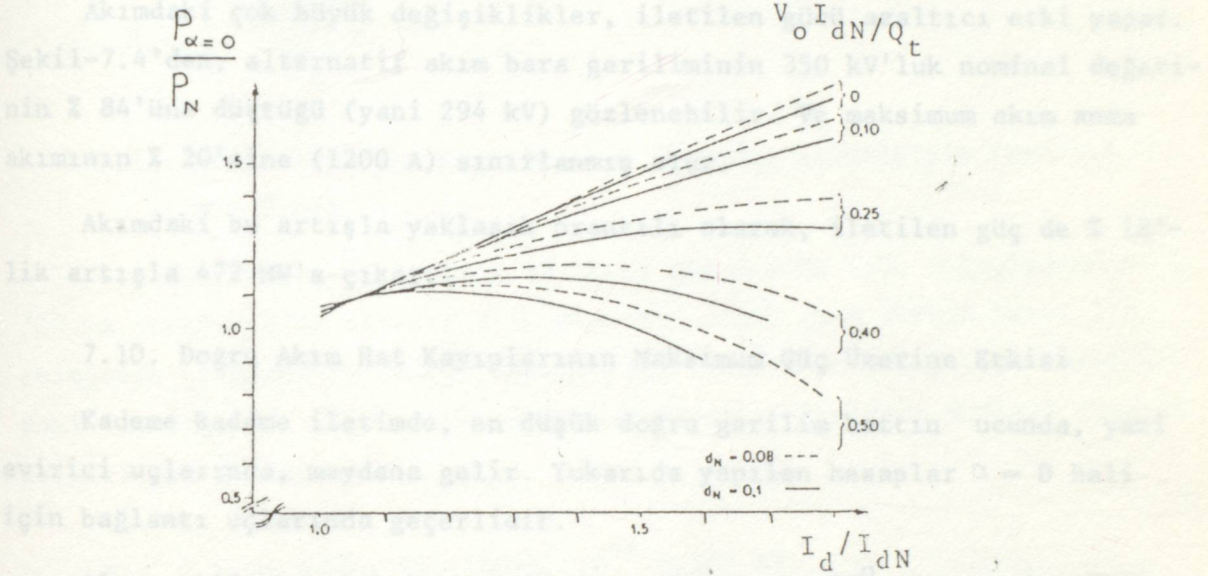
Kısa bir süre sonra alternatif akım şebekesindeki gerilim regülasyonu U_L gerilimini destekleyeceğinden E_o da artacaktır. Bu da iletilen güçte daha fazla artış sağlayacaktır.

7.8. Akım Sınırlaması

Şekil-7.5 'de verilen eğrilerden, iletim gücünü arttırmak için yapılan girişimin, kontrolü mümkün olamayacak bir akım artışı doğurmaması için akımın sınırlandırılması gerektiği açıkça görülmektedir.

Şekil Bu durum, küçük kısa devre gücüne sahip alternatif akım şebekelerinde özellikle önem taşır.

Maksimum gücün daha sabit olması için akım, maksimum güce tekabül eden değerden daha aşağıya sınırlandırılmalıdır.



Şekil-7.5 Akımın aniden artması halinde geçici güç.

7.9. Geçici Maksimum Gücün Hesabına Ait Örnek

Doğrultucu devre ve bağlandığı alternatif akım şebekesi için aşağıdaki bilgiler verilmiş olsun.

$$U_{LN} = 350 \text{ kV}$$

$$V_{dN} = 400 \text{ kV}$$

$$d_N = \% 10$$

$$I_{dN} = 1000 \text{ A}$$

$$Q_t = 1850 \text{ MVA}$$

$$P_N = 400 \text{ MW}$$

$$\alpha_N = 15^\circ$$

Yukarıdaki değerler ve denklem (7.3) yardımıyla

$$V_{oN} = 461 \text{ kV bulunur.}$$

Denklem (7.1) den trafonun çevirme oranı,

$$461 = 1.35 \cdot 1 \cdot m \cdot 350 ; m = 0.976 \text{ ve,}$$

$$I_{LN} = 1.35 \cdot 0.976 \cdot 1000 / \sqrt{3} = 761 \text{ A}$$

$$V_{oN} \cdot I_{dN} / Q_t = 461 \cdot 1 / 1850 = 0.25 \text{ elde olunur.}$$

Şekil 7.5 'den :

$\frac{P_{\alpha=0}}{P_L} = 1.32$, buna tekabül eden güç 528 MW ve doğru akım yaklaşık olarak 1700 A bulunur.

Akımdaki çok büyük değişiklikler, iletilen gücü azaltıcı etki yapar. Şekil-7.4'den, alternatif akım bara geriliminin 350 kV'luk nominal değerinin % 84'üne düştüğü (yani 294 kV) gözlenebilir. Ve maksimum akım anma akımının % 20'sine (1200 A) sınırlanmış olur.

Akımdaki bu artışla yaklaşık orantılı olarak, iletilen güç de % 18'lik artışla 472 MW'a çıkar.

7.10. Doğru Akım Hat Kayıplarının Maksimum Güç Üzerine Etkisi

Kademe kademe iletimde, en düşük doğru gerilim hattın ucunda, yani evirici uçlarında, meydana gelir. Yukarıda yapılan hesaplar $\alpha = 0$ hali için bağlantı uçlarında geçerlidir.

Alternatif akım şebeke empedansının faz açısı 90° dir. Aktif güç alternatif akım şebekesine iletildiği için, akım arttığında empedansın ohmik bileşeni eviricinin alternatif akım bara gerilimini yükseltecektir. Halbuki endüktif bileşen doğrultucuda olduğu gibi gerilimi düşürür ve geçici maksimum gücü sınırlar.

Her iki alternatif akım şebekesinin empedansları aynı ise, doğrultucu ve eviriciden aynı maksimum güç iletilir. Doğru akım hattındaki güç kayıpları doğrultucudan da geçeceğinden çıkış gücünü sınırlayan çoğunlukla doğrultucu olacaktır.

Doğru akım hattının direnci nedeniyle, eviriciden alınan güç, doğrultucudan verilen güçten daha az olacaktır. Ayrıca doğrultucu ve eviricinin kendi kayıpları da söz konusudur.

Bu kayıpları ve hat direncini R_L gibi bir dirençle gösterecek olursak, evirici tarafından alternatif akım şebekesine verilen maksimum güç ile buna tekabül eden nominal güç arasındaki oranı şu şekilde yazabiliriz :

$$\frac{P_{(evirici)}}{P_N(evirici)} = \frac{V_o \cdot I_d \left[1 - (d_{xN} + d_{rN}) \cdot \frac{I_d \cdot V_{oN}}{I_{dN} \cdot V_o} \right]}{V_{oN} \cdot I_{dN} \left[\cos \alpha_N - (d_{xN} + d_{rN}) \right]} \quad (7.20)$$

Burada

$$d_{rN} = \frac{I_{dN} \cdot R_t}{V_o} \text{ dir.}$$

7.11. Doğru Akım Hat Kayıplarının Gözönüne Alınmasıyla Yapılmış Bir Örnek

7.9'daki örnekte iletilen maksimum güç 528 MW idi. Doğrultucunun 700 km uzunlukta ve direnci 15Ω olan bir doğru akım iletim hattı ile eviriciye bağlandığı kabul edilmiştir. Evirici ve doğrultucu tarafındaki alternatif akım şebekesinin empedansları aynıdır. Nominal akım da evirici tarafından alınan güç ,

$$P_{N_{evirici}} = 400 - 15 \cdot (1000)^2 \cdot 10^{-6} = 385 \text{ MW}$$

Akımı 1000 A'dan 1700 A'e çıkararak (% 25.9 'luk artış), gücü geçici olarak

$$P_{evirici} = P_{\alpha=0} - RI^2 = 528 - (15)(1.7)^2 = 472 \text{ MW'a}$$

yükseltebiliriz.

Akımdaki % 20'lik artış (200 A) sonunda doğrultucu istasyon 472 MW verir. O halde eviriciden alınan güç,

$$P_{evirici} = 472 - 15 (1.2)^2 = 450 \text{ MW}$$

olacaktır.

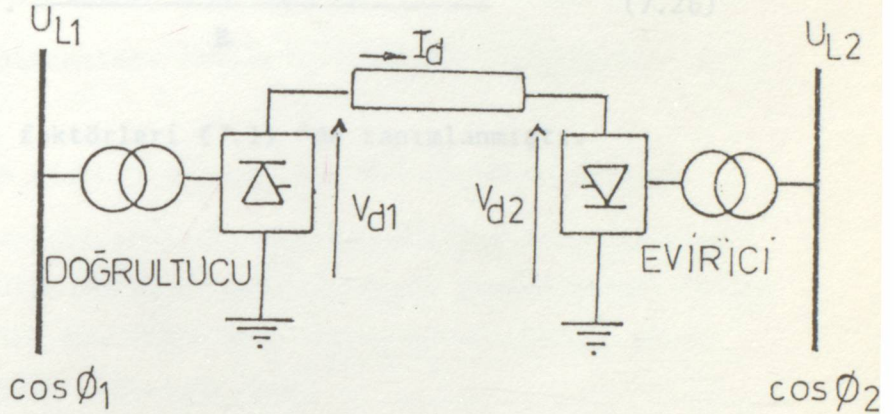
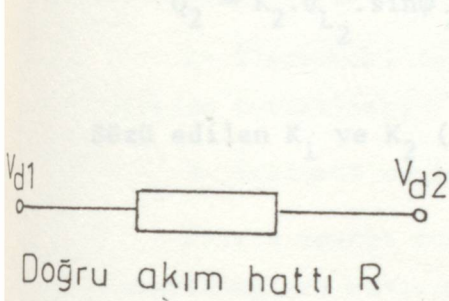
Demek ki, akımdaki % 20'lik geçici artışa karşılık, güçteki geçici yükselme % 17'ye ulaşmaktadır.

7.12. Bir Doğru Akım Şebekesinde Güç Transferi

Bir doğru akım hattının başındaki ve sonundaki güç, Şekil-7.6'dan da görüleceği gibi,

$$P = \frac{V_{d1}^2 + V_{d2}^2}{2R} \mp \frac{(V_{d1} - V_{d2})^2}{2R} \quad (7.22)$$

şeklinde ifade edilebilir.



Şekil-7.6 Eşdeğer doğru akım hattı

Şekil-7.7 Bir doğru akım linki.

(1) indisi ile hat başını, (2) indisi ile de hat sonunu gösteriyoruz.

Denklem (7.22)'deki ilk terim hattın ortasındaki gücü, ikinci terim ise hat kayıplarının yarısını verir. (+) işareti ile hat başı gücünü, (-) işareti ile de hat sonu gücünü elde ederiz.

Her iki alternatif akım barasındaki aktif ve reaktif güçler, Şekil-7.7'den de görüleceği gibi, şu şekilde ifade edilebilir.

Hat başındaki aktif güç,

$$P_1 = K_1 \cdot U_{L1} \cdot \cos \psi_1 \cdot \frac{K_1 \cdot U_{L1} \cdot \cos \psi_1 - K_2 \cdot U_{L2} \cdot \cos \psi_2}{R} \quad (7.23)$$

Hat başındaki reaktif güç,

$$Q_1 = K_1 \cdot U_{L1} \cdot \sin \psi_1 \cdot \frac{K_1 \cdot U_{L1} \cdot \cos \psi_1 - K_2 \cdot U_{L2} \cdot \cos \psi_2}{R} \quad (7.24)$$

Hat sonundaki aktif güç,

$$P_2 = K_2 \cdot U_{L_2} \cdot \cos \psi_2 \cdot \frac{K_1 \cdot U_{L_1} \cdot \cos \psi_1 - K_2 \cdot U_{L_2} \cdot \cos \psi_2}{R} \quad (7.25)$$

Hat sonundaki reaktif güç,

$$Q_2 = K_2 \cdot U_{L_2} \cdot \sin \psi_2 \cdot \frac{K_1 \cdot U_{L_1} \cdot \cos \psi_1 - K_2 \cdot U_{L_2} \cdot \cos \psi_2}{R} \quad (7.26)$$

Sözü edilen K_1 ve K_2 (K) faktörleri (7.1) 'de tanımlanmıştır.

8. YGDA HATLARININ İŞLETİLMESİ VE KONTROLU

8.1. Yüksek Gerilim Doğru Akım İletim Sistemlerinin Genel İşleme Özellikleri

Bir doğru akım iletim sisteminde kontrol açısından şu nitelikler aranır :

- 1- Akım, güç veya frekans gibi sistem büyüklüklerinden birine yeterli doğruluk ve hızda kumanda edebilmek,
- 2- Sistemdeki dalgalanmalara rağmen eviricilerin çalışmasını güven altında tutabilmek,
- 3- İşlemevi minimum reaktif güç üretimi ile gerçekleyebilmek.

Ayrıca mevcut kontrol sisteminin, başpösteren bir arıza halinde dalgalanmalara bağlı olarak işlemeyi ayarlaması ve zararı olabildiğince en aza indirmesi beklenir. Bir doğru akım kontrolunun prensip şeması Şekil-7.7'de gösterilmiştir. İletilen akım,

$$I_d = \frac{U_{d1} - U_{d2}}{R} \quad (8-1)$$

şeklindedir.

R direncinin oldukça küçük olması nedeniyle $U_{d1} - U_{d2}$ uç gerilimleri arasındaki fark büyük olacak ve akım hızlı şekilde değişebilecektir.

U_{d1} ve U_{d2} gerilimlerinin kontrolü için iki yol vardır : Birincisi çevirici trafonun sarı uçlarını değiştirmek, ikincisi ise şebeke kontrolü ile alternatif ve doğru gerilim arasındaki oranı (yani α gecikme açısını) değiştirmektir.

İlk yöntem oldukça yavaştır, buna karşılık şebeke kontrol sistemiyle α açısını çok hızlı olarak değiştirebiliriz.

Cevirici tarafından tüketilen reaktif gücün maliyetini (tutarı) azaltmak için

- ya doğrultucuyu minimum α açısında,
- ya da eviriciyi minimum γ açısında çalıştırmak gerekir.

Bir evirici için son söylenen uygundur.

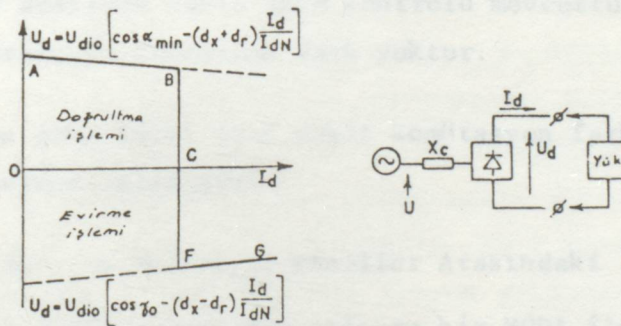
γ için 15° ile 18° arasında değer seçilebilir. Daha büyük değer komütasyon tehlikesini arttırabileceği gibi, aynı zamanda valflerdeki zorlanmaları ve reaktif güç gereksinimini yükseltir.

Doğru akım hat gerilimi, evirici trafosunun sargı uçlarını değiştirerek ayarlanabilir. Akım, dolayısıyla iletilen güç, doğrultucuda şebeke kontrolü ile hızla değiştirilebilir, yani doğrultucunun gerilimi (U_{dl}), gecikme açısının kontrolü ile gerçekleştirilir. Kararlı halde $12^\circ - 18^\circ$ lik gecikme açısı uygundur. α açısının azaltılması ile reaktif güç gereksinimi de düşer, ancak bu takdirde doğrultucu geriliminde hızlı artma olanağı sınırlanmış olur.

8.2 Çeviricilerin Statik Karakteristikleri

Kumanda akımı I_{dl} olan sabit akım kontrol sistemi ile γ değerini kontrol eden (belli bir değerden daha düşük olması engelleyen) bir kontrol sistemine sahip bir çevirici düşünelim.

Şekil-8.1 'de çeviricilerin yük altındaki karakteristikleri gösterilmiştir. A noktasında sonsuz olduğu kabul edilen yük direncinin değeri A noktasından B noktasına gidildikçe azalır. Çeviricinin α_{min} ile çalışması için, çevirici geriliminin çok düşük ve yük direncinin çok büyük olması gerekir. Çoğunlukla α_{min} 5° civarında seçilir.



Şekil-8.1 Akım kontrollü çeviricinin gerilim-akım karakteristiği.

B noktasında yük direncinin değeri düşüktür ve çevirici gerilimi maksimum değerde ise arzu edilen akım değeri elde edilebilir. Yük

direncinin değerinin daha da dūřuk olması halinde doğru akım değerini I_{dl} de tutmak için α artırılmalıdır. Bu olay B-F bölgesinde meydana gelir.

Komütasyon açısı u ihmal edilirse C noktasında çeviricinin polaritesi değişir ve $\alpha = 90^\circ$ olur. Bu noktada çevirici evirici olarak çalışır. Yük aktif bir eleman olmalıdır. (Doğru akım kaynağına seri bağlı bir direnç gibi).

F noktasında gecikme açısı (α) komütasyon farkını minimum γ_0 değerine ulaştıracak şekilde artmıştır ve γ kontrol sistemi elde edilir. F noktası çeviricilerin maksimum gerilime eriştikleri noktadır.

F noktasından G noktasına geçişte komütasyon farkı sabit kalır. Bu esnada yük gerilimi artarsa, çeviricilerin komütasyon açıları (u) ve doğru akım değerleri de artar, çeviricilerin doğru gerilim değeri azalır. Bu bölgede çevirici negatif direnç özelliği gösterir.

Buraya kadar anlatılanları özetlersek :

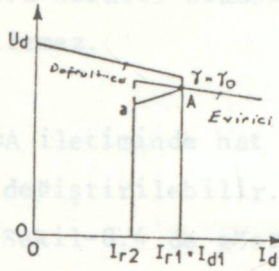
a) A-B arasındaki doğrultma işlemi minimum gecikme açısı sınırları dahilindedir. evirici gerilimi fazla yüksek değerlerde değil ise arzu edilen akım değer elde edilir.

b) B-F arasında sabit akım kontrolü mevcuttur. Doğrultma ve evirme işlemleri arasında prensipte fark yoktur.

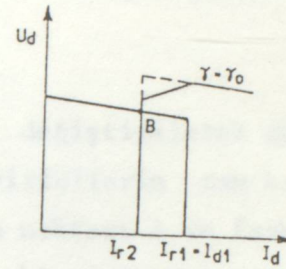
c) F ve daha ötesi için sabit komütasyon farkı kontrolü mevcuttur. Bu normal evirme işlemidir.

8.3. Alıcı ve Verici Terminaller Arasındaki işbirliği

Sekil-7.7'deki prensiple çalışan bir YGDA iletim hattı dūřunelim. Bu iletim hattındaki her istasyonda 6 vollu çeviriciler seri bağlıdır- lar. 1 indisi ile doğrultucu terminal, 2 indisi ile de evirici terminal gösterilmiştir.



Şekil-8.2 Maksimum gerilimde doğrultucunun akım ve geriliminin değişimi.



Şekil-8.3 Maksimum gerilimde eviricinin akım ve geriliminin değişimi.

Doğrultma karakteristiği ABC ile ve evirme karakteristiği ise CFG ile Şekil-8.1'de gösterilmiştir. Eviricinin referans akımı I_{R2} doğrultucunun referans akımı I_{R1} den daha küçüktür. Bu iki referans akımı arasındaki fark nominal akımın % 15'i kadardır ve bu akıma fark akımı denir.

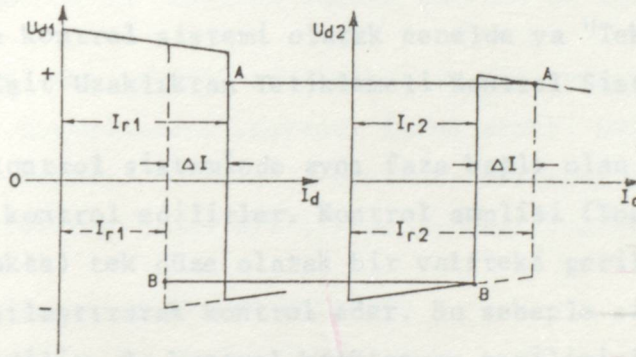
$$\Delta I = I_{R1} - I_{R2} \quad (8-2)$$

Doğrultucu ve eviricinin karakteristikleri ve aralarındaki bağıntılar Şekil-8.2 ve 8.3 'de gösterilmiştir. Şekil-8.1 de sadece doğrultucu işlemi için hat gerilimi pozitif alınmıştır. Şekil-8.2 ve 8.3 'de evirici işlemi de pozitif olarak alınmıştır. Bu eğrilerdeki evirici karakteristiklerindeki A ve a noktaları en kısa yol üzerinden keskin bir çizgi ile birleştirilmiştir. Şekil-8.2 de, doğrultucuda en yüksek maksimum doğru gerilim ve eviricide minimum sönme açısı mevcut iken minimum gecikme açısındaki olağan durum gösterilmiştir. Bu 2 karakteristiğin kesiştiği A noktası kararlı işletme noktası olarak adlandırılır. Doğrultucu terminalindeki alternatif gerilim değeri azalır veya eviricinin alternatif gerilim değeri artarsa Şekil-8.3 de görüldüğü gibi kesişme noktası B ye geçer. Bu, birden fazla seri bağlı çeviricilerden oluşan işletmede doğrultuculardan birinin devreden çıkarılması veya devreye yeni bir eviricinin eklenmesi halinde de meydana gelebilir.

Doğrultucu ve eviricinin kumanda akımları arasındaki bu farkın

meydana gelmesinin nedeni bu iki şekilden de belli olmaktadır. Farkın sıfır veya negatif olması halinde herhangi bir kararlı çalışma noktası elde edilemez.

YGDA iletiminde hat geriliminin polaritesi değiştirilerek güç akış yönü de değiştirilebilir. Bu 2 istasyon için çeviricilerin tam karakteristiği Şekil-8.4 de gösterilmiştir. İlk çalışma noktası A ve fark akımı $\Delta I'$ dır. Doğrultucu istasyondaki kumanda akımı ΔI farkının mertebesine bağlı olarak azalır, kesik çizgilerle belirtilen yeni karakteristik geçerli olur ve yeni çalışma noktası B elde edilir. Böylece d.a hattının polaritesi ve iki konverter istasyonun da çalışma biçimleri yer değiştirir.

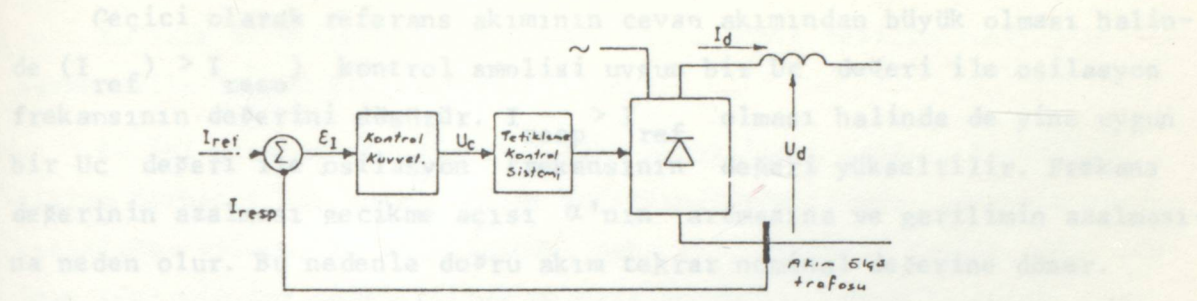


Şekil-8.4 Güç akım yönünün değiştirilmesi

Pratikte güç akış yönünün tersine çevrilmesi için bazı şartlar yerine getirilmelidir. Bunlar açma-kapama yapabilmek için gerekli olan şartlardır. (α nın minimum değeri, evirici için yaklaşık 100° , doğrultucu için de yaklaşık 5° civarında olmalıdır).

8.4. Kapalı Çevrim Akım Kontrolü

Doğrultucularda normalde Şekil-8.5 de basitleştirilmiş hali ile gösterilen geri beslemeli kontrol sistemi kullanılır.



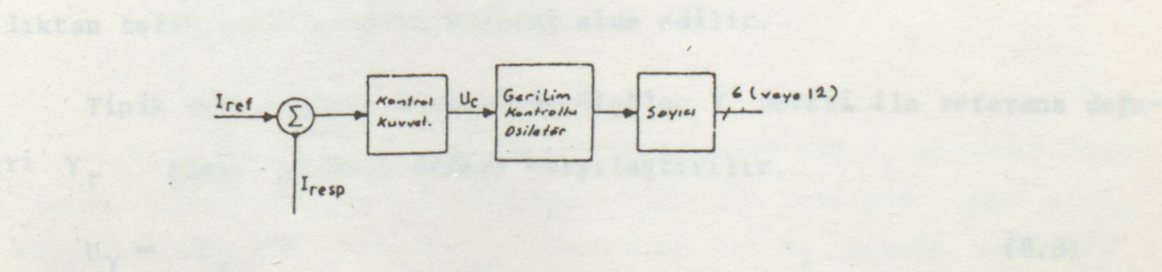
Sekil-8.5 Sabit akım kontrol sisteminin basitleştirilmiş blok diyagramı.

Kontrol amplicisi, uygun kazanç ve kontrol çevriminin kararlı dinamik komanzasyonu sağlamak için kullanılır. Tetikleme kontrol sisteminin oluşturduğu kontrol darbeleri (Şekil-8.5'deki köprü sembolü valfleri de temsil etmektedir) valf kontrol sistemi ile iletilir.

Tetikleme kontrol sistemi olarak genelde ya "Tek Faz Kontrol Sistemi" ya da "Eşit Uzaklıktan Tetiklemeli Kontrol Sistemi" kullanılır.

Tek faz kontrol sisteminde aynı faza bağlı olan valfler diğer valflerle tek tek kontrol edilirler. Kontrol amplicisi (Toplayıcı bir eleman olarak çalışmakta) tek düze olarak bir valfteki gerilim artışını diğer valflerle karşılaştırarak kontrol eder. Bu sebeple sistem çıkış gerilimi ile ifade edilir. Bu kontrol komütasyon geriliminin sıfırdan geçişi ile başlar ve iki gerilim değeri arasında eşitlik olduğu anda kontrol darbeleri oluşur.

Eşit uzaklıktan kontrol sistemi gerilim osilasyonunun kontrol edilmesi prensibi ile çalışır. Sürekli halde, çeviricinin yol sayısına bağlı olan çeviricinin frekansı ile a.a şebekesinin temel frekansı arasında bir eşitlik mevcuttur. Akım kontrol amplicisinin çıkış gerilimi (U_c) ile çıkış frekansı kontrol edilir. (Şekil-8.6)



Sekil-8.6 Eşit uzaklıktan tetiklemeli kontrol sisteminde kontrol darbelerinin oluşumu.

Geçici olarak referans akımının cevap akımından büyük olması halinde ($I_{ref} > I_{resp}$) kontrol amplitüsü uygun bir U_c değeri ile osilasyon frekansının değerini düşürür. $I_{resp} > I_{ref}$ olması halinde de yine uygun bir U_c değeri ile osilasyon frekansının değeri yükseltilir. Frekans değerinin azalması gecikme açısı α 'nın artmasına ve gerilimin azalmasına neden olur. Bu nedenle doğru akım tekrar nominal değerine döner.

Gerilim kontrollü osilatörün çıkış sinyali olan darbe dizilerinin ayrılması işlemi (hangi darbenin hangi valfe gideceği) uygun bir dijital sayıcı ile yapılır.

Sekil-8.6'daki U_c gerilimi da/dt ile orantılıdır ve giriş geriliminin frekansı osilatör ile kontrol edilmektedir. Faz kontrol osilatörü doğrudan α 'yı kontrol edecek şekilde de kullanılabilir.

Sekil-8.6'daki pratik sistemin blok diyagramının bazı özel fonksiyonlarının da tanımlanması gerekir. Bunun sebebi osilatörün faz dışı kalmasını önlemektir. Bu suretle kontrol darbelerinin α_{min} ve γ_{min} ile sınırlandırılmış zaman aralığında gönderilmeleri sağlanır.

8.5. Komütasyon Farkının Kontrolü

Minimum komütasyon farkını elde etmek için ya tek faz veya eşit uzaklık kontrol sistemleri kullanılır. Bunlardan başka prediktif (ön belirleme) sistem ve Geri besleme kontrol sistemleri de kullanılabilir.

Prediktif sistem açık çevrimli bir sistemdir ve doğru akım ile komütasyon geriliminin ani değerlerinin ölçülerek uygun tetikleme zamanının hesaplanması prensibi ile çalışır. Her bir valf veya faz doğal olarak tek tek ölçülür. Sayet bir kritik valf seçip eşit uzaklıktaki diğer bütün valflerin tetiklenmesi bu valfe göre yapılırsa eşit uzaklıktan tetiklemeli kontrol sistemi elde edilir.

Tipik geri besleme sisteminde ölçülen γ değeri ile referans değeri γ_r olması gereken değer) karşılaştırılır.

$$U_\gamma = \gamma_r - \gamma \quad (8.3)$$

Bu fark akım kontrol sisteminde tanımlanmış gerilim kontrollü darbe osilatörünün kontrolunda kullanılır.

Bu iki sistemin kendilerine özgü avantajları vardır. Prediktif sistem herhangi bir hatalı durum sonrasında komütasyon işleminin başarsızlığa uğramasını engellemede daha iyi olanaklar sağlar. Geri besleme kontrolü ise sadeleştirme ve daha doğru bir kontrol olanağı sağlar.

Sekil-8.6'daki blok diyagramında I_{ref} ve I_{resp} yerine valfin köprü devresinde ölçülen en küçük γ değerine göre γ_{ref} ve γ_{resp} konursa geri besleme kontrol sistemi elde edilir.

Komütasyon farkı, komütasyon geriliminin üst üste binme bölgesinin sonundan aynı gerilimin müteakip sıfırdan geçme noktasına kadar olan gerilim zaman alanıdır. Bunun nedeni komütasyonun gerilim-zaman alanını oluşturması ve akım veya gerilim dalgalanmalarının γ açısına etki etmeyen gerilim-zaman alanını değiştirmesidir.

Herhangi bir valf tetiklendiğinde komütasyon gerilime bağlı olarak çalışan prediktör ölçü aleti bir sonraki valfi tetikler. Prediktör (Kompüter devreli) devresi, ilgili komütasyon geriliminin bir önceki sıfır noktasından itibaren geçen zamanla orantılı bir gerilim ile beslendiği gibi a.a sistem frekansının yarı periyot zamanı ile orantılı bir gerilimle beslenir.

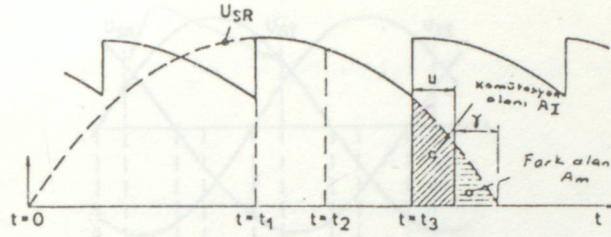
Komütasyonun sıfırdan her geçişinden sonra toplam gerilim-zaman alanının $A(t)$ değişimi prediktör ile hesaplanır.

Sekil-8.7 ve 8.8 de görüldüğü gibi bu alan üçgen biçimindedir. A_I komütasyonu için gerekli olan alan doğru akımla orantılıdır. Bu alan toplam alandan çıkartılırsa

$$A_p(t_2) = A(t_2) - A_I \quad (8.4)$$

$A_p(t_2)$ tetikleme mevdana geldiği kevfî bir t_2 anındaki komütasyon gerilim-zaman alan farkıdır. $A_p(t)$ ile referans değer A_{mref} karşılaştırılır. $A_p(t) = A_{mref}$ olduğunda, $t = t_3$ anında tetikleme darbeleri gönderilir. Komütasyon sonrasında komütasyon fark alanı A_m

elde edilir.

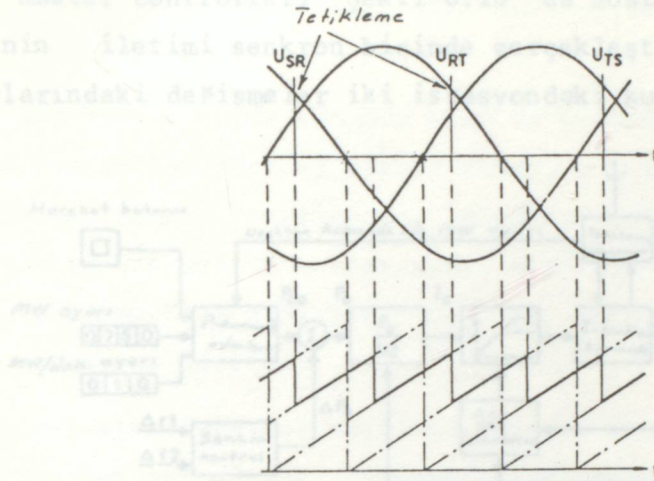


Sekil-8.7 Gerilim-zaman alanının komütasyon gerilimine göre değişiminin önceden tahmin voluyla hesaplanması

Yukarıda tanımlanan ifadeler tamamen kesin değerler değildir. Tam doğru sonuçlar geri besleme çevriminin ilave edilmesi ile bulunur. Bu iki sistem arasındaki fark prediktif sistemde tetikleme esnasındaki A_p hatası ve gerçek hata A_m 'in hesapla bulunmasıdır. Aradaki fark ile bir sonraki tetikleme düzeltilir. (Mesela 1 peryot geç) ve A_{mref} 'e eklenir.

$$\Delta A = A_p - A_m \quad (8.5)$$

Bu incelemelerin ışığı altında asimetrik a.a şebekelerinde eşit uzaklıktan tetiklemeli kontrol sistemi kullanılmadan sadece tek faz kontrol sisteminin kullanılması yeterli olmaktadır. Asimetrik alternatif gerilimde tamamen simetrik tetikleme için özel fonksiyonlar bulunup dahil edilmelidir. Bu yolla simetrikleştirme çalışmaları, erken tetikleme (en küçük komütasyon farkı) ve sürekli halde de tetikleme, diğer valflerle aralarında eşit uzaklıktan tetiklemeyi gerektirir. (6 yollu çevirilerde 60°).



Şekil-8.8 Tetiklenme sırası gelmiş olan bir valf için, komütasyon geriliminin bir önceki sıfır noktasından sonra geçen zamanla orantılı gerilimin üretilmesi.

8.6. Ana Kontrol

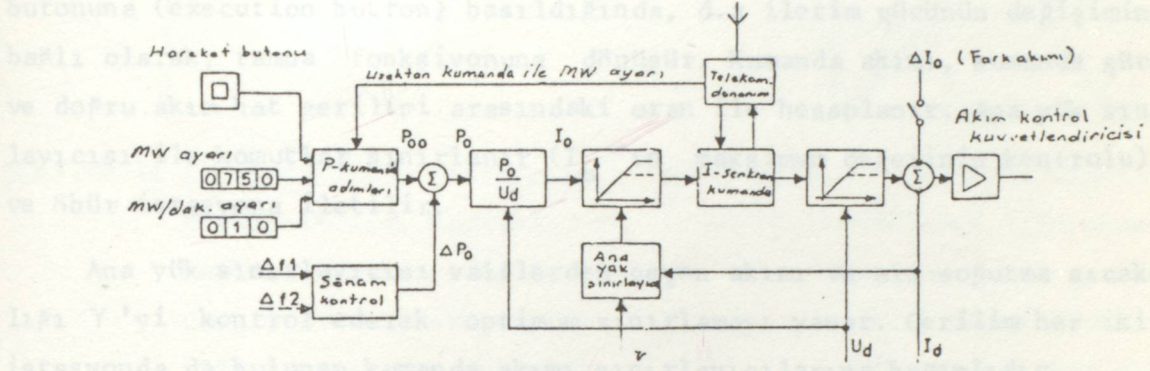
Her bir terminaldeki seri bağlı çevirici sayısı değişmediğinden hat gerilimi yaklaşık olarak sabittir. Bu sebeple doğru akım kontrolü yaklaşık olarak güç kontrolü ile eşdeğerdedir. Bazı durumlarda devreye çevirici eklenmesi veya çıkarılması sonucunda doğru gerilim değerinde

bazı değişimler olabilir. Bu yolla uygun bir akım kontrolü yapılırsa güç sabit kalır. Bunu yapmanın en genel yolu her terminale bir kumanda akımı hesaplayıcısı verileştirmektir. Bu hesaplayıcı akım kontrol sisteminde gerekli referansı sağlar. Bu referans değer, iletilmesi istenen gücün ölçülen hat gerilimine bölünmesi ile hesaplanır. Bu ya akım ya da güç kumandası ile yapılır.

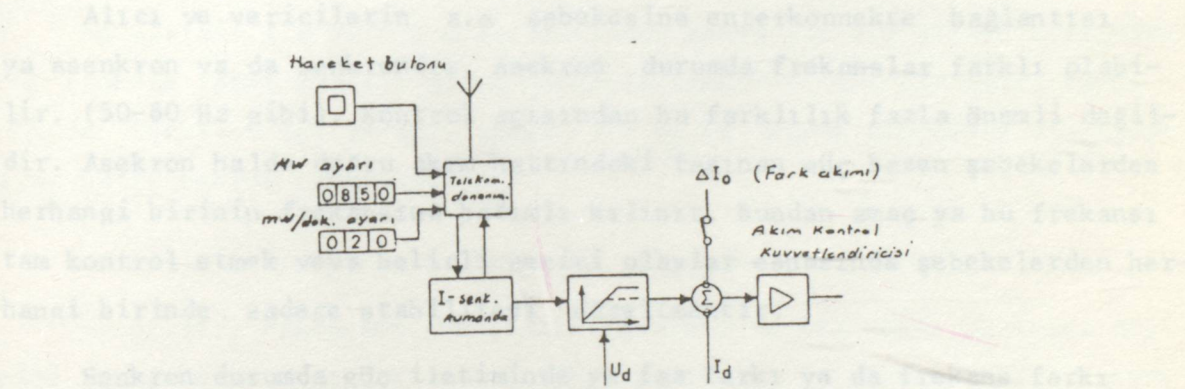
Sistem kontrolunda telekomünikasyon hatları kullanılmıştır. Bu hat için gerekli olan kumanda akımları her iki istasyondan eşit olarak karşılanır.

Diğer ana kontrol sistemleri Şekil-8.9 ve 8.10 da gösterilmiştir. Ön ana kontrol (lead master controller) iki istasyondan birinde yapılır. Bu durumda bütün kumanda sinyallerinin düzenlenmesi her iki istasyon için ortak olarak yapılır. Şekil-8.9 da bu donanımlar gösterilmiştir.

Diğer istasyondaki kontrol sistemi ise arka ana kontrol sistemi olup (trail master controller) Şekil-8.10 'da gösterilmiştir. Kumanda sinyallerinin iletimi senkron biçimde gerçekleştirilir. Bu suretle kumanda ayarlarındaki değişmeler iki istasyondaki kumanda akımlarının efektif



Şekil-8.9 Ana Kontrollu, Ön istasyon



Şekil-8.10 Ana Kontrollu, Takip eden istasyon.

değerlerinde de aynı anda değişmelere sebep olur.

Güç mertebesinin ve değişme hızının elle ayarı her iki istasyondan birinden yapılabilir. Bunun anlamı: Eğer ayarlamalar arka ana kontrollörün bulunduğu istasyondan yapılıyorsa, o zaman komutlar telekomünikasyon bağlantısı üzerinden ön ana kontrollörün bulunduğu istasyona gönderilmesi demektir.

Doğru akım hattının bir a.a şebekesinin stabilitesini düzeltmek-te kullanılması halinde sönüm kontrollöründe bir güç komutu üretilir ve Şekil-8.9 'da görüldüğü gibi bu güç ayarlı bulunan güç komutuna eklenir.

Bu hal için, ön ana kontrol donanımları stabilitesi düzeltilecek olan şebekeye başlıdırlar ve toplam telekomünikasyon gecikmesini minimum yaparlar.

Ön ana kontrollörde kumanda gücü ve nominal komut değişimi hareket butonuna (execution button) basıldığında, d.a iletim gücünün değişimine bağlı olarak, rampa fonksiyonuna dönüşür. Kumanda akımı, kumanda gücü ve doğru akım hat gerilimi arasındaki oran ile hesaplanır. Ana yük sınırlayıcısı ile komutlar sınırlanır (I_o 'ın maksimum değerinin kontrolü) ve öbür istasyona iletilir.

Ana yük sınırlayıcısı valflerden geçen akımı ve ara soğutma sıcaklığı Y 'yi kontrol ederek optimum sınırlamayı yapar. Gerilim her iki istasyonda da bulunan kumanda akımı sınırlayıcılarına bağımlıdır.

8.7. Alternatif Akım Şebekelerinin Asekron ve Senkron Bağlantıları

Alıcı ve vericilerin a.a şebekesine enterkonnekte bağlantısı ya asenkron ya da senkrondur. Asekron durumda frekanslar farklı olabilir. (50-60 Hz gibi). Kontrol açısından bu farklılık fazla önemli değildir. Asekron halde doğru akım hattındaki taşınan güç bazen şebekelerden herhangi birinin frekansına bağımlı kılınır. Bundan amaç ya bu frekansı tam kontrol etmek veya belirli geçici olaylar esnasında şebekelerden herhangi birinde sadece stabilizeyi düzeltmektir.

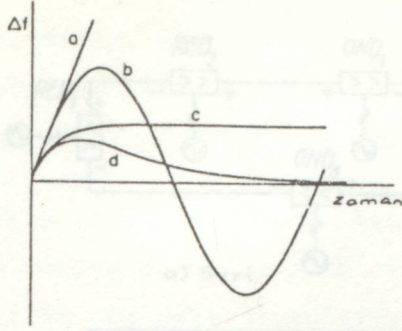
Senkron durumda güç iletiminde ya faz farkı ya da frekans farkı ile kısmi kontrol yapılmalıdır.

8.8. A.a Şebekeye Tekrar Paralel Başlama ve Ana Devreden Ayırma

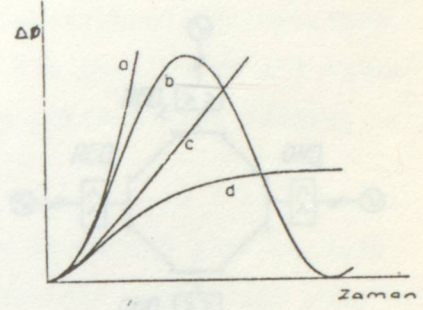
Doğru akım hat kontrolü için gerekli alternatifler şunlardır :

- Sabit güç,
- A.a şebekeleri arasındaki faz farkı,
- Frekans farkı ile orantılı bir ifadenin a şıkkına eklenmesi,
- Frekans farkı ile orantılı bir ifadenin b şıkkına eklenmesi.

Alternatif akımda sukunet zamanı süresince kontrol yapılamaz ve bu durumda doğru akım hattı aşırı yüklenebilir.



Şekil-8.11 A.a hattının stabilitesini düzeltmek için paralel bağlanmış bir d.a hattındaki frekans farkının (Δf) zamana göre değişimi



Şekil-8.12.A.a hattının stabilitesini düzeltmek için paralel bağlanmış bir d.a hattındaki frekans farkının ($\Delta \theta$) zamana göre değişimi.

-a eğrisi: A.a hattının açılmasından sonra iki a.a şebeke arasındaki Δf frekans farkı sürekli artış gösterir. (Şekil-8.11). Faz açısı farkı $\Delta \theta$ de (Şekil-8.12) devamlı artar. Δf ve $\Delta \theta$ büyük değerlere ulaşmadan a.a. hattı tekrar kapatılmalıdır.

-b eğrisi: D.a hat a.a hat gibi çalışmaktadır.

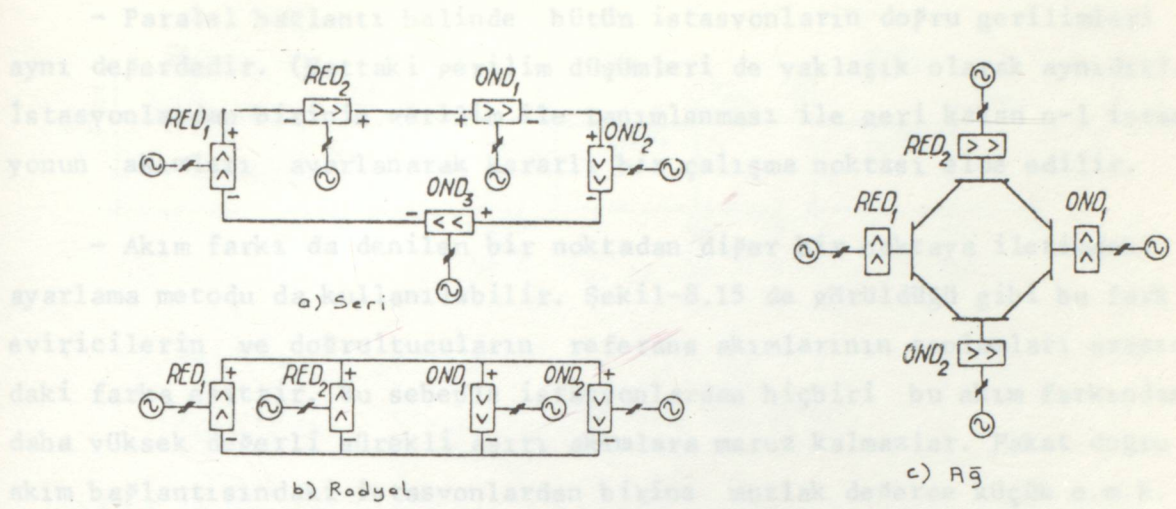
-c eğrisi: Frekansın değişimi sınırlıdır ve faz açısı farkının değişimi a eğrisine göre daha yavaş yükselmektedir. Bu yüzden tekrar kapama için gerekli olan süre daha fazladır. Hatta a.a hattı tekrar kapatmak için 1 veya daha fazla devir süresinin (veryot) geçmesi beklenebilir.

-d eğrisi: Faz açısının değişimi sınırlanmıştır ve frekans farkı belli bir zaman sonra sıfırdan geçer. A.a hat herhangi bir zamanda tekrar kapatılabilir.

8.9. Çoklu Terminâl Bağlantılarında Ayarlama

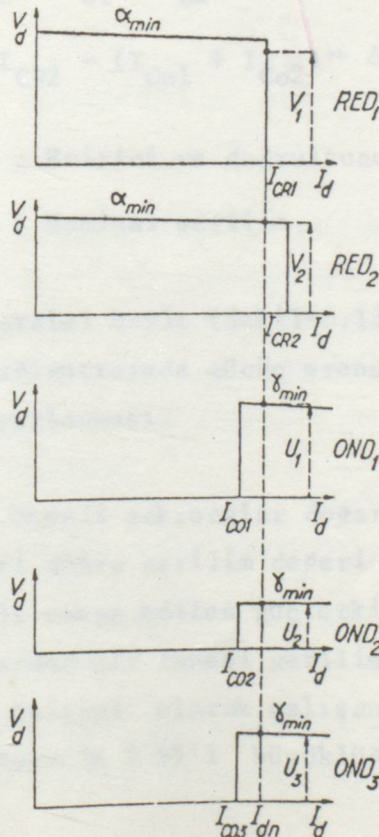
Coğrafi olarak birbirlerinden çok uzak bölgelerde bulunan çok sayıda istasyondan oluşan doğru akım işletmesi için en uygun ayarlama tipinin seçimi karmaşık bir sorundur.

İstasyonlar arasında 8.13 'de görüldüğü gibi değişik şemalar mevcuttur. Sebekenin yapısı ayarlama tipinin seçimindeki temel faktördür.



Şekil-8.13 Değişik tipteki doğru akım çoklu terminal bağlantıları.

- Seri bağlamada Şekil-8.14'de görüldüğü gibi bütün çeviricilerin doğru akımları aynı değerdedir. İstasyonların sadece birinde akımın ayarlanması ile kararlı bir çalışma noktası elde edilemez. Diğer istasyonların doğru gerilim değerlerini istenen mertebeye getirmek için tetikleme açılarını kumanda edilir. (Bu sebeple çevirici güçleri ayarlanır). Çevrilen güç zayıf ise bazı istasyonların tetikleme açıları önemli değerlere ulaşır ve bu da özellikle reaktif güç harcamasını artırır.



I_{co}, I_{cR} = Evirici ve doğrultucunun referans akımları.

I_{dn} = Nominal akım değeri

U, V = Evirici ve doğrultucunun gerilimi

$$V_1 + V_2 = U_1 + U_2 + U_3$$

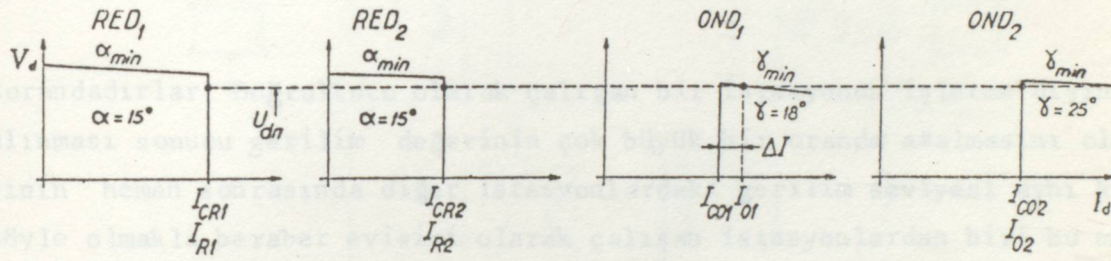
Bütün istasyonlardaki akım değerleri eşittir. (Hattaki gerilim düşümleri de çok yakın değerlere sahiptir).

$$I_{Cr1} + I_{Cr2} - (I_{co1} + I_{co2} + I_{co3}) = \Delta I, \text{ Fark akımı.}$$

Şekil-8.14 Seri bağlı bir d.a çoklu terminal bağlantısında iletilen gücün

- Paralel bağlantı halinde bütün istasyonların doğru gerilimleri aynı değerdedir. (Hattaki gerilim düşümleri de yaklaşık olarak aynıdır). İstasyonlardan birinin gerilim ile tanımlanması ile geri kalan n-1 istasyonun akımları ayarlanarak kararlı bir çalışma noktası elde edilir.

- Akım farkı da denilen bir noktadan diğer bir noktaya iletimdeki ayarlama metodu da kullanılabilir. Şekil-8.15 de görüldüğü gibi bu fark eviricilerin ve doğrultucuların referans akımlarının toplamları arasındaki farka esittir. Bu sebeple istasyonlardan hiçbirisi bu akım farkından daha yüksek değerli sürekli aşırı akımlara maruz kalmazlar. Fakat doğru akım bağlantısındaki istasyonlardan birine mutlak değerce küçük e.m.k.



$$I_{R1} + I_{R2} = I_{O1} + I_{O2}$$

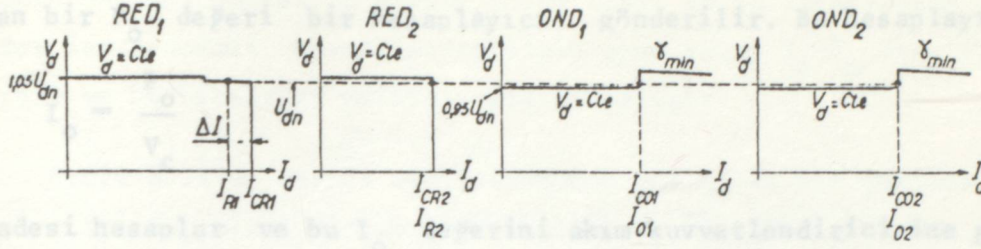
$$I_{CR1} + I_{CR2} - (I_{CO1} + I_{CO2}) = \Delta I, \text{ fark akımı}$$

I_O, I_R : Evirici ve doğrultucunun referans akımları

U_{dn} = : Nominal gerilim

Şekil-8.15 Paralel bağlı (Şekil-8.13 b ve c) bir d.a çoklu terminal bağlantısında gücün prensip olarak akım farkına göre ayarlanması.

tatbik edilirse önemli sakıncalar doğar. Çünkü arıza anında istasyonlardan birindeki doğru gerilim değeri düşerse diğer istasyonlar tarafından karşılıklı takas edilen güç etkilenir. Bu problemin çözümü için önerilen metodlardan bir tanesi gerilim sınırlaması olup Şekil-8.16 da gösterilmiştir. Evirici olarak çalışan istasyonlar doğru gerilimlerinin nominal değerinin % 95'i büyüklüğünde bir z.e.m.k tatbik etmek



$$I_{R1} + I_{R2} = I_{O1} + I_{O2}$$

$$I_{CR1} + I_{CR2} - (I_{CO1} + I_{CO2}) = \Delta I, \text{ faz akımı.}$$

Şekil-8.16 Paralel bağlı bir d.a çoklu terminal bağlantısında gücün prensip olarak gerilim sınırlamasına göre ayarlanması.

zorundadırlar. Doğrultucu olarak çalışan bir istasyonun işletme dışına alınması sonucu gerilim değerinin çok büyük bir oranda azalmasını olayının hemen sonrasında diğer istasyonlardaki gerilim seviyesi aynı kalır. Böyle olmakla beraber evirici olarak çalışan istasyonlardan biri bu minimum z.e.m.k'i sağlayamaz ise zorunlu olarak aşırı yüklenme meydana gelir ve bu istasyonu devre dışına almak için koruma sistemleri kullanılmalıdır.

8.10. Halen İşletmede Olan Bazı Bağlantıları Ayarlama Prensipleri

8.10.1. Gotland bağlantısı

Gotland ada şebekesi evirici çalışma için gerekli olan sinusoidal gerilimlere ve reaktif güç sağlayan senkron kompanzatörler dışındaki diğer gerilim kaynaklarına daha önceki zamanlarda (bağlantının gerçekleşmesinden önce) sahip olmadığından akım kuvvetlendiricileri (daha doğru bir ifade ile ayarlama akımları) ada şebekesinin frekansını sabit tutma görevini üstlenmişlerdir.

8.10.2. Fransa-İngiltere bağlantısı

Şekil-8.17 de, bu bağlantıdaki güç iletiminin akım kuvvetlendiricileri ile ayarlamasının şematik hali gösterilmiştir.

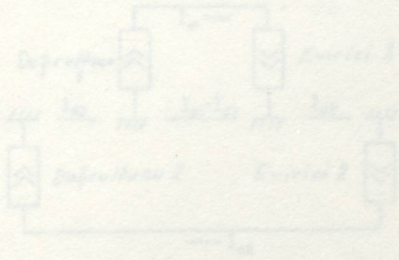
Her istasyonda bir ölçü aleti ile kablonun akım ve gerilim değerleri ölçülerek elde edilen veriler kablonun orta noktasındaki V_C gerilimi

ile orantılı olan V_c gerilimi ve istenen güç değeri ile orantılı olan bir P_o değeri bir hesaplayıcı gönderilir. Bu hesaplayıcı

$$I_o = \frac{P_o}{V_c}$$

akımın ve buna bağıntılı olarak gücün ayarı da bu istasyondan yapılır. Diğer istasyondaki kuvvetlendiricinin ayar akımı $I_o - I_m$ dir. (I_m : akım farkı) ve bu istasyon evirici olarak çalışır.

Sekil-8.17'de verici bir istasyonun çok hızlı bir şekilde (10-20 saniye içinde) alıcı bir istasyon haline ve iletilen gücün de istenen değere nasıl ayarlandığı görülmektedir. Bunun için rölelerin, doğrultucu olarak çalışan istasyondaki K_2 (Güvenlik alıcısı) ve evirici istasyonunda ise K_1 (Güvenlik vericisi) duruma getirilmeleri gerekir.



Sekil-9.1 Çeviricilerin değişik verileye göre çalıştırılması 2 kutuplu iletişim.

den alınabilir ve değişik voltaj seviyelerine ayarlanabilir.

9.1.2. Seri bağlı eviricilerden oluşan çoklu terminaller

Sekil-9.2 de farklı verileye çalıştırılabilen 2 eviriciden oluşan böyle bir sistem gösterilmektedir. Her 2 eviricinin akım değeri aynı ve bu nedenle iletme kapasitesi eşitdir. Seri bağlı olarak çalıştırıldığında güçte katlanma meydana gelir ve bu da verimliliği artırır.

- Eviriciler farklı voltajlara ayarlanabilir ve bu da verimliliği artırır.
- Aynı anda çalıştırıldığında her 2 eviricinin de verimliliği artar.

2'ye kadar evirici aynı anda çalıştırılabilir.

9.1.3. Seri bağlı eviricilerden oluşan çoklu terminaller

Bu sistemde her 2 eviricinin aynı voltajda çalıştırılması ve aynı akımda çalıştırılması gerekir. Bu da verimliliği artırır.

9. ÇOKLU TERMİNALLER

9.1. Bağlantı Semaları

9.1.1. Toprak dönüşlü iki kutuplu iletim

Dengeleme iletkeni olarak toprak dönüşünün kullanıldığı 2 kutuplu iletim 2 doğrultucu (doğrultucu 1 ve 2) ile 2 eviriciden (evirici 1 ve 2) oluşmuş olup bu istasyonlar değişik yerlere yerleştirilebilir.

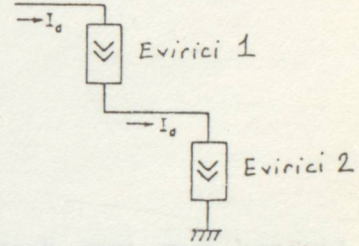
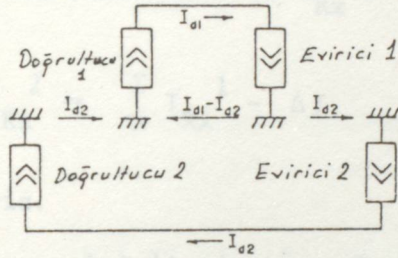
(Şekil-9.1) Güç değişik generatör istasyonlarından veya a.a sistemin-

lerin çalışma tiplerini belirleyen için noktadan noktaya iletilmek-

ne birer (8.bölümde anlatıldığı gibi) evirici ile a.a. ayarı yapılır.

I_{d1} : x doğrultucunun ve I_{d2} : x eviricinin ayar akımıdır.

yazabiliriz.



Şekil-9.1 Ceviricilerin değişik yerlere yerleştirildiği 2 kutuplu iletim.

Şekil-9.2 Seri bağlı eviriciler

den alınabilir ve değişik yük merkezlerine gönderilebilir.

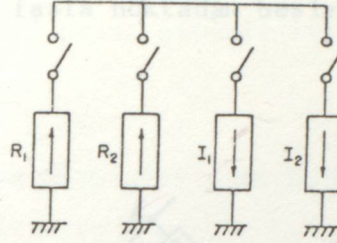
9.1.2. Seri bağlı çeviricilerden oluşan çoklu terminaller

Şekil-9.2 de farklı yerlere yerleştirilmiş 2 eviriciden oluşan böyle bir sistem gösterilmiştir. Her 2 eviricinin akımları aynıdır ve bu sebeple işletme esnekliği sınırlıdır. Seri bağlı çevirici istasyonlarının genelde kullanıldıkları en uygun yerler şunlardır :

- Çevirici istasyonların ayrı a.a şebekesine bağlı olması,
- Aynı güç ihtiyacında her 2 noktadaki dalgalanmaların yaklaşık olarak aynı olması,
- 2 uç nokta toplam gücü almaya kabiliyetli olmaması

9.1.3. Paralel bağlı çeviricilerden oluşan çoklu terminaller

İki veya daha fazla sayıda çeviricinin aynı hatta paralel bağlı olmaları hali Şekil-9.3 de gösterilmiştir. Güç akışının yönü çevirici-



Şekil-9.3 2 doğrultucu ve 2 eviricinin aynı d.a hattına bağlanması.

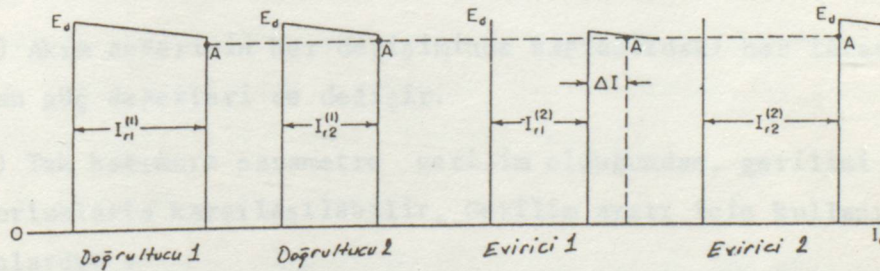
lerin çalışma tiplerini belirleyeceği için noktadan noktaya iletimdeki-
ne benzer (8.bölümde anlatıldığı gibi) şekilde akım ayarı yapılır.

I_{Rx}^1 : x doğrultucunun ve I_{Rx}^2 : x eviricisinin ayar akımı ise

$$\sum_x I_{Rx}^2 = \sum_x I_{Rx}^1 - \Delta I$$

yazabiliriz.

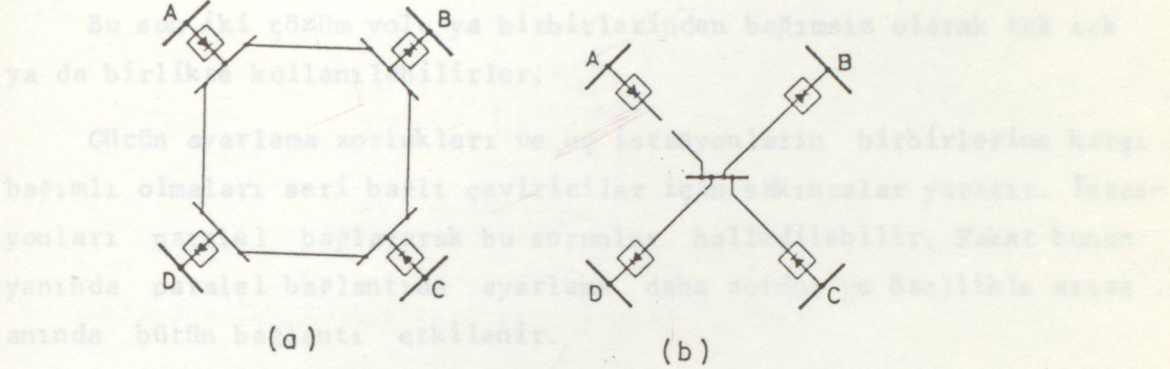
Bütün çeviricilerin ayar akımları uygun olarak ayrı ayrı kontrol edilmelidir. Çünkü en düşük maksimum gerilime sahip olan çeviricinin akımı ΔI değerini değiştirir. Bu şekil 9.4 de görülmektedir ve Şekil 8.2 ve 8.3 ile karşılaştırılmalıdır. Regülatör akımlarının ayarlanmasında kullanılan regülatör kontrol programı özellikle güç dağılımının değişmesi halinde yukarıda ifade edilen şartları yerine getirmelidir.



Şekil 9.4 2 doğrultucu ve 2 eviricinin aynı doğru akım hattına bağlanması hali (1 nolu evirici en düşük maksimum doğru gerilime sahip).

Şekil 9.3 'de gösterilen çeviriciler değişik istasyonlara yerleşti-

rilirse çoklu terminal sistemi elde edilir. İstasyonlara bağlama biçimi ya ağ şebekeye ya da birden fazla noktadan beslenen radyal şebeke biçimindedir.



Şekil 9.5 VGDA Çoklu terminal sistemleri

a) Ağ, b) Radyal

9.1.4. Seri ve paralel bağlı çeviricilerden oluşan çoklu terminallerin karşılaştırılması

Seri bağlantıda bütün istasyonlardan aynı akımın akması sebebi ile :

a) İstasyonların yerleştirilmesi doğrudan hat güzergahına göre düzenlenebilir. Radyal bir hattın maliyeti (iletilen toplam güç ile ters orantılı olması ve boyutlandırmanın temelini akım büyüklüğüne bağlı olması nedeniyle) sınırlayıcı bir etken olur.

b) Akım değerinin her değişiminde bağlantıdaki her istasyondan sağlanan güç değerleri de değişir.

c) Tek bağımsız parametre gerilim olduğundan, gerilimi ayarlama bazı zorluklarla karşılaşılabılır. Gerilim ayarı için kullanılan metodlar şunlardır :

- Gecikme açısının değiştirilmesi: Bu çözüm yolu çok hızlıdır. (Genelde güvenlik açısından kullanılır). Absorbe edilen reaktif güç miktarının ve şebekeye yansıyan harmonik akımların genliklerinde çok büyük artışların olması halinde bu yöntem yetersiz kalacağından sürekli halde kullanılmaz.

- Trafo sarımlarının yük altında değiştirilmesi
- İstenilen hallerde seri bağlı çeviricilerin işletme dışına alınması veya işletmeye alınması

Bu son iki çözüm yolu ya birbirlerinden bağımsız olarak tek tek ya da birlikte kullanılabilirler.

Güçün ayarlama zorlukları ve uç istasyonların birbirlerine karşı bağımlı olmaları seri bağlı çeviriciler için sakıncalar yaratır. İstasyonları paralel bağlayarak bu sorunlar halledilebilir. Fakat bunun yanında paralel bağlantıda ayarlama daha zordur ve özellikle arıza anında bütün bağlantı etkilenir.

Seri bağlamada bir istasyonda arıza olması halinde sadece bu istasyon kısa devre edilir. Paralel bağlı durumda arıza giderilinceye kadar bütün bağlantı sıfırlanır veya istasyon tamamen yalıtılır. Bölüm-9.4 'de anlatılacak olan doğru akım disjonktörlerin sayesinde hattın bir kısmı veya istasyon arıza anında hızlı bir şekilde yalıtılabilinmektedir.

9.2. Gücün Akış Yönünün Değiştirilmesi

Cerilimin polaritesini değiştirdiğimizde güç akış yönü de değişecektir.

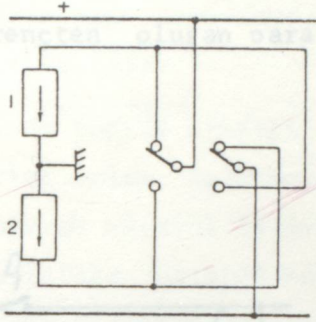
Güç akış yönü sadece bir uçta değiştirilmişse, doğru akım hattındaki gerilimin polaritesini değiştirmek yerine, hattaki bağımsız ucun bağlantısını değiştirmek yerinde olur. Valf grupları için toprağa göre farklı izolasyon seviyeleri bulunduğundan, bu gruplara seri bağlı bütün bağlantıları değiştirmemek gerekir.

9.3. İki Kutbu Ters Çevirme

Aynı uçta farklı polaritede iki kutup varsa, güç akış yönünü değiştirmenin en basit yolu Şekil-9.5 'de görüldüğü gibi (+) ve (-) kutuplarda kullanılan çeviricileri değiştirmektir.

Şekildeki konumda bir çevirici gibi çalışan eleman diğer konumda doğrultucu olarak çalışır.

Her iki konumda da hat geriliminin polaritesinde değişiklik yapılmamıştır.



Şekil 9.5 İki kutbun ters çevrilmesi.

9.4. VGDA Disjonktörler

Noktadan noktaya iletimde akımın kesme problemi için mekanik bir düzene ihtiyaç yoktur. Bu kesim işlemi ızgara kumandası ile yapılabilir. Fakat genelde kullanılacak olan çoklu terminal sistemlerinde bağlantının arızalı bölümlerini ayırmak için d.a disjonktörler gerekmektedir.

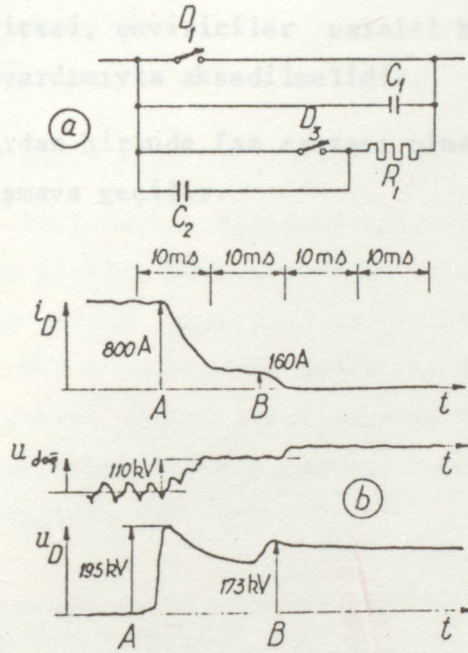
Bir şebeke için disjonktörün sahip olması gereken karakteristik değerleri şunlardır :

- İşletmenin güvenilirliğini ve kullanılabilirliğini arttırması,
- Çok kısa sürede kesme işlemini gerçekleştirmesi (< 20 ms),
- Bağlantının toprağa göre nominal geriliminin 2 katı veya daha fazlası aşırı yüklenme katsayısına sahip olması gerekir.

Esas itibari ile doğru akım kesme alternatif akıma göre daha zordur. Doğru akımı kesmek için endüktans selflerinde depo edilmiş magnetik enerjinin boşaltılması gereklidir.

Doğru akımı kesmek için uygulanan metodlar ilk başlarda alternatif akımda doğal olarak bulunan şartları üretmeye yönelikti. (Kapasitenin zorlamalı olarak salınımlı desajrlarını sağlama ile), 1971 yılında Echninghen postasında (Fransa) kullanılan bir düzenle 1000 A, 190 kv 'luk bir elektrik enerjisi kesilmiştir. Şekil 9.6 'da gösterilen bu disjonktör bir çok odadan meydana gelmiştir ve kesme işlemi SF6 ile çok

hızlı bir şekilde yapılmaktadır. Bu odalar gerilim düşümlerini sınırlamak ve endüktif bir devrenin kesilmesine uygun düşen enerjilerin dağıtılması için kendiliklerinden arka arkaya açılırlar ve akım kondansatör ve non-lineer dirençten oluşan paralel bağlı devrelere transfer edilir.



- a) Prensiy şema, A: 1.kesim, B: Son kesim
b) 110 kV gerilimli 800 A lik akımın kesilmesinin osiloskoptaki görüntüsü

- C_1 : Enerji transferini gerçekleştiren kondansatör
 C_2 : dV/dt 'i sınırlayan kondansatör
 D_1 : 1. kesim anahtarı
 D_2 : Son kesim anahtarı
 R_1 : Kesimde oluşacak aşırı gerilimleri sınırlayan ve enerjiyi dağıtan non-lineer direnç
 $U_{D,id}$: Disjonktörün akım ve gerilim değeri
 U_{dog} : Doğrultucu köprüünün uçlarındaki gerilim değeri

Sekil 9.6 Echinghen Postasında Kullanılan Doğru Akım Disjonktörü

9.5. Bir Çevirici İstasyonda Paralel Olarak Çalışan Çeviriciler

Maksimum çevirici gerilimi nedeniyle ortaya çıkan teknik sınırlamalardan ötürü, ilk çevirici istasyonları seri bağlı köprülerden oluşmaktaydı.

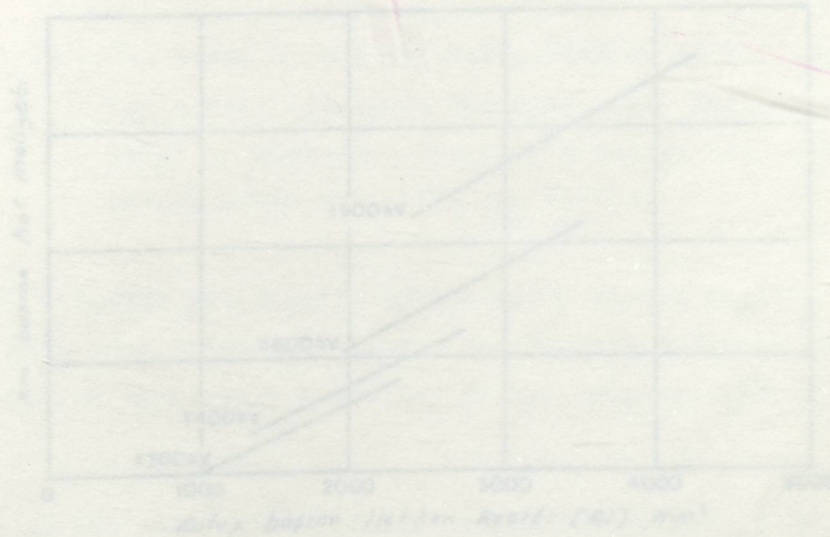
Tristör valflerin gelişmesi sonucu tam hat gerilimine dayanabilecek çeviricilerin tasarımı mümkün olmuştur.

Toplam gücü bir merkez yerine birden fazla istasyona dağıtmak gerek-

tiğinde, çeviricileri seri bağlama yerine paralel bağlantı daha uygun olur. Böylece tam hat gerilimi çevirici sayısına bağımlı olmamaktadır. Paralel istasyonlarda kontrol bakımından bir değişiklik gerekmez, üstelik paralel elemanların aynı istasyona bağlanması halinde kontrol olanakları daha da arttırılabilir.

Kutuplardan birinde toprak arızası olması halinde paralel iki kutuplu hattın bütün çeviricilerini işletmeye sokmak gerekir. Bu gibi acil durumlarda geçici olarak paralel işlemeye geçilmektedir. Arızalı kutbun polaritesi, çeviriciler paralel bağlanmadan önce Şekil 9.5 deki bir düzen yardımıyla aksedilmelidir.

Hatlardan birinde faz arızası olması halinde gene geçici olarak paralel çalışmaya geçilir.



Şekil 10.1 Toplam kesitinin (A) fonksiyonu olarak farklı gerilim seviyelerindeki TGA hat maliyetlerinin değişimi.

Bu eğrilerdeki hat maliyetleri, nominal kutup gerilimindeki kayıp maliyetleriyle de atlatması ile elde edilen maliyet eğrisi.

10. EKONOMİ VE VERİM

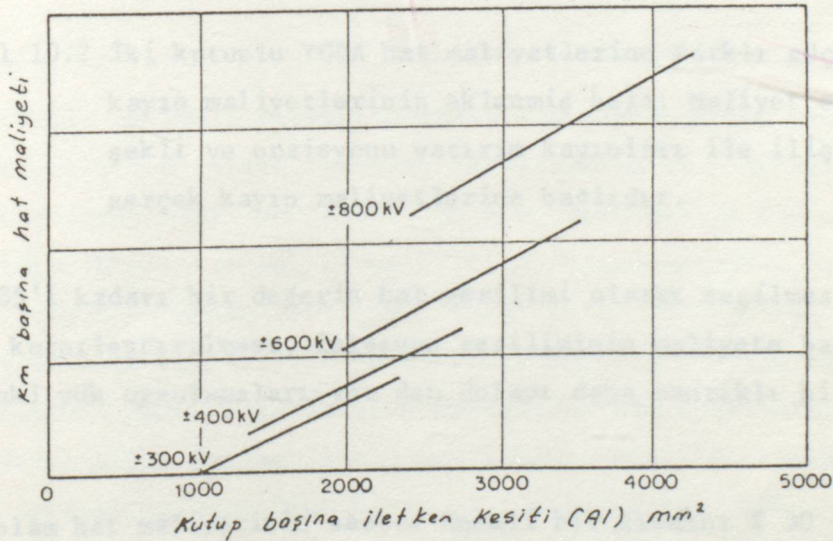
10.1. Doğru Akım Hat Geriliminin Seçimi

Optimum hat gerilimi, iletilen nominal güç, çevirici istasyon maliyetleri, hat maliyetleri, toplam kayıp maliyetleri gözönüne alınarak seçilir.

Pratikte önce hat ve terminallerin maliyetleri ayrı ayrı incelenir ve toplam optimizasyon daha sonra yapılır. İletim uzaklığı ve önemli olabilecek diğer parametreler bu toplam optimizasyonda incelenir.

10.2. Doğru Akım Hat Maliyetleri

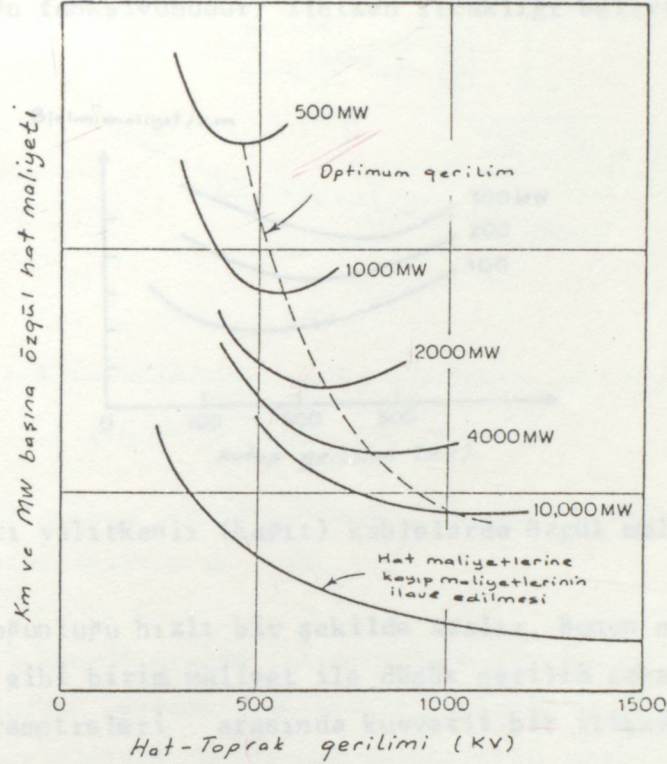
Şekil 10.1 de km başına d.a hat maliyetlerinin değişimi gösterilmiştir. Her gerilim seviyesi özgül sünme uzaklığı (Creepage distance) ve kıvılcım atlama aralığını da (flashover clearance) kapsamaktadır. Sadece 400 KV'un altındaki doğru gerilimlerde gerilim seviyesinin maliyete etkisi azdır. Fakat daha yüksek gerilimlerde maliyet hızla artar. Bunun sebebi lineer olmayan açma-kapama dalgalarına dayanabilme karakteristiğidir.



Şekil 10.1 Toplam iletken kesitinin (Al) fonksiyonu olarak farklı gerilim seviyelerindeki YGDA hat maliyetlerinin değişimi.

Bu eğrilerdeki hat maliyetlerine, nominal kutup gerilimindeki kayıp maliyetlerinin de eklenmesi ile elde edilen maliyet eğrisi

Şekil 10.2 'de gösterilmiştir. En alt kısımda görülen eğri yük kayıplarının maliyetlerini göstermektedir. Gerçekte de bütün eğriler için toplam kayıp maliyetlerini kapsayan bu eğri aynıdır. Optimum gerilimin



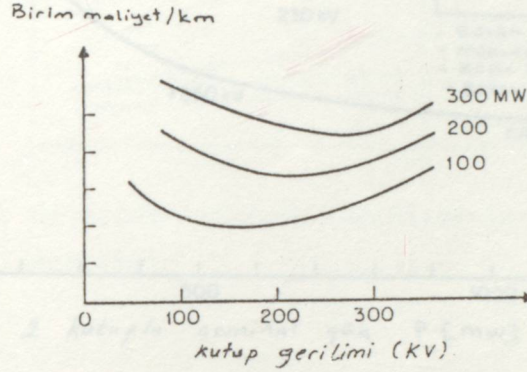
Şekil 10.2 İki kutuplu YGDA hat maliyetlerine farklı güçler için kayıp maliyetlerinin eklenmiş hali. Maliyet eğrilerinin şekli ve pozisyonu yatırım kayıpları ile ilişkili olan gerçek kayıp maliyetlerine bağlıdır.

% 75 - 85'i kadarı bir değer hat gerilimi olarak seçilmesi hat boyutlarının kararlaştırılması, istasyon geriliminin maliyete bağlı olması ve hattaki yük uygulamaları vs. den dolayı daha mantıklı bir çözüm yoludur.

Toplam hat maliyetinin sadece önemli bir kısmını % 30 - 35'ini sürekli olarak ana sermayeye katmak ta mümkündür. Alternatif hatlar için yatırım maliyetleri ve kayıp maliyetlerinin optimum olduğu kabul edilir. Aynı nominal güçle iletimde d.a ve a.a hatlarının maliyet oranlarının kabaca 2/3 olduğu bulunmuştur. Gerçekte bu ilişki her iki hattaki kayıpların maliyetleri için geçerlidir.

10.3. Kablo Maliyetleri

A.a ve d.a kablo maliyetleri arasındaki oran yaklaşık olarak 1/3 tür. Katı yalıtkanlı kablolardaki kayıplar Şekil 10.3 de gösterildiği gibi nominal gücün fonksiyonudur. İletken sıcaklığı belirtilen değerle-

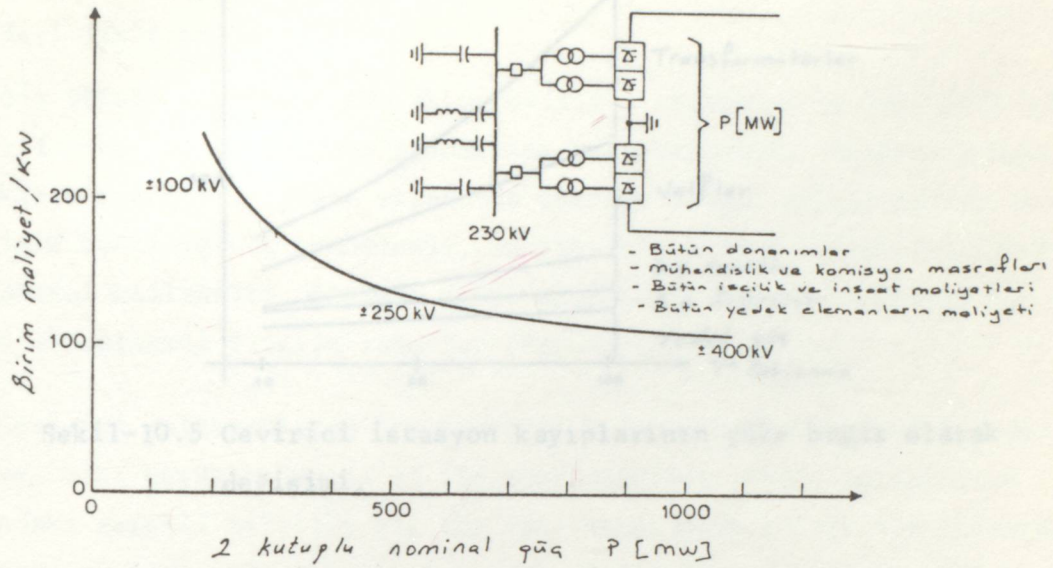


Şekil 10.3 Katı yalıtkanlı (kağıt) kablolarda özgül maliyet.

ri aşarsa akım yoğunluğu hızlı bir şekilde azalır. Bunun nedeni eğrilerden de görüldüğü gibi birim maliyet ile düşük gerilim sahasında seçilen nominal kablo parametreleri arasında kuvvetli bir ilişkinin var olmasıdır.

10.4. Doğru Akım Çevirici Terminal Maliyetleri

12 yollu çevirici terminallerin 2 kutuplu ve kutup başına 12 yollu bir çevirici olmak üzere, maliyet eğrisi Şekil 10.4 de gösterilmiştir. Eğri bütün donanımları ve 230 KV'luk a.a terminaline bağlı olan bütün güç faktörü kompanzasyon devrelerini de kapsamaktadır. Terminal donanımları içinde en geniş yeri çeviriciler tutar ve terminal maliyetlerinin özünü esas itibarı ile çeviricinin boyutları belirler. Eğri iletilen nominal gücün kapasitesine bağlı olan doğru gerilim değerlerini de göstermektedir. Toplam iletim maliyetini optimize etmek için yüksek gerilim seviyeleri seçilirse birim maliyet yükselir. Tek kutuplu sistemde aynı nominal güçte iletim yapılırsa öz terminal maliyetleri %2-3 oranında artar.



Sekil 10.4 Çift kutbun nominal gücünün fonksiyonu olarak Öz terminal maliyetlerinin değişimi.

D.a terminali enerji üretim istasyonuna bağlı ise çeviricileri ferdi generatörlerden ayırmak için direkt bağlantı yapılır. Transformatör için tap değiştirici kullanmak gerekiyorsa, gerilim kontrolü generatör regülatörü ile de yapılabilir. Fazların kompanzasyonu için şönt kapasitörlere ihtiyaç yok ise, reaktif güç generatörlerden sağlanabilir. Sistem tek bir yük generatörü ve çeviricilerden oluşmuş ise harmonik filtrelere ihtiyaç olmaz. Generatörleri harmoniklere dayanacak şekilde dizayn etmekle bu halledilir.

10.5. Hat Kayıpları

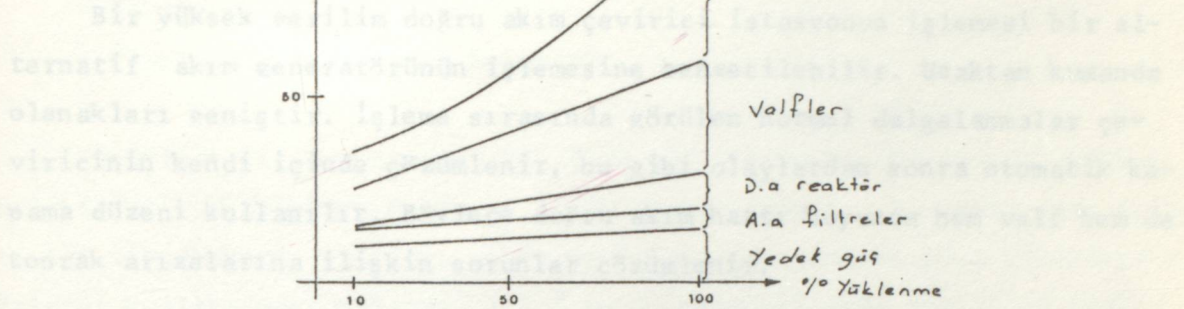
D.a hat kayıpları iletken direnç kayıpları ve korona kayıplarından oluşur. Skin efekt olayının meydana gelmemesi için yüksek akım yoğunlukları kullanılır. (Al iletkenler için normal değer 0.75 ile 0.9 A/mm² arasındadır.) Bunun seçimi ana sermayeye katılmış kayıp maliyetlerine bağlıdır. Tam optimum çözüm aramak nazik bir konudur.

10.6. İstasyon Kayıpları

Valf kayıplarının önemli bir kısmını oluşturan iletimdeki gerilim düşümleri tristör valflerde meydana gelir. Transformatör kayıpları da toplam terminal kayıplarının büyük bir bölümünü oluşturmaktadır.

11. İŞLETME, BAKIM, KULLANILABİLİRLİK

11.1. İşletme



Şekil-10.5 Çevirici istasyon kayıplarının yüke bağlı olarak değişimi.

İletim ve dağıtım sistemleri, bir tür haberleşme kanalı ile operatöre ulaştırılır. Arıza sinyalleri, devre kesicilerin açık veya kapalı konumunda olmalarına bu bilgiler içinde yerleştirilir.

İletimi başlatmak veya sona erdirmek operatörün yetkisi içindedir. İletilen güçte olabilecek bir değişiklik için haberleşme kanalı üzerinden yararlanılır. Haberleşme kanalıyla ilgili olarak, İletilen güçte bir değişiklik yapıldıktan sonra operatörün durumu kontrol edilir.

11.2. Bakım

Belli aralıklarla, belirli yolda bir test, belirli istasyonların her birinin üzerindeki kontrol tabii sistemlerdir.

Kontrol ekipmanı, akım ve gerilimleri belirli değerlerle karşılaştırarak özel ölçümler yapılır. Her istasyonun devresinde ve valfleri ortak devresinde bütün işlevleri devreye alınarak kontrol yapılır.

Bu tür valflerin il-şaltı çeviriciler, normal işletme, elektrikçiler tarafından diğer ekipmanlar ile ilgili bir bakıma girer.

%10 ile valflerin valflerinde daha fazla bakıma girer.

11.3. Kullanılabilirlik

Kullanılabilirlik kavramı, diğer bakım durumlarına göre ayrı kategoride değerlendirilir.

11. İŞLETME, BAKIM, KULLANILABİLİRLİK

11.1. İşletme

Bir yüksek gerilim doğru akım çevirici istasyonun işlemesi bir alternatif akım generatörünün işlemesine benzetilebilir. Uzaktan kumanda olanakları geniştir. İşleme sırasında görülen normal dalgalanmalar çeviricinin kendi içinde çözülür, bu gibi olaylardan sonra otomatik kumama düzeni kullanılır. Böylece doğru akım hattı boyunca hem valf hem de toprak arızalarına ilişkin sorunlar çözülür.

Çevirici istasyonlarda bir operatör bulunur ve istasyonun frekans, akım vs. gibi büyüklüklerini el ile ayarlayabilir. Diğer istasyonlar hakkındaki gerekli bilgiler bir tür özel haberleşme kanalı ile operatöre ulaştırılır. Arıza sinyalleri, devre kesicilerin açık veya kapalı konumda olmalarını bu bilgiler içinde sayabiliriz.

İletimi başlatmak veya sona erdirmek operatörün yetkisi içindedir. İletilen güçte olabilecek bir değişiklik için haberleşme kanalından yararlanılır. Haberleşme kanalının kesilmesi halinde, iletilen güçte bir değişiklik yapılmaksızın çalışma sürdürülür.

11.2. Bakım

Belli aralıklarda, örneğin yılda bir kez, çevirici istasyonların her bölümü genel bir kontrole tabi tutulmalıdır.

Kontrol aletleri, akım ve gerilimleri referans değerlerle karşılaştıran özel ölçü düzenleridir. Her tristör devresinin ve valfteki ortak donanımın bütün işlevleri dikkate alınarak kontrol yapılmalıdır.

Hava ile yalıtılmış 12-yollu çeviriciler, normal eğitilmiş elektrikçiler tarafından yılda yaklaşık 250 iş gününde bir bakıma alınır.

Yağ ile yalıtılmış valflerde daha fazla teknisyene gerek olur.

11.3. Kullanılabilirlik

Kullanılabilirlik kayıpları devre dışı kalma durumlarına göre 5 ayrı kategoride toplanabilir :

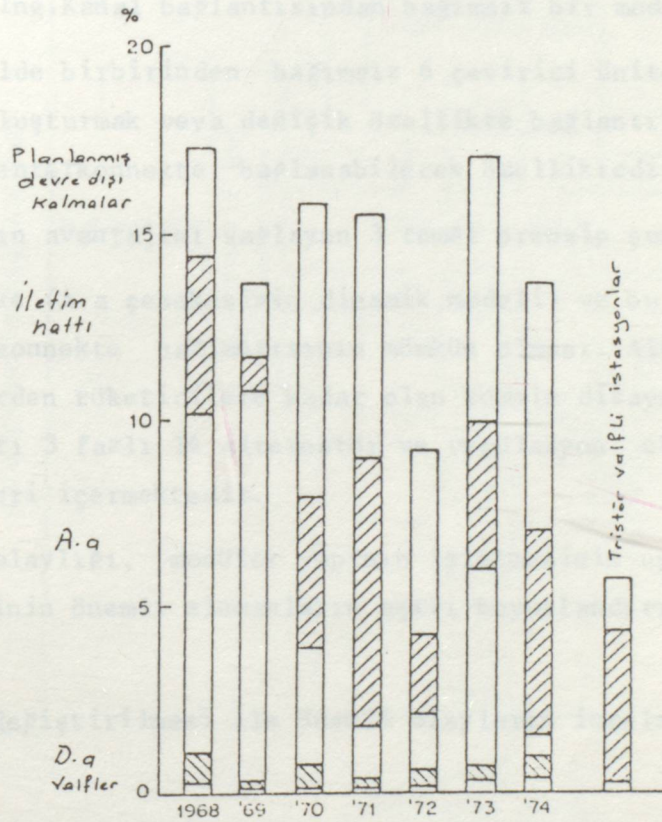
- Valfler
- D.a tesisi

Terminallerden devre dışı kalmasına
seben olurlar.

- A.a tesisi
- İletim hattı

- Planlanmış devre dışı kalmalar

1968-1974 yılları arasındaki %100 güç iletim kapasitesinde kullanılabilirlik kayıpları Şekil-11.1 'de gösterilmiştir. Bu şekil esas itibarı ile civa buharlı valflere sahip çevirici istasyonları göre çizilmiştir. Tristör kullanılması halinde 1,2,3 ve 5. kategorilerde azalmalar görülmüştür.



Şekil 11.1 İşletmedeki YGDA bağlantılarının 1968-1974 yılları arasındaki kullanılabilirlik kayıpları (Cigre raporları temel alınarak hazırlanmıştır).

İstasyon başına 2 çeviriciden meydana gelen d.a iletiminin kullanılabilirliğinin en az % 50 güç iletim kapasitesinde olması istenir. %100 iletim kapasitesinde yaklaşık %98.3 luk bir kullanılabilirlik istenir.

12. BİR D.A MODELİN TANITILMASI

12.1. Genel Bakış

VGDA iletim bağlantılarının günümüzdeki gelişmeleri enerji iletimindeki bir takım iç ve dış davranışların analizini yapmayı zorunlu kılmaktadır. Esas itibarı ile a.a - d.a çevirme işleminde meydana gelebilecek lineer olmayan tabii olayların anlaşılır kesin matematiksel tanımlamalarını yapmak fiziksel tanımlamaya göre daha zordur.

Gerçekleştirilen bu model Paris'te Fransız Elektrik Kurumu tarafından 1963 yılında hizmete girmiştir ve sürekli bir şekilde daha da genişletilmiştir. (Fr.İng.Kanal bağlantısından bağımsız bir model).

Bu d.a modelde birbirinden bağımsız 6 çevirici ünitesi mevcuttur ve istasyonlar oluşturmak veya değişik özellikte bağlantılar elde etmek üzere aralarında enterkonnekte bağlanabilecek özelliktedir.

Bu bağlantının avantajını sağlayan 3 temel prensip şunlardır :

- Mikro şebeke (A.a şebekesinin dinamik modeli) ve bu şebeke ile d.a modelin enterkonnekte bağlantısının mümkün olması. Alternatif şebekenin generatörlerden tüketicilere kadar olan komple dizaynının mevcut olması. Bu bağlantı 3 fazlı 14 alternatör ve regülasyon cihazları, iletim hattı ve yükleri içermektedir.

- Uygulama kolaylığı, modüler yapının işletmesinin uygunluğu ve güç seviyesinin seçiminin önemli elemanların aşırı boyutlandırılmasını gerektirmemesi,

- Frekansın değiştirilmesi ile önemli olayların incelenmesi (Bir kaç KHz)

12.2. Modelin Tanıtılması

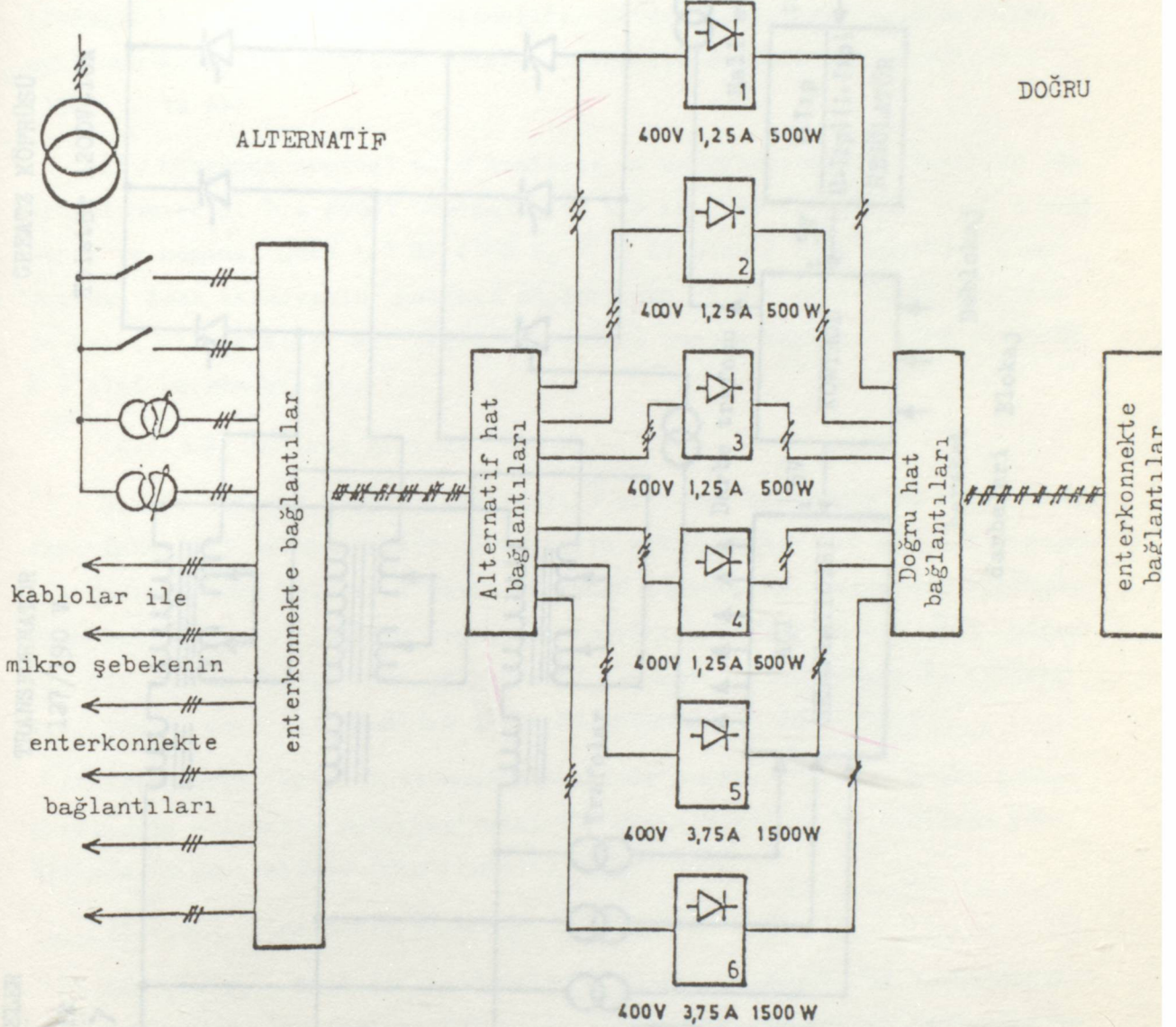
12.2.1. Kullanılan elemanlara genel bakış

6 çevirici ünitesi merkezleştirilmiş kumanda masasının etrafında yarım daire şeklinde gruplandırılmıştır. Bu masanın karşısında enterkonnekte bağlantısı kutusu bulunmakta ve hatları ifade eden bloklarla çevrilmiştir. Ölçme panosu kontrol masasının arasına yerleştirilmiştir. Kulla-

nışlı 4 alternatif besleme kaynağı vardır. Bunlardan 2 tanesi oto-trafo-
dur. Çevirici ünitelerinin gücünden daha yüksek nominal güçlerde bu
2 trafo şebekevi tanımlarlar.

Bölgesel şebeke

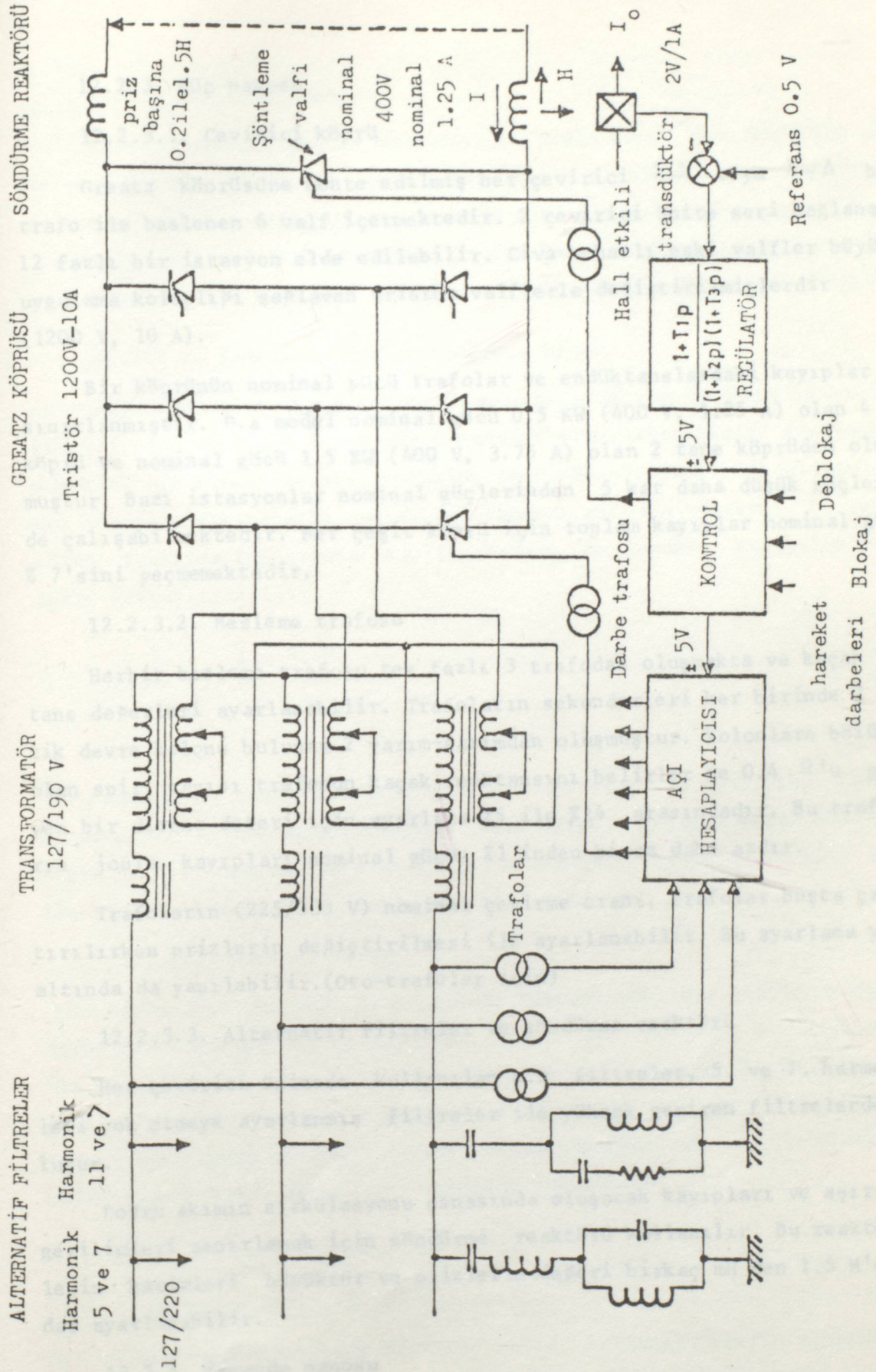
çevirici ünite



Şekil 12.1. Güç devresi şeması.

12.2.2. Çevirici ünite

Nominal güçleri farklı (4 ünite 0.5 KW, 2 ünite 1.5 KW) fakat aynı
özellikte ünitelerden oluşmuştur. Bu fark sadece güç elemanlarının bo-
yutlandırılması ile ilgilidir. Her ünite 2 panodan oluşmuştur. Bunlar-
dan biri güç devrelerine, diğeri ise kumanda devrelerine aittir.



Şekil 12.2 500 W'lık bir çevirici ünitenin elektriksel şeması.

12.2.3. Güç panosu

12.2.3.1. Çevirici köprü

Greatz köprüsüne monte edilmiş her çevirici $\lambda-\lambda$ veya $\lambda-\Delta$ bağlı trafo ile beslenen 6 valf içermektedir. 2 çevirici ünite seri bağlanarak 12 fazlı bir istasyon elde edilebilir. Cıva buharlı eski valfler büyük uygulama kolaylığı sağlayan tristör valflerle değiştirilmiştir (1200 V, 10 A).

Bir köprünün nominal gücü trafolar ve endüktanslardaki kayıplar ile sınırlanmıştır. D.a model nominal gücü 0.5 KW (400 V, 1.25 A) olan 4 tane köprü ve nominal gücü 1.5 KW (400 V, 3.75 A) olan 2 tane köprüden oluşmuştur. Bazı istasyonlar nominal güçlerinden 5 kat daha düşük güçlerde de çalışabilmektedir. Her çeşit köprü için toplam kayıplar nominal gücün % 7'sini geçmemektedir.

12.2.3.2. Besleme trafosu

Herbir besleme trafosu tek fazlı 3 trafodan oluşmakta ve kaçak reaktans değerleri ayarlanabilir. Trafoların sekonderleri her birinde 2 magnetik devre kolonu bulunan 2 yarım-sarımdan oluşmuştur. Kolonlara bölünmüş olan spir sayısı trafonun kaçak reaktansını belirler ve 0.4Ω 'u geçmeyen bir direnç değeri için ayarlama %5 ile %14 arasındadır. Bu trafoların joule kayıpları nominal gücün %1 inden biraz daha azdır.

Trafoların (225/333 V) nominal çevirme oranı, trafolar boşta çalıştırılırken prizlerin değiştirilmesi ile ayarlanabilir. Bu ayarlama yük altında da yapılabilir. (Oto-trafolar için)

12.2.3.3. Alternatif filtreler ve söndürme reaktörü

Her çevirici üniteye kullanılan a.a filtreler, 5. ve 7. harmonikleri yok etmeye ayarlanmış filtreler ile yüksek geçiren filtrelerden oluşur.

Doğru akımın sirkülasyonu esnasında oluşacak kayıpları ve aşırı gerilimleri sınırlamak için söndürme reaktörü kullanılır. Bu reaktörlerin hacimleri büyüktür ve prizlerle değeri birkaç mH den 1.5 H'e kadar ayarlanabilir.

12.2.4. Kumanda panosu

Yarı iletkenler ve entegre devreler kullanarak elde edilen modüler yapı ile işlemler kolaylaştırılmıştır.

12.2.4.1. Ölçme kısmı

Köprüünün kanalı çevrim kumandasını temin etmek için köprüünün akım ve geriliminin ölçülmesi gereklidir. Hall etkili iki transdüktör galvanik yalıtkanlığı sağlar. Transdüktörlerin çıkış gerilimleri kuvvetlendirilerek standart hale getirilirler. Panonun yüzeyinde bulunan 2 galvanometre ile köprüden ölçülen akım ve gerilim değerleri izlenebilir.

12.2.4.2. Regülatör-Kuvvetlendirici kısmı

Akım, gerilim veya gücün ayarlanmasında, sistemin stabilitesi için gerekli olan şartlara uygun bir K kazancı elde edilmelidir. Ayarlanmış büyüklük ile olması gereken büyüklük arasında bir farklılık olduğu zaman açısı hesaplayıcısına etki edecek bir kumanda sinyali gönderir. Bu regülatörün transfer fonksiyonu klasik formda operasyonel kuvvetlendiricilerle gerçekleştirilir.

$$T(s) = K \cdot \frac{1 - \tau_1 s}{(1 - \tau_2 s)(1 - \tau_3 s)}$$

Kazanç ve zaman sabitleri potansiyometreler ile ayarlanır. Kumanda panosundaki 2 galvanometrelerden biri sürekli rejimde köprü üzerindeki doğru gerilim değeri ile orantılı olan regülatör çıkış gerilimini diğeri ise olması gerekli (referans) değerini gösterir.

12.2.4.3. Kumanda kısmı

Bir tanesi köprüünün bloke olması halinde şöntleme valfine tetikleme darbeleri gönderen bir osilatörden, diğeri ise regülatör-kuvvetlendirici ile açısı hesaplayıcısı arasındaki ara devreyi oluşturan iki bölümden meydana gelmiştir. Ara devre, doğrultucu çalışmada debloke durumunda veya ondulör çalışmada debloke durumu sonrasında şöntleme valfinin sönmesi hallerinde kumanda darbeleri iletmekle yükümlüdür.

12.2.4.4. Açısı hesaplayıcısı

2 tip hesaplayıcı düzeni kullanılır.

- Her faza bir hesaplayıcının yerleştirilmesi. Valfin uçlarındaki

gerilim ile orantılı değerin regülatörden uçlarındaki doğru gerilim (Akımlar arasında ± 2 faz farkı mevcut) arasında bir eşitlik olması halinde kumanda darbelerini yollar. Endüstriyel çevirici istasyonlarda en fazla bu tip hesaplayıcılar kullanılır.

- Daha az rastlanan bir idifer hesaplayıcı da faz geriliminin bozulması esnasında a.a şebekedeki senkronizasyonun daha geride olması halinde çalışan hesaplayıcılar.

Eşit uzaklıktan tetikleme (6 valfe eşit olarak) regülatör çıkış geriliminin geciktirilerek valflere tam olarak yollar. Bu hesaplayıcının diğer bir avantajı da entegre devreler kullanarak, özel koruma devrelerinin eklenmesine olanak tanımasıdır. (Komütasyon esnasında tetikleme yi önlemek gibi).

2.2.5. Ölçme sistemleri ve deneme araçları

Her çevirici ünite de akım ve gerilim ölçü aletleri için bir kısım bulunmaktadır. Buralarda ya 2 tane ibrelı galvanometre (% 1 sınıf) ya da 2 numerik ölçü aleti bulunur.

Regülasyon için kullanılan ölçümler standartlaştırılmış ve benzer şekilde ortak bir gerilim modu kullanılmaktadır.

Kaydediciler ve ölçü aletleri osilosgrafik kaydediciler ve katodik osiloskopları içermektedir.

Fonksiyon generatörleri veya kontaktaktörle ile geçici rejim olayları meydana getirilerek incelenebilir. Tristörlü bir kontaktör ile arızalar taklit edilip meydana geliş süreleri birkaç s lik bir yaklaşımla belirlenebilir.

Entegre devreli bir programlayıcı ile çok büyük bir yaklaşıklıkla (5 s) ve bütün elektrik sinyallerinin senkronlanması olasılığı ile özellikle şebekedeki geçici olaylar tanımlanabilir.

12.3. Sonuç

D.a modelin işletilmesindeki kolaylık, gerçek bağlantılarda kullanılan malzemelerin kullanılmasındaki uygunluk, mikroşebekelerin iletim hattına yakın oluşu gibi şartlar çevirici istasyonların iç davranışları ile noktadan noktaya bağlantının tüm işleyişini, çoklu terminal veya al-

ternatif ve doğru akım şebekelerinin karma bağlantıları ile ilgili değişik etüdler yapmaya olanak sağlamıştır.

1963 yılından beri yapılan çalışmalar sonucunda:

- Çok düşük akım değerlerinde çevirici istasyonların davranışlarını,
- Düşük veya disimetrik alternatif gerilimle beslenen hesaplayıcı istasyonların davranışlarını,
- Çok düşük kısa devre gücüne sahip bir şebeke tarafından beslenen çeviricilerin ayarlanmasını,
- A.a hattına paralel bağlı bir d.a bağlantısının davranışlarını,
- D.a bağlantılarının koruma sistemlerini,
- Bağlantı şemalarının oluşturulmasını,
- Çoklu terminal şebekelerinin ayarlama prensipleri ve korumalarını,
- D.a disjonktörlerin geliştirilme durumlarını inceleme olanağı elde edilmiştir.

Yarı iletken teknolojisi 4.bölümde anlatıldığı gibi, hızlı gelişmektedir. Günümüzde kritik uzaklık bazı hatlar için 500 km'ye kadar, bazı hatlar için ise 40 km' civarındadır.

Uzun vadede hat ve koruma kavramları a.a. sistemine göre daha az etkilerden, test başarıları başarıyla karşılanmaktadır. Bununla birlikte yapılan maliyet analizleri farklı sonuçlar vermektedir. Bu konuda Fransa'da yapılan inceleme sonuçları şöyledir:

	A.a sistemi				D.a sistemi			
U (km)	420	765	1050	1400	350	625	850	1050
Maliyet (F. F./km.kv)	0.3	0.165	0.12	0.095	0.21	0.115	0.085	0.065

SONUÇ

İnceleme ve tanıtıma çalıştığımız "D.A ile Enerji İletimi" konusu hiç şüphesiz ki a.a sisteminden soyutlanamaz, birinin diğerini tamamlayacağı açıktır.

D.a ve a.a sistemlerini çeşitli yönlerden 2.bölümde karşılaştırmıştık. İşleme açısından ise şu karşılaştırma yapılabilir:

D.a sistemlerinde hat ve korona kayıpları daha azdır. Yalıtım ve akım taşıma yönünden daha elverişlidir. Farklı frekanslı sistemlerde (asekron bağlantılarda) olumlu davranır. 9.bölümde anlatıldığı gibi, günümüz teknolojisiyle enterkonnekte bağıntılar kolaylıkla yapılabilir.

Buna karşılık d.a sistemlerinde harmonik sorunu ve bunların süzülmesi için filtre düzenlerine ihtiyaç vardır. Çeviricilerin reaktif güç gereksinimleri için reaktif güç üreteçleri gereklidir. Çevirici valflerin hayli pahalı olması da sorun yaratmaktadır.

Yarı iletken teknolojisi 4.bölümde anlatıldığı gibi, hızla gelişmektedir. Günümüzde kritik uzaklık, havai hatlar için 500 km. sualtı hatları için ise 40 km. civarındadır.

Uzun vadede hat ve korona kayıpları a.a. sistemine göre daha az olacağından, tesis masrafları böylelikle karşılanmış olabilir. Dünyada yapılan maliyet analizleri farklı sonuçlar vermektedir. Bu konuda Fransa'da yapılan inceleme sonuçları şöyledir :

	A.a sistemi				D.a sistemi			
U (kv)	420	765	1050	1300	340	625	860	1050
Maliyet (F.F/KW.Km)	0.3	0.165	0.12	0.095	0.21	0.115	0.083	0.065

Doğru akımla enerji iletiminin gelecekte Türkiye açısından rolü ne olabilir ?

Her geçen yıl enerji gereksinimi artmakta olan yurdumuz yeni enerji üretim merkezleri kurma yolundadır. Hidrolik kaynakların çoğunlukla Doğu Anadolu'da bulunduğu dikkate alınır, burada kurulacak üretim merkezlerinin özellikle batıya uzaklığı ve iletim gücünün çok büyük olacağı dikkate alınmalıdır. Halen inşa çalışmaları devam eden Fırat nehri üzerindeki KARAKAYA barajı (1800 MW, Diyarbakır) ve ATATÜRK barajı (2400 MW, URFA) ile Dicle nehri üzerindeki ILISU barajı (1200 MW, MARDİN) buna örnek olarak gösterilebilir.

Adalarla denizaltı bağlantıları (40 km. den daha uzakta olanlar için) açısından d.a sistemi daha uygun görülmektedir.

Yarı iletken elemanların ilerki yıllarda seri üretilmeleri ve teknolojik gelişmeler nedeniyle daha ucuzlayacağı ve daha büyük güçler için imal edileceğini kestirebiliriz. Mevcut a.a şebekelerinde yer alan reaktif güç üreteçlerinden doğru akım için de yararlanabiliriz. Bu durumda hat ve direk düzeninde de değişiklikler yapmaya gerek yoktur. Ancak d.a sistemini tesis etmeye başlamadan önce çok iyi bir ön araştırma yapılması gerektiği de açıktır.

EK

DOĞRU AKIMLA ENERJİ İLETİMİNİN DÜNYA'DAKİ UYGULAMALARINA
İLİŞKİN BAĞLANTI ŞEMALARI VE BU
BAĞLANTILARIN ÖZELLİKLERİ

Sistemin adı	GOTLAND (ISVEC)	
İşletme yılı	1954	1970
Hattın biçimi	Tek Kutuplu	
Toprak Dönüşü	Sarekli	
Güç (MW)	20	10
Doğru gerilim/Kutup (KV)	100	50
Çevirici sayısı/İstasyon	2	1
Valf tipi Civa(Hg), Tristor(T)	2 anotlu Hg	T. S,Y hava
Sogutma(S), Yalıtma(Y)		
Bir çeviricinin DC.gerilimi (KV)	50	50
Bir çeviricinin DC.akımı (A)	200	200
Çevirici gücü (MW)	10	10
Çeviricinin yol sayısı	6	6
Reaktif gücün sağlanması	Kondansatörler	
Filtreler, Amorti (A)	Senkron Komp.	
Absorbe(F)	-	
İstasyonların isimleri ve	Vastervik 130	
Bara gerilimleri (KV)	Visby	70
Toplam hat uzunluğu (Km)	96	
Havai hat uzunluğu (Km)	-	
Kablo uzunluğu (Km)	96	
DC devrenin elektot hattı	Nominal akımlı	
Deniz (D) , Toprak (T)	2 D	
Kontrol	Gotlantta sabit frekans	
Güç akış yönünün tersine	-	
Çevrilmesi	-	
Kablonun izolasyonu	Katı	
Yalıtkanlık kalınlığı (mm)	7	
Kablo zırhının kalınlığı (mm)	4	
İletken malzemesi ve kesiti	Bakır 90 (K)	
Havai (H), Kablo (K) (mm ²)	3	
Kurşun kılıfın kalınlığı (mm)	50	
Kablonun dıştan dışı	-	
Yaklaşık çapı (mm)	-	
YGDA sisteminin	Frekans kontrol olanakları ve	
seçilme nedeni	denizaltından iletim	
Yapan Firma	ASEA	
1970-1974 yılları arasında	-	
Kullanılabilirlik (%)	94.3	

Sistemin adı	Fran.-İng.	Volgograd -
	Kanalı	Donbass (URSS)
İşletme yılı	1961	1964
Hattın biçimi	Çift Kutuplu	
Toprak Dönüşü	-	
Güç (MW)	160	720
Doğru gerilim/Kutup (KV)	+100	+400
Çevirici sayısı/İstasyon	2	8
Valf tipi Civa(Hg), Tristör(T)	4 anotlu Hg	1 anotlu Hg
Sogutma(S), Yalıtma(Y)	T. (Fr) S, Y hava	
Bir çeviricinin DC gerilimi (KV)	100	100
Bir çeviricinin DC akımı (A)	800	938
Çevirici gücü (MW)	80	-
Çeviricinin yol sayısı	6	6
Reaktif gücün sağlanması	Kondansatör	Kondansatör
		Alternatör
Filtreler, Amorti (A)	F(5,7)	F(5,7,11)
Absorbe(F)	A	A
İstasyonların isimleri ve	Lydd	275
Bara gerilimleri (KV)	Echinghen	225
Toplam hat uzunluğu (Km)	64	473
Havai hat uzunluğu (Km)	-	470
Kablo uzunluğu (Km)	64	3
DC devrenin elektrot hattı	Orta noktalar	
Deniz (D), Toprak (T)	Topraklı	-
Kontrol	İki yönde	-
	sabit güç	-
Güç akış yönünün tersine	Güç ayar ciha-	-
çevrilmesi	zı ile	-
Kablonun izolasyonu	Katı	-
Yalıtkanlık kalınlığı (mm)	İn. 9.3 Fr. 7.5	-
Kablo zırhının kalınlığı (mm)	6	-
İletken malzemesi ve kesiti	İn. 344 Fr. 339	Bakır 12 (H)
Havai (H), Kablo (K) (mm ²)	Bakır (K)	-
Kurşun kılıfın kalınlığı (mm)	2.5	-
Kablonun dıştan dışa	İn. 83.5	-
Yaklaşık çapı (mm)	Fr. 70.4	-
YGDA sisteminin	Asekron şebeke	
seçilme nedeni	Denizaltından iletim	
Yapan Firma	ASEA CGEE-ALSTHOM	URSS
1970-1974 yılları arasında		
Kullanılabilirlik (%)	İn. 80.8 Fr. 81.4	

Sistemin adı	Yeni Zelanda	Sakuma
İşletme yılı	Baglantısı	(Japonya)
Hattın biçimi	1965	1965
Toprak Dönüşü	Çift kutuplu	Frekans çevirici
Güç (MW)	Orta nokta lardan	Birbirini takip eden devreler
Doğru gerilim/Kutup (KV)	600	300
Çevirici sayısı/İstasyon	+250	2*125
Valf tipi Civa(Hg), Tristor(T)	4	2+2
Sogutma(S), Yalıtma(Y)	4 anotlu Hg	4 anotlu Hg
Bir çeviricinin DC gerilimi (KV)	125	125
Bir çeviricinin DC akımı (A)	1200	1200
Çevirici gücü (MW)	150	150
Çeviricinin yol sayısı	6	6
Reaktif güçün sağlanması	Kondansatör	Kondansatör
Filtreler, Amorti (A)	Senkron Komp.	
Absorbe (F)	A	A
İstasyonların isimleri ve	F(5,7,9,11,13)	F(5,7,11,13)
Bara gerilimleri (KV)	Benmore 16	Sakuma 275
Toplam hat uzunluğu (Km)	Haywards 110	
Havai hat uzunluğu (Km)	614	-
Kablo uzunluğu (Km)	39	-
DC devrenin elektrot hattı	575	-
Deniz (D), Toprak (T)	Nominal akımlı	Direkt olarak
Kontrol	1 D. 1 T.	tek noktadan
Güç akış yönünün tersine	Ben.dan Hay.a	Sabit güç
çevrilmesi	sabit güç	veya frekans
Kablonun izolasyonu	Güç ayar cihazı ile	
Yalıtkanlık kalınlığı (mm)	Gaz	-
Kablo zirhinin kalınlığı (mm)	14.4	-
İletken malzemesi ve kesiti	5.9	-
Havai (H), Kablo (K), (mm ²)	2*3974 ACSR	-
Kurşun kılıfın kalınlığı (mm)	516 Bakır (K)	-
Kablonun dıştan dışı	3.55	-
Yaklaşık çapı (mm)	111	-
YBDA sisteminin	Denizaltından	Hızlı kontrol
Yapan Firma	iletim	Farklı fre.
1970-1974 yılları arasında	ASEA	ASEA
Kullanılabilirlik (%)	93.1	94.4

Sistemin adı	KONTİSKAN (İSVEC-DAN.)	SARDİNYA (İTALYA)
İşletme yılı	1965	1967
Hattın biçimi	Tek kutuplu	
Toprak Donuşu	Sarekli	
Güçü (MW)	250	200
Doğru gerilim/Kutup (KV)	250	200
Çevirici sayısı/İstasyon	2	2
Valf tipi Civa(Hg), Tristor(T)	4 anotlu Hg	4 anotlu Hg
Soğutma(S), Yalıtma(Y)		
Bir çeviricinin DC gerilimi (KV)	125	100
Bir çeviricinin DC akımı (A)	1000	1000
Çevirici gücü (MW)	125	100
Çeviricinin yol sayısı	6	6
Reaktif güçün sağlanması	Kondansatör Senkron Komp.	
Filtreler, Amorti (A)	A	A
Absorbe (F)	F(5,7,11,13)	F(3,5,7,11,13)
İstasyonların isimleri ve	Alborg (D)	150 Codron. 230
Bara gerilimleri (KV)	Göteborg (1) 130	San Dal. 230
Toplam hat uzunluğu (Km)	174	408
Havai hat uzunluğu (Km)	87	116
Kablo uzunluğu (Km)	87	290
DC devrenin elektrot hattı	Nominal akımlı	Nominal akımlı
Deniz (D.), Toprak (T.)	2 D.	2 D.
Kontrol	İki doğrultuda sabit güç	Sabit güç (Sar) veya frekans Güç ayar cihazı ile
Güç akış yönünün tersine cevrilmesi		
Kablonun izolasyonu	Katı (İs) Gaz (D)	Katı
Yalıtkanlık kalınlığı (mm)	15	12.4
Kablo zirhinin kalınlığı (mm)	4	4
İletken malzemesi ve kesiti	ACSR 910 (H)	ACSR 683.2
Havai (H), Kablo (K), (mm ²)	Bakır 625 (K)	Cu. 420
Kurşun kılıfın kalınlığı (mm)	3.4	3.2
Kablonun dıştan dışı	825 129*92	83.4*79.7
Yaklaşık çapı (mm)		
YGDA sisteminin	Denizaltından iletim	Denizaltından iletim
Yapan Firma	ASEA	ASEA, ENGLISH ELECTRIC
1970-1974 yılları arasında Kullanılabilirlik (%)	81.2	74.7

Sistemin adı

VANCOUVER

(KANADA-İZLANDA)

İşletme yılı

1968-69

1976-77

Hattın biçimi

Tek kutuplu

Toprak durumu

Sürekli

Güç (MW)

312

370

Doğru gerilim/Kutup (KV)

260

280

Çevirici sayısı/İstasyon

2

2

Valf tipi Civa(Hg),Tristor(T)

4 anotlu Hg

Tr.Y,5 hava

Sogutma (S) , Yalıtma (Y)

Bir çeviricinin DC gerilimi (KV)

130

150

Bir çeviricinin DC akımı (A)

1200

1320

Çevirici gücü(MW)

156

185

Çeviricinin yol sayısı

6

6

Reaktif gücün sağlanması

Gen.Kompan.,Kondansatör

Filtreler

A

F(3,S,7,11,13)

İstasyonların isimleri ve

Arnett 230

Bara gerilimleri(KV)

Vancouver 230

Toplam hat uzunluğu (Km)

74

72

Havai hat uzunluğu(Km)

41

40

Kablo uzunluğu(Km)

33

32

DC devrenin elektrot hattı

Nominal akımlı 2 D.

Deniz (D.) ,Toprak (T.)

Kontrol

Sabit güç

Güç akış yönünün tersine
çevrilmesi

Güç ayar cihazı ile

Kablonun izolasyonu

Yağlı

Yalıtkanlık kalınlığı(mm)

11.7

Kablo zırhının kalınlığı(mm)

6

İletken malzemesi ve kesiti

ACSR 2*650

Havai (H), Kablo (K) ,(mm²)

Cu 400 (K)

Kurşun kılıfın kalınlığı (mm)

2.5

Kablonun dıştan dışı

Arnett 91

Yaklaşık çapı (mm)

Vanc. 94.2

YGDA sisteminin

Denizaltından iletim

Yapan Firma

ASEA

1970-74 yılları arasında

kullanılabilirlik

87.4

Sistemin adı

PASİFİK HATTI
(ABD)

İşletme yılı	1970	1985
Hattın biçimi	Tek kutuplu	
Toprak dönüşü	Orta noktadan	
Güç (MW)	1440	2200
Doğru gerilim/Kutup (KV)	+400	+ 500
Çevirici sayısı/İstasyon	6	
Valf tipi Civa(Hg), Tristor (T)	6 anotlu Hg	Tristor
Sogutma (S) , Yalıtma (Y)		
Bir çeviricinin DC gerilimi (KV)	133	
Bir çeviricinin DC akımı (A)	1800	2000
Çevirici gücü (MW)	240	
Çeviricinin yol sayısı	6	
Reaktif gücün sağlanması	Kondansatör	
Filtreler	A	
	F(5,7,11,13)	
İstasyonların isimleri ve	Celilo	230
Bara gerilimleri (KV)	Sylmar	230
Toplam hat uzunluğu (Km)	1362	1700
Havai hat uzunluğu (Km)	1362	1700
Kablo uzunluğu (Km)	-	-
DC devrenin elektrot hattı	Nominal akımlı 2 T.	
Deniz (D.) , Toprak (T.)		
Kontrol	Sabit güç	
Güç akış yönünün tersine	Güç ayar cihazı ile	
çevrilmesi		
Kablonun izolasyonu		
Yalıtkanlık kalınlığı (mm)		
Kablo zırhının kalınlığı (mm)		
İletken malzemesi ve kesiti	ACSR 1165	
Havai (H) , Kablo (K) , (mm ²)		
Kurşun kılıfın kalınlığı (mm)		
Kablonun dışarı dışı		
Yaklaşık çapı (mm)		
YGDA sisteminin	Uzun mesafe, Hızlı kontrol	
Yapan Firma	ASEA , GENERAL ELECTRIC	
1970-74 yılları arasında	Celilo 90.3	
kullanılabilirlik	Sylmar 74.7	

Sistemin adı	EEL NEHRİ	ACARAY
	(KANADA)	(PAR.-BREZİLYA)
İşletme yılı	1972	1981
Hattın biçimi	Birbirini takip eden	-
Toprak dönüşü	Orta noktadan	-
Güç (MW)	320	50
Doğru gerilim/Kutup (KV)	2* 80	26
Çevirici sayısı/İstasyon	4	
Valf tipi Civa(Hg), Tristör (T)		Tr.Y,S hava
Sogutma (S) , Yalıtma (Y)		
Bir çeviricinin DC gerilimi (KV)	40	
Bir çeviricinin DC akımı (A)	2000	1925
Çevirici gücü (MW)	160	
Çeviricinin yol sayısı	12	
Reaktif gücün sağlanması	Kondansatör, Sen.Komp.	
Filtreler	A	
	F(5,11,13)	
İstasyonların isimleri ve	N.B	230
Bara gerilimleri (KV)	Quebec	230
Toplam hat uzunluğu (Km)		
Havai hat uzunluğu (Km)		
Kablo uzunluğu (Km)		
DC devrenin elektrot hattı		
Deniz (D.) , Toprak (T.)		
Kontrol	Sabit güç	
Güç akış yönünün tersine	Güç ayar cihazı ile	
çevrilmesi		
Kablonun izolasyonu		
Yalıtkanlık kalınlığı (mm)		
Kablo zırhının kalınlığı (mm)		
İletken malzemesi ve kesiti		
Havai (H), Kablo (K) , (mm ²)		
Kürsün kılıfın kalınlığı (mm)		
Kablonun dıştan dışı		
Yaklaşık çapı (mm)		
YGDA sisteminin	Asekron işletmeyecek güç	
Yapan Firma	GENERAL ELECTRIC	
1970-74 yılları arasında		
kullanılabilirlik	96.5	-

Sistemin adı

NELSON NEHRİ (KANADA)

İşletme yılı

1 2 2
1973 1981-82 1990

Hattın biçimi

Cift kutuplu

Toprak dönüşü

Gücü (MW)

1620 900,1800 2000

Doğru gerilim/Kutup (KV)

+400 +250 +500 +500

Çevirici sayısı/İstasyon

6 4

Valf tipi Civa(Hg),Tristor(T)

6 anotlu Hg Tr.Y hava,S su

Sogutma (S) , Yalıtma (Y)

Bir çeviricinin DC gerilimi (KV)

150 250

Bir çeviricinin DC akımı (A)

1800 1800 2200

Çevirici gücü(MW)

270 250

Çeviricinin yol sayısı

6 12

Reaktif güçün sağlanması

Kondansatör,Sen.Komp.,Alternator

Filtreler

A

İstasyonların isimleri ve

Radison 138 Henday 230

Bara gerilimleri(KV)

Dorsey 230

Toplam hat uzunluğu (Km)

895 895 980

Havai hat uzunluğu(Km)

895 895 980

Kablo uzunluğu(Km)

DC devrenin elektrot hattı

Nominal akımlı 2 T.

Deniz (D.) ,Toprak (T.)

Kontrol

Sabit güç

Güç akış yönünün tersine
çevrilmesi

Kablonun izolasyonu

Yalıtkanlık kalınlığı(mm)

Kablo zırhının kalınlığı(mm)

İletken malzemesi ve kesiti

ACSR 2 * 934.2

Havai (H) , Kablo (K) , (mm²)

Kurşun kılıfın kalınlığı (mm)

Kablonun dıştan dışa

Yaklaşık çapı (mm)

YGDA sisteminin

Uzun mesafe,Büyük güç

Yapan Firma

ENGLISH ELECTRIC

1970-74 yılları arasında

kullanılabilirlik

Sistemin adı	KINGSNORT	CABORA-BASSA
	(İNGİLTERE)	(MOZA-G.A.C)
İşletme yılı	1975	1975-1978
Hattın biçimi	2 tek kutuplu	Çift kutuplu
	inverterler farklı yerlerde	
Toprak dönüşü	-	Orta noktadan
Güç (MW)	640	960 960
Doğru gerilim/Kutup (KV)	+266	+ 266 + 533
Çevirici sayısı/İstasyon	Kin.4,Bed.2	8
	Willesden 2	
Valf tipi Civa(Hg),Tristör(T)	4 anotlu Hg	Tr.Y,S yağ
Sogutma (S) , Yalıtma (Y)		
Filtreler, Amorti (A)	A	A
Absorbe(F)	F(5,7,11,13)	F(5,7,11,13)
Bir çeviricinin DC gerilimi (KV)	133	133
Bir çeviricinin DC akımı (A)	1200	1800
Çevirici gücü(MW)	180	240
Çeviricinin yol sayısı	6	6
Reaktif gücün sağlanması	Kondansatör ve	Kondansatör
	sebeke (kablo)	Alternatör
Filtreler,Amorti(A)	A	A
Absorbe(F)	F(5,7,11,13)	F(5,7,11,13)
İstasyonların isimleri ve	Bed.,King.Will.	Cabora(M) 220
Bara gerilimleri(KV)	132	Apollo 275
Toplam hat uzunluğu (Km)	Bed.59 Wil.84	1414
Havai hat uzunluğu(Km)	Bed.59 Wil.84	1414
Kablo uzunluğu(Km)	-	-
DC devrenin elektrot hattı	Notru 1 istas	Nominal akımlı
Deniz (D.) ,Toprak (T.)	yonda topraklı	2 D.
Kontrol	Sabit güç	Sabit güç
Güç akış yönünün tersine	Elle kumanda	
çevrilmesi		
Kablonun izolasyonu	Yağ em.kagıt	-
Yalıtkanlık kalınlığı(mm)	10.3	-
Kablo zırhının kalınlığı(mm)	-	-
İletken malzemesi ve kesiti	-	AC6R 4*565
Havai (H), Kablo (K) , (mm ²)	Cu. 800	-
Kursun kılıfın kalınlığı (mm)	Al. 1.35	-
Kablonun dıştan dışı	76.5	-
Yaklaşık çapı (mm)		
YĞDA sisteminin	Denizaltından	Ekonomik uzaklık
	iletim	
Yapan Firma	ENGLISH	AEG,BBC-
	ELECTRIC	SIEMENS

Sistemin adı	INGA-SHABA (ZAİRE)	SKAGERRAK (DAN.-NORVEÇ)
İşletme yılı	1976	1977
Hattın biçimi	Çift kutuplu	
Toprak dönüşü	Orta noktalardan topraklı	
Güçü (MW)	560	500
Doğru gerilim/Kutup (KV)	+500	+250
Çevirici sayısı/İstasyon	2	2
Valf tipi Civa(Hg), Tristör(T)	Tr.Y,S hava	Tr.Y,S hava
Sogutma (S) , Yalıtma (Y)		
Bir çeviricinin DC gerilimi (KV)	500	250
Bir çeviricinin DC akımı (A)	560	1000
Çevirici gücü(MW)	280	250
Çeviricinin yol sayısı	12	12
Reaktif gücün sağlanması	Kondansatör Senkron kompanzator	
Filtreler, Amorti (A)	A	A
Absorbe(F)	F(11,13)	F(11,13)
İstasyonların isimleri ve	İnga 220	Krist.(N) 275
Bara gerilimleri(KV)	Kolwezi 220	Tjele 150
Toplam hat uzunluğu (Km)	1700	230
Havai hat uzunluğu(Km)	1700	190
Kablo uzunluğu(Km)	-	120
DC devrenin elektrot hattı	Nominal akımlı	Nominal akımlı
Deniz (D.) ,Toprak (T.)	2 T.	2 D.
Kontrol	Sabit güç	Her 2 yödede
	AC ızgaralar	sabit güç
	-	Elle kumanda
Güç akış yönünün tersine		
çevrilmesi		
Kablonun izolasyonu	-	Katı
Yalıtkanlık kalınlığı(mm)		16
Kablo zırhının kalınlığı(mm)	-	Dan.24 N.17.23
İletken malzemesi ve kesiti	ACSR 3*524/31	ACSR 772 (H)
Havai (H), Kablo (K) ,(mm ²)	-	Cu 800 (K)
Kürsün kılıfın kalınlığı (mm)	-	3.6
Kablonun dıştan dışı	-	117
Yaklaşık çapı (mm)		
YGDA sisteminin	Ekonomik	Denizaltından
	uzaklık	iletim
		Asekron işletme
Yapan Firma	ASEA	ASEA

Sistemin adı	FİLLANDIYA	STEGAL
	URSS	(ABD)
İşletme yılı	1981	1977
Hattın biçimi	Birbirini takip eden devreler	
Toprak dönüşü	-	
Güç (MW)	1070	100
Doğru gerilim/Kutup (KV)	3*+-85	25
Çevirici sayısı/İstasyon	4 + 4	2
Valf tipi Civa(Hg),Tristor (T)	Tr.Y,S hava	
Sogutma (S) , Yalıtma (Y)		
Bir çeviricinin DC gerilimi (KV)	250	25
Bir çeviricinin DC akımı (A)	2100	2000
Çevirici gücü(MW)	-	50
Çeviricinin yol sayısı	12	12
Reaktif güçün sağlanması	Sen.Kompan.	Kondansatör
Filtreler		A
İstasyonların isimleri ve	Scottsbluff 230	Leningrad
Bara gerilimleri(KV)	Nebraska 230	
Toplam hat uzunluğu (Km)	-	-
Havai hat uzunluğu(Km)	-	-
Kablo uzunluğu(Km)	-	-
DC devrenin elektrot hattı	-	-
Deniz (D.) ,Toprak (T.)		
Kontrol	Sabit güç	-
Güç akış yönünün tersine	Elle kumanda	-
çevrilmesi		
Kablonun izolasyonu	-	-
Yalıtkanlık kalınlığı(mm)	-	-
Kablo zırhının kalınlığı(mm)	-	-
İletken malzemesi ve kesiti	-	-
Havai (H) , Kablo (K) , (mm ²)	-	-
Kurşun kılıfın kalınlığı (mm)	-	-
Kablonun dıştan dışı	-	-
Yaklaşık çapı (mm)		
YGDA sisteminin	Ekonomik uzaklık	-
Yapan Firma	GENERAL ELECTRIC	URSS

Sistemin adı	HOKKAIDO - HANSHU	
Sistemin adı	(JAPONYA)	
İşletme yılı	1979	1980
Hattın biçimi	Çift kutuplu	
Toprak dönüşü	-	
Güç (MW)	150	300
Doğru gerilim/Kutup (KV)		
Çevirici sayısı/İstasyon	1+	3
Valf tipi Civa(Hg),Tristör(T)	Tr.Y,S hava	
Sogutma (S) , Yalıtma (Y)		
Bir çeviricinin DC gerilimi (KV)	125	
Bir çeviricinin DC akımı (A)	1200	
Çevirici gücü(MW)	150	
Çeviricinin yol sayısı (A)	6	
Reaktif gücün sağlanması	Kondansatör	
Filtreler		
İstasyonların isimleri ve	Hokkaido	187
Bara gerilimleri(KV)	Hanshu	285
Toplam hat uzunluğu (Km)	168	
Havai hat uzunluğu(Km)	124	
Kablo uzunluğu(Km)	44	
DC devrenin elektrot hattı		
Deniz (D.) ,Toprak (T.)	-	
Kontrol	Sabit güç	
Güç akış yönünün tersine	-	
çevrilmesi elektrot hattı	-	
Kablonun izolasyonu	-	
Yalıtkanlık kalınlığı(mm)	-	
Kablo zırhının kalınlığı(mm)	-	
İletken malzemesi ve kesiti	ACSR 810	
Havai (H), Kablo (K) ,(mm ²)	Cu 600	
Kurşun kılıfın kalınlığı (mm)		
Kablonun dıştan dışı		
Yaklaşık çapı (mm)		
YGDA sisteminin	Denizaltından iletim	
Yapan Firma	Japon firmaları	

Sistemin adı	SQUARE BUTTE (USA)	CU PROJESİ (USA)
İşletme yılı	1977	1978
Hattın biçimi	Çift kutuplu	
Toprak dönüşü	Orta noktalardan topraklı	Metallik dönüş
Güç (MW)	500	1000
Doğru gerilim/Kutup (KV)	+250	+400
Çevirici sayısı/İstasyon	2	2
Valf tipi Civa(Hg), Tristör (T)	Tr.Y,S hava	Tr.Y,S hava
Sogutma (S) , Yalıtma (Y)		
Bir çeviricinin DC gerilimi (KV)	250	400
Bir çeviricinin DC akımı (A)	1000	1250
Çevirici gücü(MW)	250	500
Çeviricinin yol sayısı	12	12
Reaktif gücün sağlanması	Kondansatör	Kondansatör
Filtreler, Amorti (A)	Senkron komp.	
Absorbe (F)	A	A
İstasyonların isimleri ve	F(11,13)	F(11,13)
Bara gerilimleri (KV)	Center 230	Coal Creek 220
Toplam hat uzunluğu (Km)	Minnia. 230	Dickinson 340
Havai hat uzunluğu (Km)	734	675
Kablo uzunluğu (Km)	734	675
DC devrenin elektrot hattı	-	-
Deniz (D.) , Toprak (T.)	Nominal akımlı	Nominal akımlı
Kontrol	2 T.	2 T.
Güç akış yönünün tersine çevrilmesi	Sabit güç	
Kablonun izolasyonu	Elle-kumanda	
Yalıtkanlık kalınlığı (mm)	-	-
Kablo zırhının kalınlığı (mm)	-	-
İletken malzemesi ve kesiti	-	-
Havai (H) , Kablo (K) , (mm ²)	ACSR 1999	ACSR 1611 (H)
Kurşun kılıfın kalınlığı (mm)	-	-
Kablonun dıştan dışı	-	-
Yaklaşık çapı (mm)	-	-
YGDA sisteminin	Ekonomik uzaklık	
Yapan Firma	GENERAL ELECTRIC	ASEA

Sistemin adı	ITAİPU (BREZİLYA)	AVUSTURYA - CEKOSLAVAKYA
İşletme yılı	1985	1983
Güç (MW)	6300	550
Doğru gerilim/kutup (KV)	2*+- 600	145
Valf tipi Civa(Hg),Tristor(T)	Tristor	
Sogutma (S) , Yalıtma (Y)		
Akım (A)	1800	3790
Toplam hat uzunluğu (Km)	783/860	
Havai hat uzunluğu(Km)	783/860	
Kablo uzunluğu(Km)		

Sistemin adı	EXIDASTUS CENTER (SSCB)	İNGİLTERE-FRANSA KANALI
İşletme yılı	1984	1984
Güç (MW)	6000	2000
Berilim (KV)	+- 750	2*+-270
Akım (A)	4000	2000
Valf tipi	Tr. S.su	Tr. S.hava
Toplam hat uzunluğu (Km)	2400	66
Havai hat uzunluğu (Km)	2400	
Kablo uzunluğu (Km)		17+46+3

Sistemin adı	GALL ADASI (KANADA)	INTER DAĞI (ABD)
İşletme yılı		1986
Güç (MW)	800 1600	1000 2200 4000
Gerilim (KV)	+- 400	+- 500
Akım (A)	2000	1100
Valf tipi	Tristor	
Toplam hat uzunluğu (Km)	799 1114	800
Havai hat uzunluğu (Km)	780 1095	800
Kablo uzunluğu (Km)	19 19	

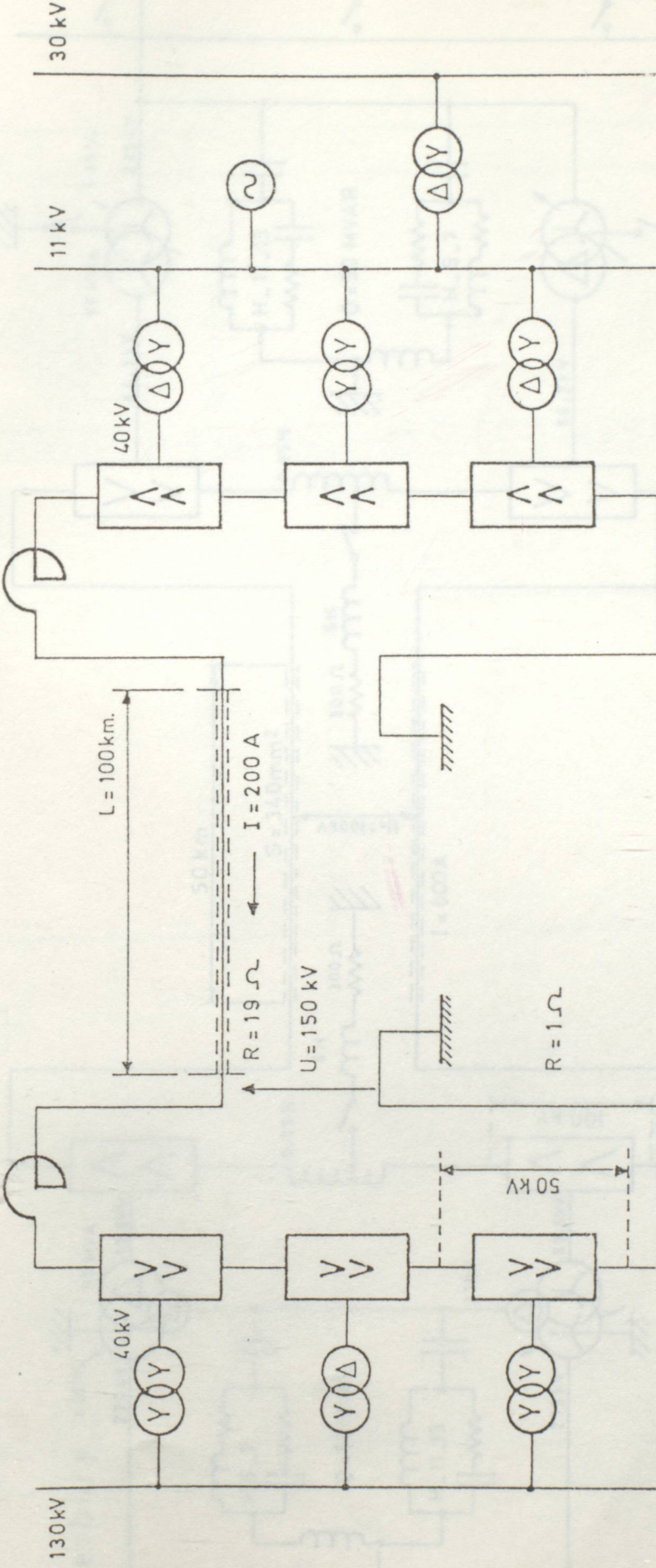
Sistemin adı	OKULAHAMA UNION WALKER SOUTH TEXAS
İşletme yılı	(ABD) (ABD)
Güç (MW)	200 500
Valf tipi	Civa(Hg), Tristor (T) Tristor
Sogutma (S) , Yalıtma (Y)	

Sistemin adı	ERIE GECİSİ	LEYTE-LUZON
	(ABD)	(FİLİPİNLER)
İşletme yılı		1988
Güç (MW)	500	900
Gerilim (KV)	250-300	+ 350
Akım (A)	2000	1286
Valf tipi		Tristor
Toplam hat uzunluğu (Km)		429
Havai hat uzunluğu (Km)		406
Kablo uzunluğu (Km)	96	23

Sistemin adı	EPRI PROTYE	ARJANTIN- BREZİLYA	BREZİLYA - ARJANTİNA
İşletme yılı	Deneme		
Güç (MW)	100	50	50

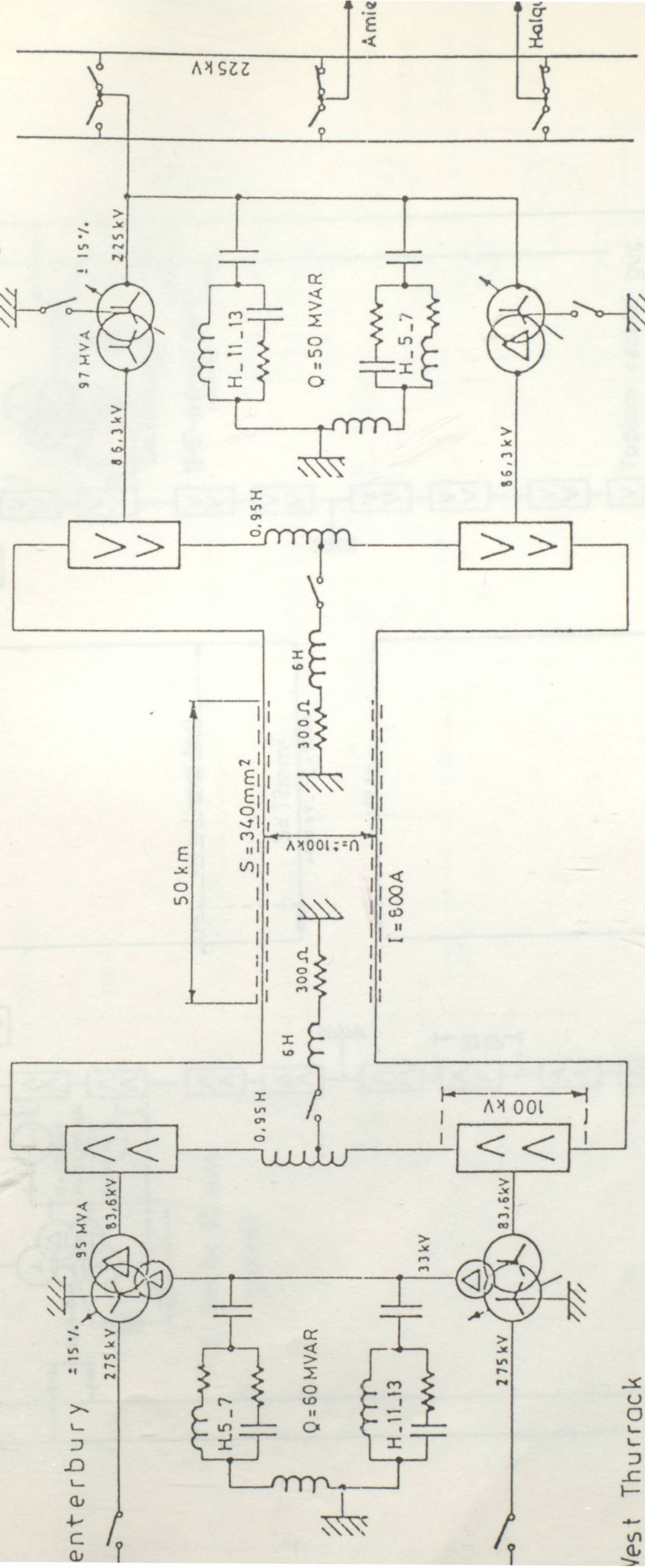
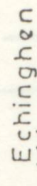
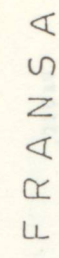
İSVEÇ
(Västervik)

GOTLAND
(Ygne)



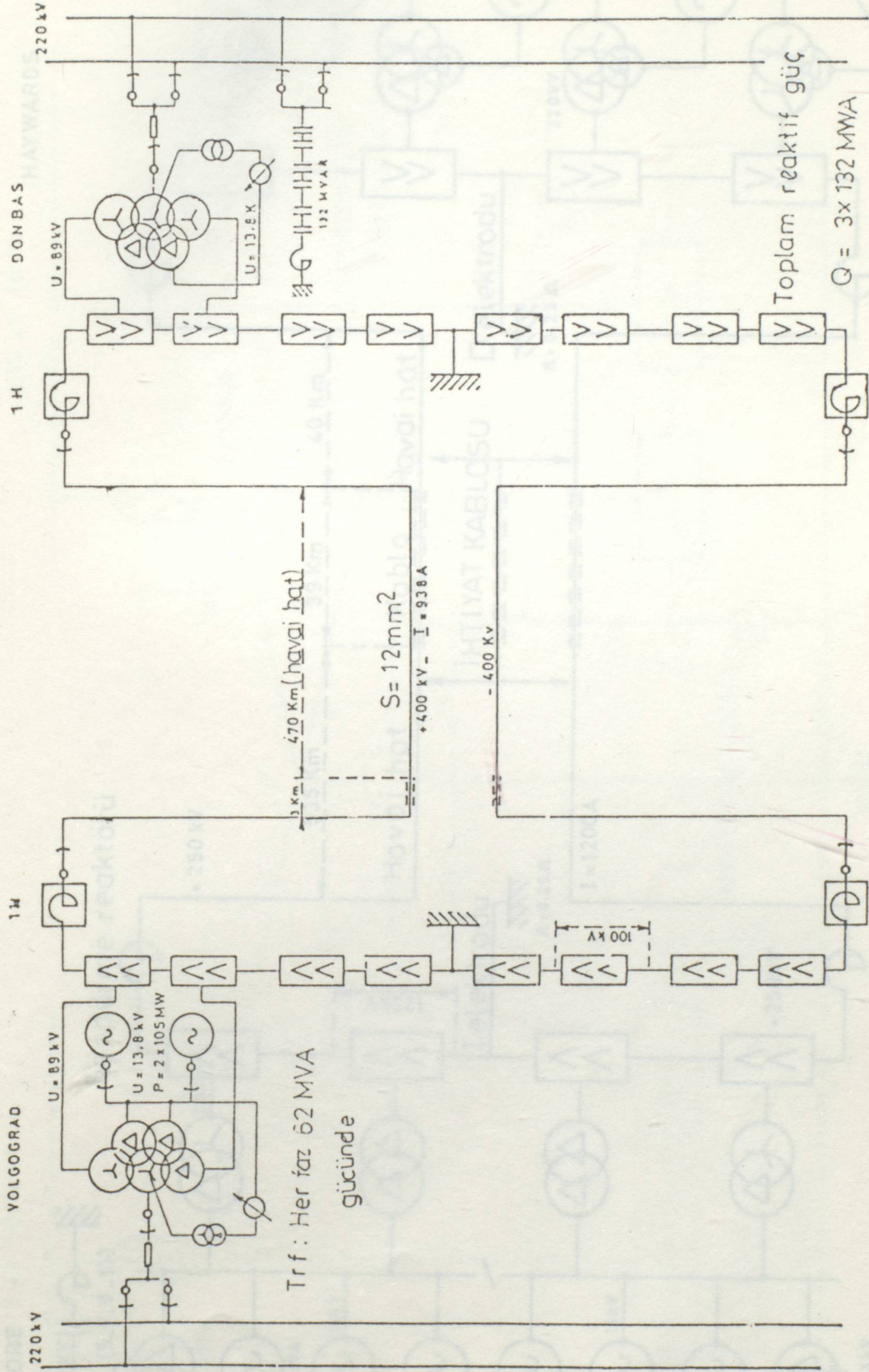
ndürme reaktörü ile kablo arasındaki osilasyonlar direnç ve kondansatör ile azaltılır.
ndülör çalışmada değiştiricilerden birinin diğerini bozucu etkisini kompanse etmek için
üstervik'te 2 X 730 KVA'lık bir kompozisyon bobini kullanılmıştır.
70 yılında her 2 istasyona da tristörlü 3. bir konvertör eklenerek kurulu güç
den 30 MVA'ya çıkarılmıştır

1- İSVEÇ - GOTLAND BAĞLANTISI - $P = 30 \text{ MW}$ - $U = 150 \text{ kV}$



1974 yılında Y-Y bağlı köprülerden

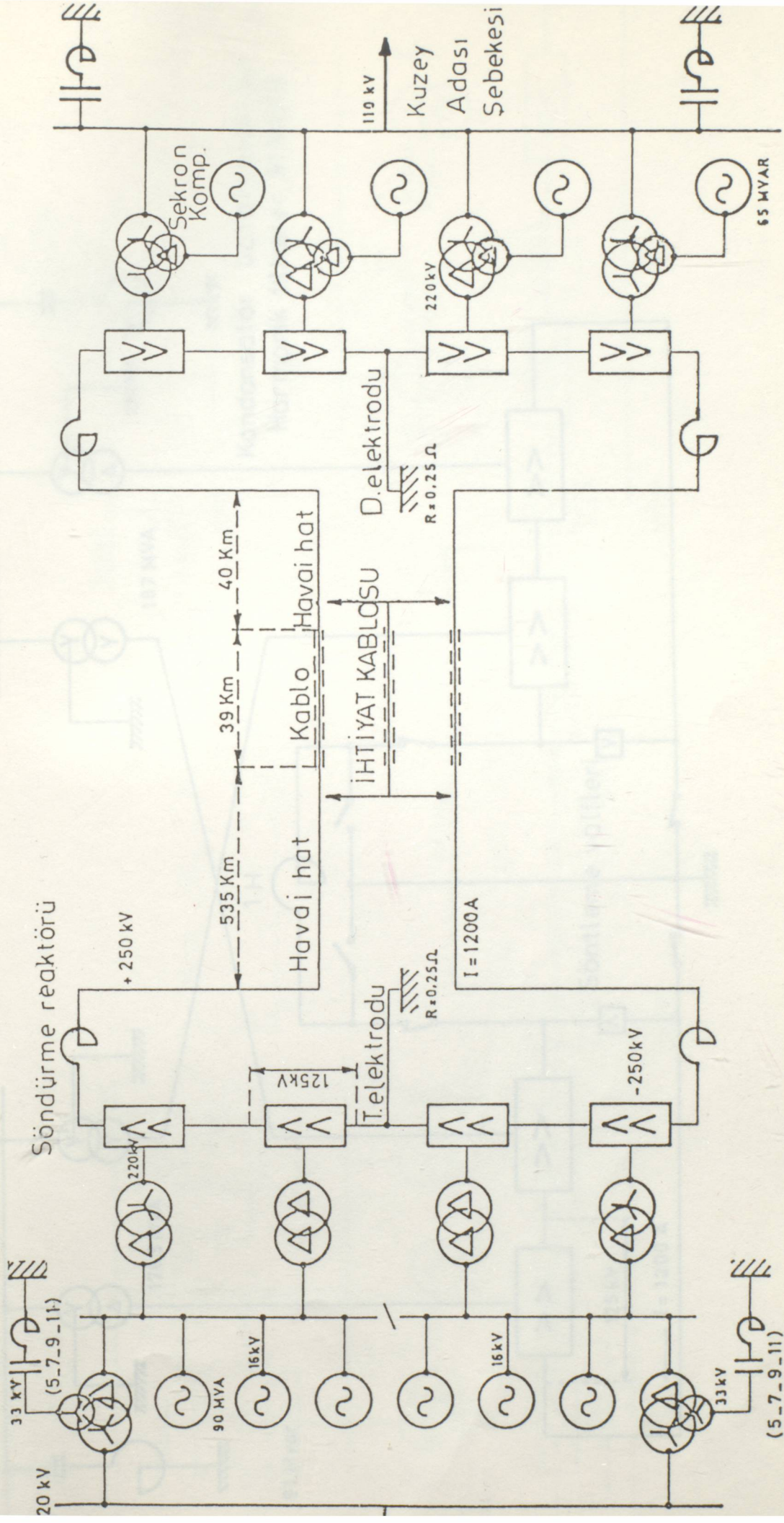
biri tristör valfli köprü ile değiştirilmiştir



3- VOLGOGRAD - DONBAS BAĞLANTISI - $P = 720 \text{ MW}$ - $U = \pm 400 \text{ kV}$

BENMORE

HAYWARDS

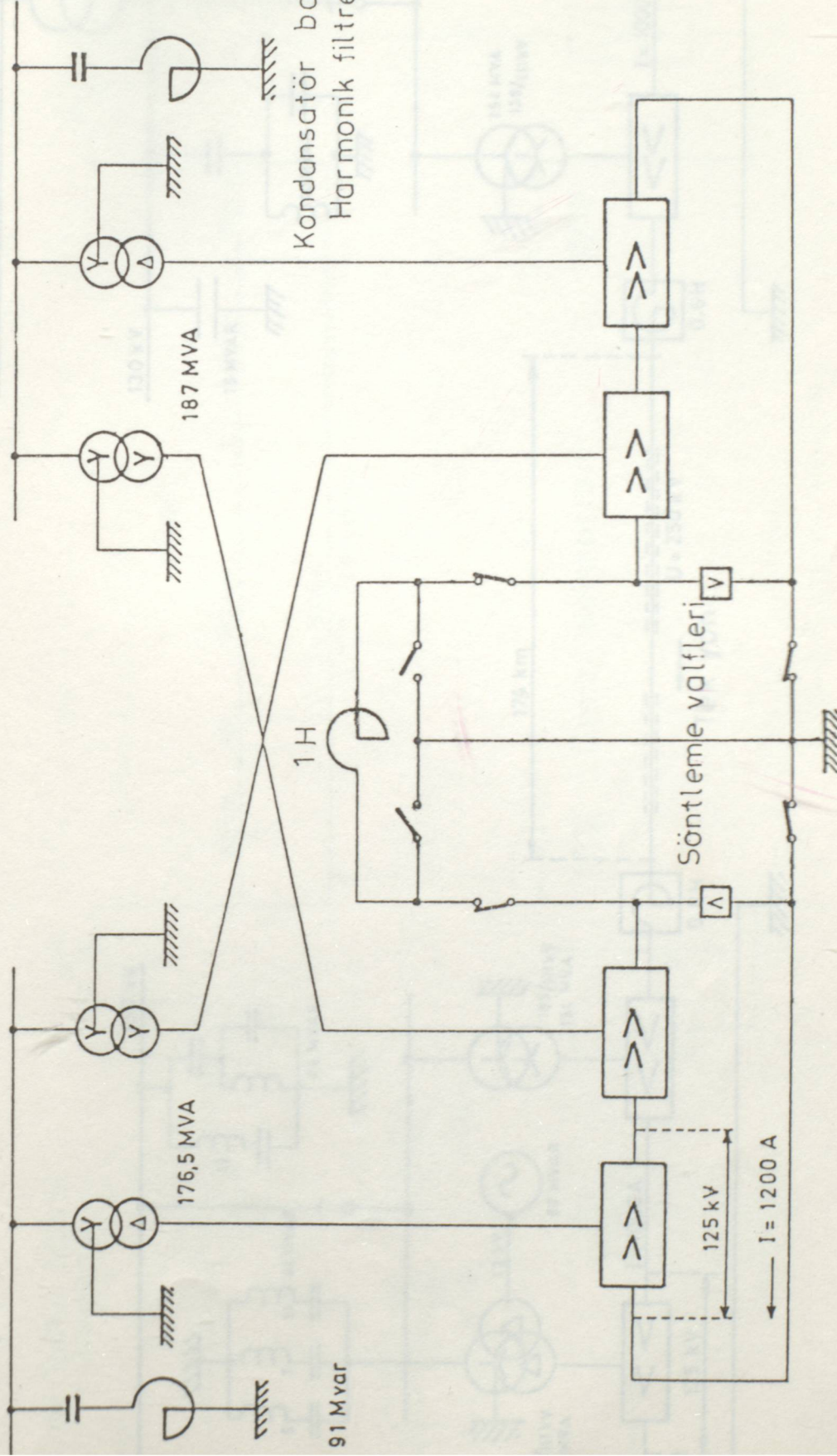


4- YENİ ZELANDA BAĞLANTISI - P = 600 MW - U = ± 250 KV

275 kV 50 Hz

275 kV 60 Hz

GÖTEBORG (ISVEÇ)



Kondansatör bataryaları ve
Harmonik filtreler 91 MVAR

1H

Söntleme valfleri

125 kV

I = 1200 A

5 - 50-60 Hz SAKUMA İSTASYONU - P = 300 MW - U = 2x125 kV

ALBORG (DANİMARKA)

GÖTEBORG (İSVEÇ)

400 kV

150 kV

130 kV

44 MVAR

25 MVAR

75 MVAR

40 MVAR

40 MVAR

5/111 kV
4 MVA

165/111 kV
154 MVA

12 kV

80 MVAR

154 MVA
139/111 kV

154 MVA
139/111 kV

I = 1000 A

125 kV

0.6 H

I = 1000 A

U = 250 kV

Tek yön

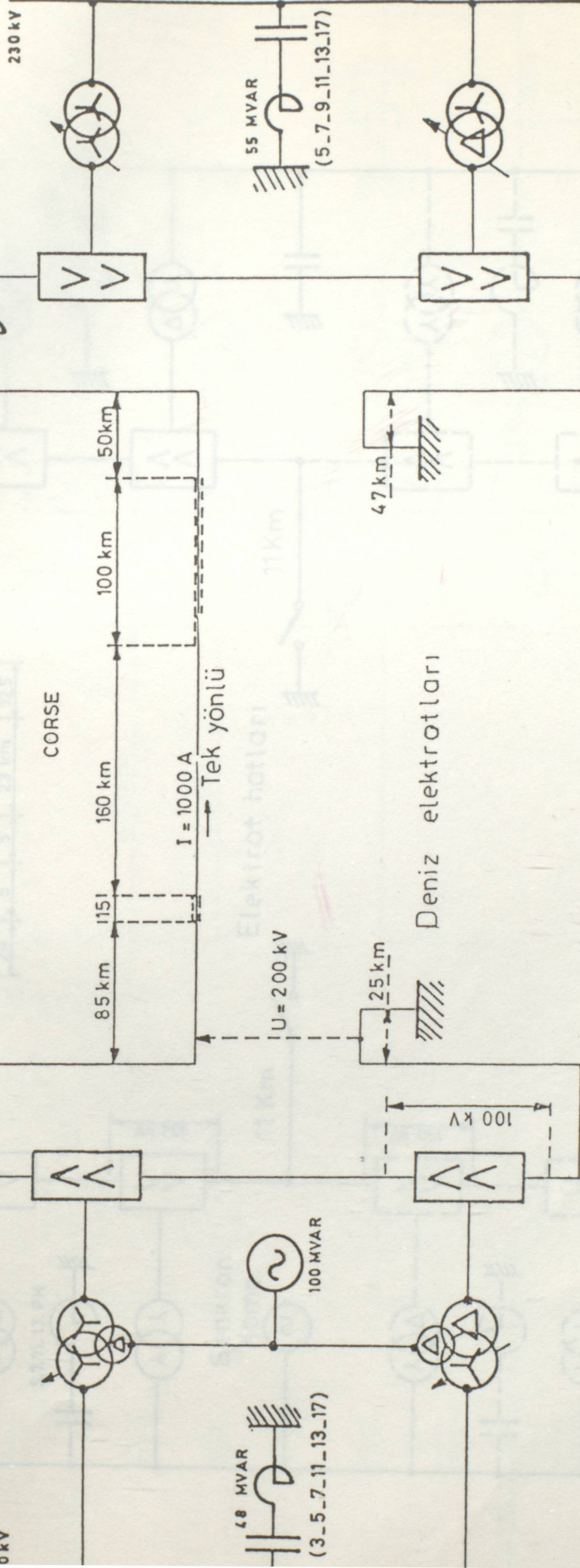
174 km

6- YGDA KONTİSKAN ENTERKONNEKTE BAĞLANTISI - P = 250 MW - U = 250 KV

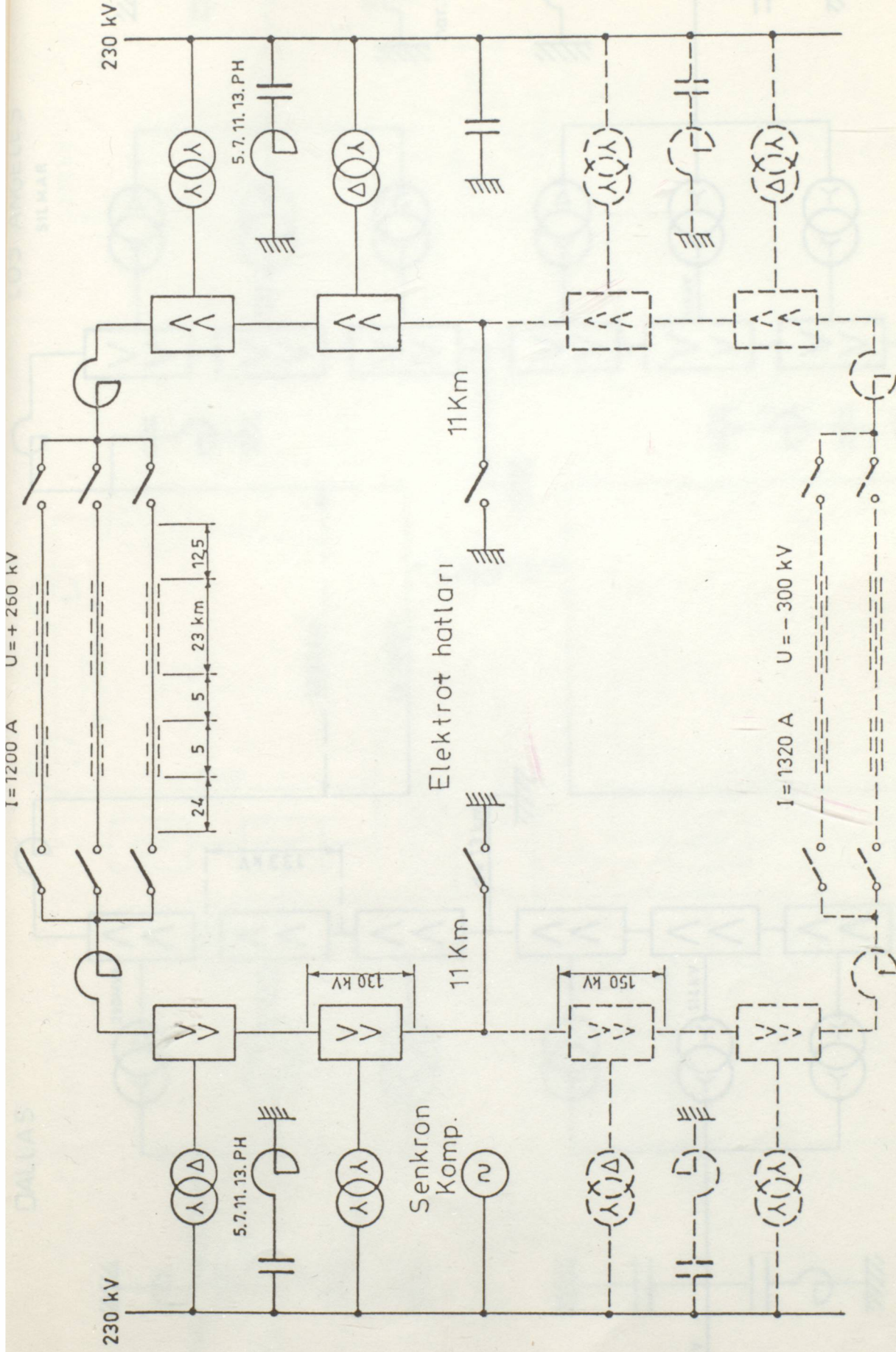
SARDİNYA ADASI
Codrongianos

0 kV

İTALYA
San Dalmazla



7- İTALYA - SARDİNYA BAĞLANTISI - $P = 200 \text{ MW}$ - $U = 200 \text{ kV}$

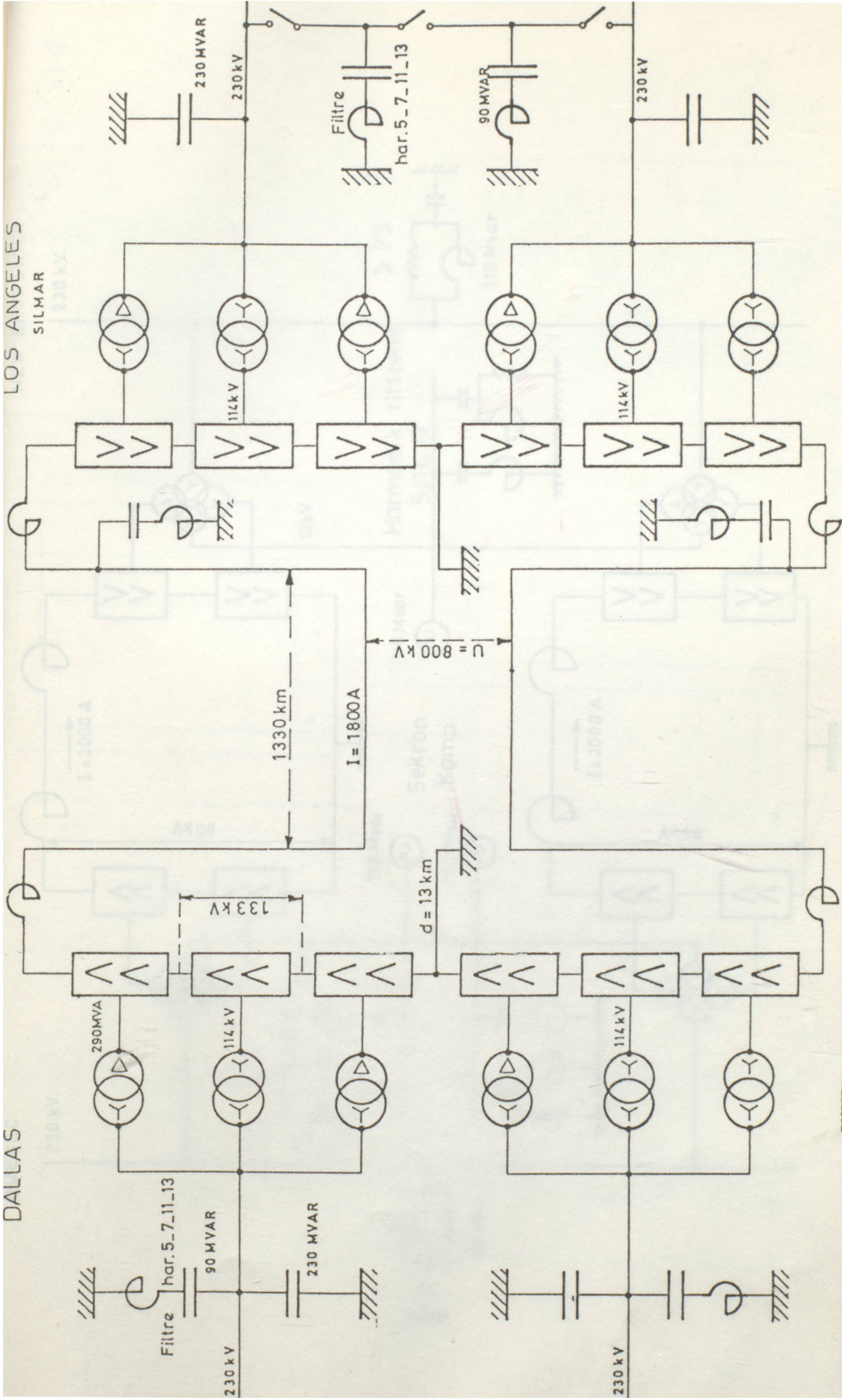


— 1968 Hg valfler
 -- 1977 Tris. valfler

DALLAS

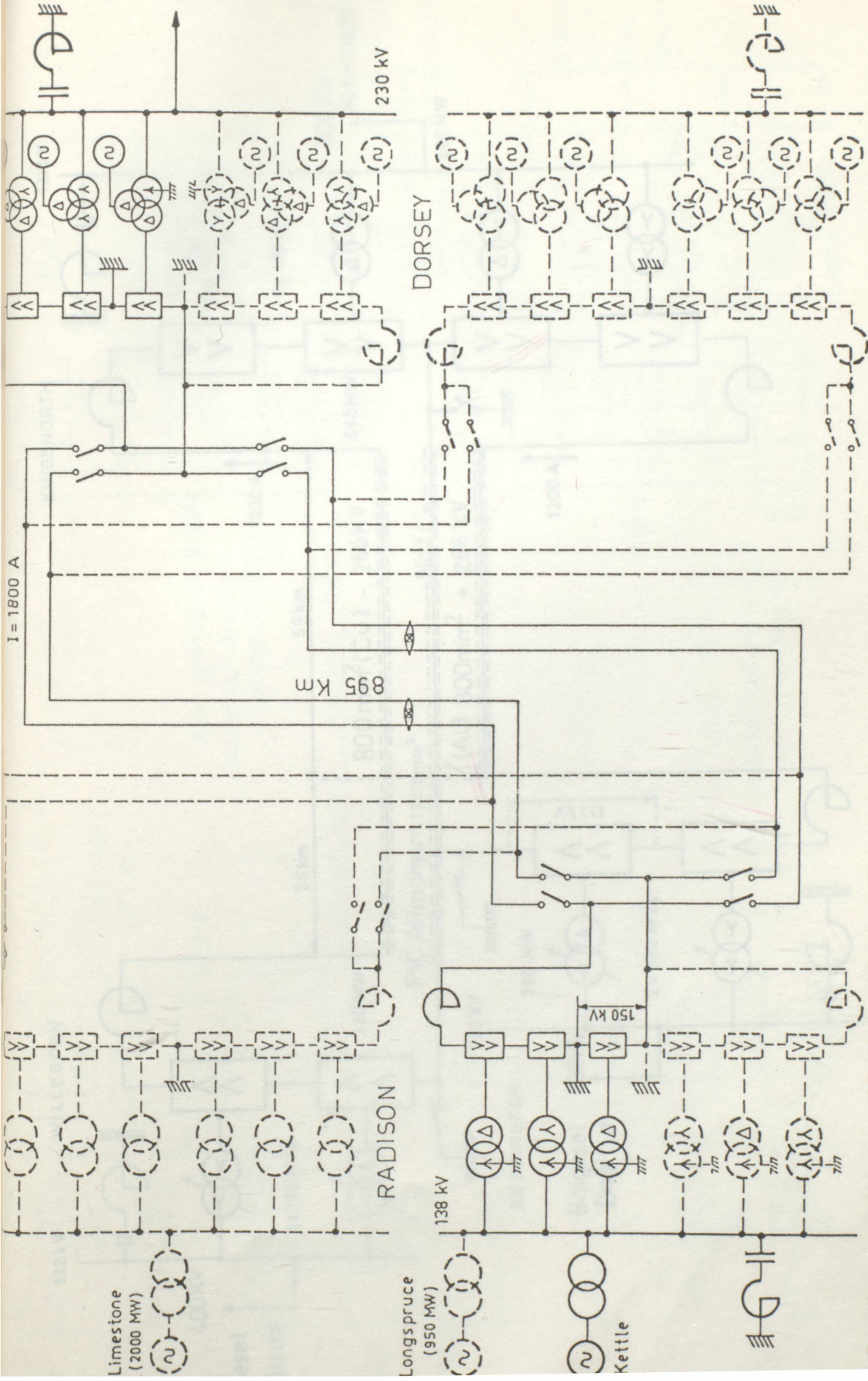
LOS ANGELES

SILMAR



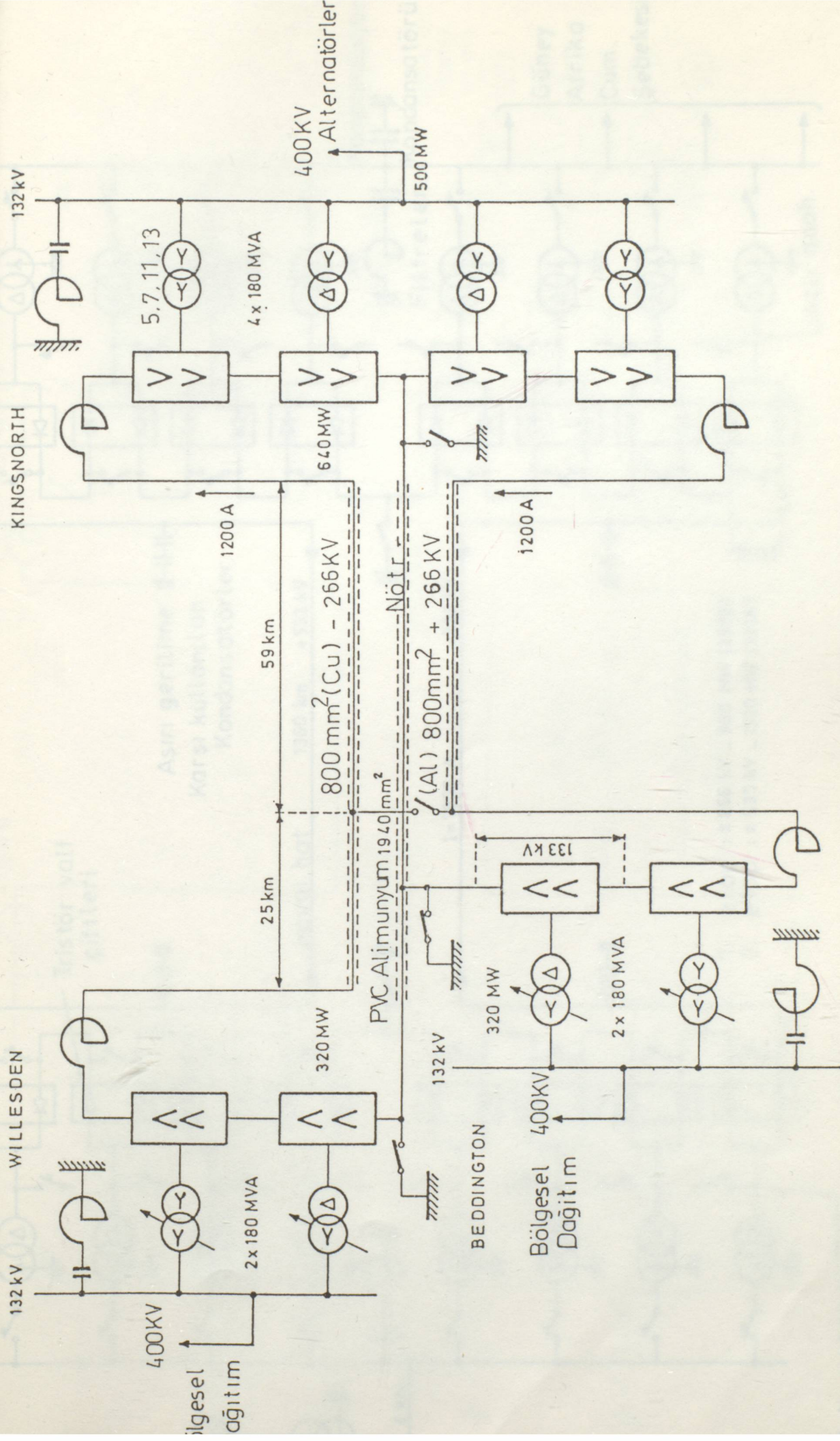
9-

PASIFIK ARA BAGLANTISI - $P = 1440 \text{ MW}$ - $U = \pm 400 \text{ kV}$

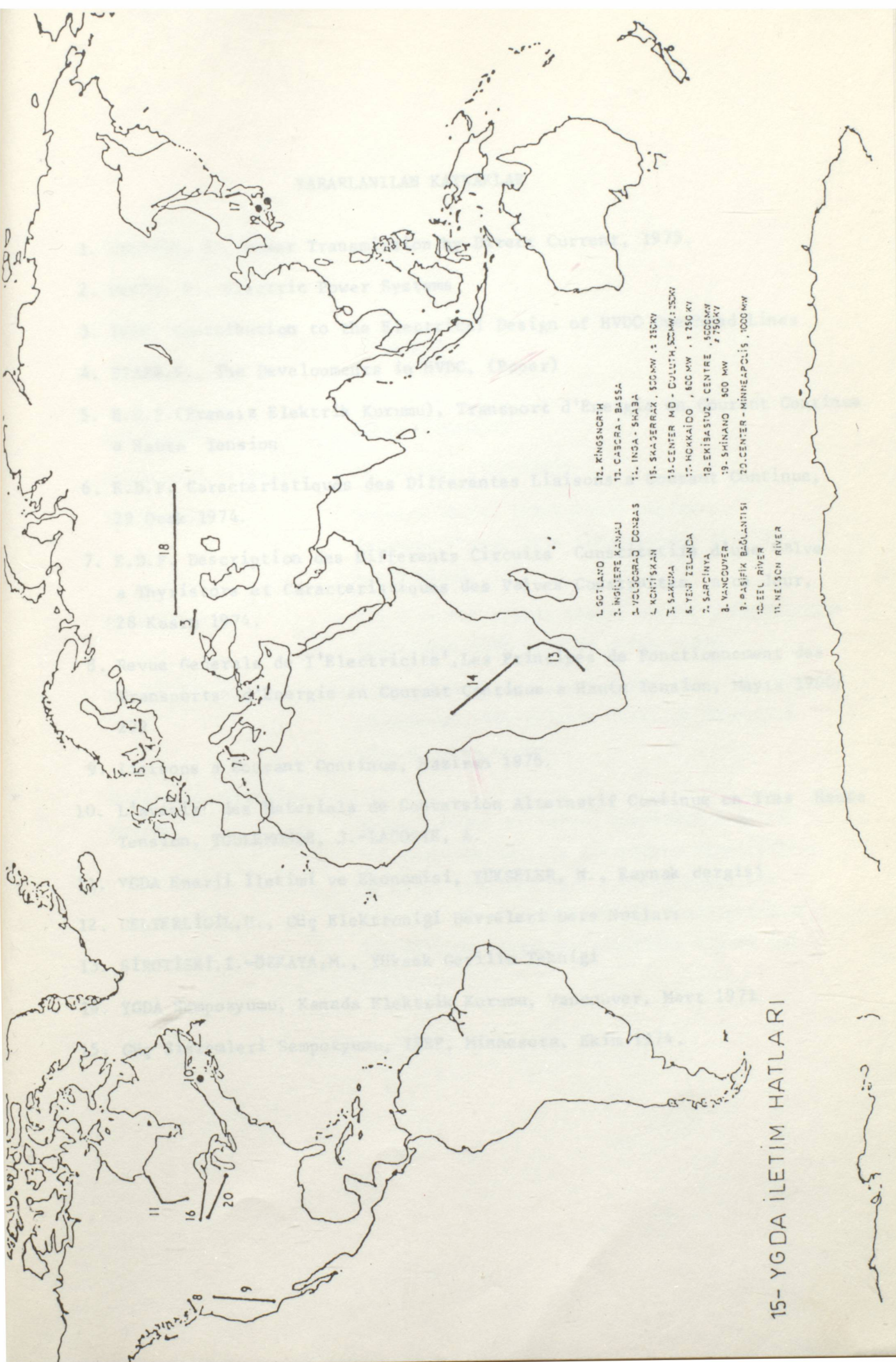


Tasarlanan ilk hat : +150 kV , - 300 kV , 810 MW
 1977 de yapılan : ± 450 kV , 810 MW
 ilave olarak : ± 500 kV , 1800 MW

11- NELSON RIVER BAĞLANTISI



12- KINGSNORT - WILLESDEN - P = 2 x 320 MW - U = ± 266 KV



YARARLANILAN KAYNAKLAR

1. UHLMANN, E., Power Transmission by Direct Current, 1975.
2. WEEDY, B., Electric Power Systems
3. IEEE, Contribution to the Electrical Design of HVDC Overhead Lines
4. STARR, E., The Developments in HVDC, (Paper)
5. E.D.F. (Fransız Elektrik Kurumu), Transport d'Energie en Courant Continue a Haute Tension
6. E.D.F. Caracteristiques des Differentes Liaisons a Courant Continue, 29 Ocak 1974.
7. E.D.F. Description des Differents Circuits Constitutifs d'une Valve a Thyristors et Caracteristiques des Valves Construites a ce Jour, 28 Kasım 1974.
8. Revue Generale de l'Electricite', Les Principes de Fonctionnement des Transports d'Energie en Courant Continue a Haute Tension, Mayıs 1960/ 279
9. Liaisons a Courant Continue, Haziran 1976.
10. L'avenir des Materials de Conversion Alternatif Continue en Tres Haute Tension, TOULEMONDE, J.-LACOSTE, A.
11. YGDA Enerji İletimi ve Ekonomisi, YÜKSELER, N., Kaynak dergisi
12. CELTEKLİGİL, U., Güç Elektronik Devreleri Ders Notları
13. SİROTİSKİ, I.-ÖZKAYA, M., Yüksek Gerilim Tekniği
14. YGDA Sempozyumu, Kanada Elektrik Kurumu, Vancouver, Mart 1971
15. Güç Sistemleri Sempozyumu, IEEE, Minnesota, Ekim 1974.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Çetin YÜKSEKBAŞ

Doğum yeri ve tarihi : 16.10.1961 DİYARBAKIR

İlköğrenim : Malatya 50.Yıl ilkokulunda başlayıp
İstanbul Turgut Reis ilkokulundan 1972'de
mezun oldum.

Orta Öğrenim : İlk 4 yılını yatılı olarak okuduğum Galatasaray
Lisesinden 1980 yılında mezun oldum.

Yüksek Öğrenim : 1980 yılında girdiğim Y.Ü. Işık Elektrik Müh.
Bölümünden 1984 yılında Elektrik Mühendisi
olarak mezun oldum.

Üniversite öğrenimi
Sonrası : Halen Y.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik
Müh. Anabilim dalında Lisansüstü öğrencisiyim
ve Eylül 1985'ten beri Y.Ü. Müh. Fakültesi
Elektrik Müh. Bölümü Elektrik Tesisleri Anabi-
lim dalında araştırma görevlisi olarak çalış-
maktayım.

