

57595

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HVDC ENERJİ İLETİMİ VE HARMONİK ANALİZİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON BİRİMİ

Elek.Müh. Şekip Ayanoğlu

F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yard. Doç. Dr. Ferit Attar

57595

İSTANBUL , 1996

TEŞEKKÜR

Dünyanın enerji gereksinimi, nüfus artışı ve gelişen hayat standartına bağlı olarak gelişmiştir. Bu gelişim sürecinde bulunan ve kullanılan enerjilerin en önemli en kuşkusuz elektrik enerjisidir. Bu enerjinin temini için insanoğlu araştırmalarda bulunmuş ve bu enerji için çeşitli kaynaklar tespit etmiştir. Bu kaynakların tasarruf edilip elektrik enerjisine dönüşümü amacıyla elektrik santrelleri kurulmuştur. Bu santreller tüketim merkezlerinden uzak olduğundan enerji nakil hatları gündeme gelmiştir. İşte “Yüksek Gerilimde Doğru Akımla Enerji İletimi ve Harmonik Analizi” tezi bu nakil işleminin önemine binaen yazılmıştır. Sayın Yrd.Doç.Dr. Ferit ATTAR hocam’a tezime yapmış olduğü danışmanlık ve katkılarından dolayı teşekkürümü arz eder, saygılarımı sunarım. Ayrıca tezin bilgisayarda yazımında yardımlarından dolayı dostum Seyfettin İLETMİŞ’e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	I
SUMMARY	II
1. BÖLÜM	
1.1. Giriş	1
1.1.1 Genel Giriş	1
1.1.2 Tarihçesi	3
1.2. Çalışma Prensibi	4
2. BÖLÜM	
DOĞRU AKIM İLE ALTERNATİF AKIMIN SİSTEM OLARAKÇEŞİTLİ YÖNLERDEN KARŞILAŞTIRILMASI	
2.1. Alternatif Akımın Sakıncaları	5
2.2. Alternatif Akımın Üstünlükleri	10
2.3. Doğru Akımın Üstünlükleri	10
2.4. Doğru Akım İletim Sistemindeki Zorluklar	22
3. BÖLÜM	
DOĞRU AKIM İLE ENERJİ İLETİMİNİN ANALİZİ	
3.1. Genel	25
3.2. Tek Kutuplu Düzen	26
3.3. Çift Kutuplu İletim	27
3.4. Çok Kutuplu İletim	29
3.5. Ekonomik (Optimum) Hat Gerilimi Tespiti	29
3.6. Ölçülendirme	31
3.7. Aşırı Gerilim Koruma	32
3.7.1. D.A.ile İletim Hatlarında Kullanılan Parafudrlar	32
3.7.2. Topraklama Teli	33

3.7.3. Hat Koruma Sistemleri	33
3.8. Yalıtım	34
3.9. YGDA İletiminde Kablolar	34
3.10. Toprak Dönüşüne Bakış	34
3.11. Direkler ve Toprak Hattı	37
3.12. Çevirici İstasyonlar	41
3.12.1. Söndürme (Düzleme) Reaktansı	41
3.12.2. Düzleme Reaktansının Orta Noktasını Toprağa Bağlayan Empedans	42
3.12.3. Kabloların Amortisman Empedansı	42
3.12.4. Kondansatör Bataryası	42
3.12.5. Filtreler	43

4. BÖLÜM

ÇEVİRİCİ İSTASYONLAR

4.1. Doğrultucular	45
4.2. Eviriciler	50
4.3. Bir D.A. Modelinin İletim Hattında İşlemesi	51
4.4. Çeviricide Kullanılan Valfler	54
4.4.1. Civa Buharlı Valfler	55
4.4.2 Tristör Valfler	55
4.4.2.1 Tristör Kontrol Olanakları	58
4.4.2.2. Tristör Yardımcı Elemanları	60
4.4.3. Gerilim Bölücü Devreler	60
4.4.4. Tristörlerin Tetiklenmesi ve Bloke Olması İçin Kullanılan Düzenler	61
4.4.5. Soğutma Sistemleri	62
4.4.6. Günümüzde Kullanılan Valflerle İlgili Bilgiler	65
4.4.7. Tristör ve Civa Buharlı Valflerin Mukayesesi	68
4.5. Şönt Kapasitörler	69

4.6. Doğru Akım Düzleme Reaktörleri	69
4.7. Alternatif Akım Filtreleri	69

5. BÖLÜM

DOĞRU AKIM ENERJİ İLETİMİNDE ZORLAYICI ETKENLER

5.1. Harmonikler	71
5.1.1. Doğrultucudaki Harmonik Distorsiyon	75
Eviricideki Harmonik Distorsiyon	76
5.2. Korona	77
5.2.1. Alternatif Akımda Korona Kayıpları	77
5.2.2. Doğru Akımda Korona Kayıpları	77
5.2.3. Tek Kutuplu ve Çok Kutuplu Hatlarda Korona	79
5.2.4. Çift Kutuplu Hatlarda Korona	79
5.2.5. Korona Kayıplarının Hesabı	79
5.3. Radyo Parazitleri	80
5.3.1. Tek Kutuplu ve Çok Kutuplu Doğru Akım Hatlarında Radyo Parazitleri	81
5.3.2. Çift Kutuplu D.Akım Hatlarında Radyo Parazitleri	82
5.3.3. Doğru Akım İletim Hatlarında Radyo Parazitleri İçin Alınan Önlemler	83
5.4. Reaktif Güç	83
5.4.1. Senkron Kompansatörlerle Reaktif Güç Temini	85
5.4.2. Kondansatörlerle Reaktif Güç Temini	86

6. BÖLÜM

6.1. Doğru Akım Hat Gerilimi Tayini	87
6.2. Doğru Akım Hat Maliyetleri	87
6.3. Kablo Maliyetleri	88
6.4. D.Akım Çevirici Terminal Maliyetleri	89

6.5. Hat Kayıpları	90
6.6. İstasyon Kayıpları	90
7. BÖLÜM	
İŞLETME - BAKIM -KARARLILIK - KULLANILABİLİRLİK	
7.1. İşletme	92
7.2. Bakım	92
Kararlılık	92
Kullanılabilirlik	93
8. BÖLÜM	
BİR DOĞRU AKIMDA İLETİM MODELİ	
8.1. Kullanılan Elemanlar	95
8.2. Çevirici Ünite	96
8.3. Güç Panosu	96
8.3.1. Çevirici Köprü	96
8.3.2. Besleme Trafosu	96
8.3.3. Alternatif Filtreler ve Söndürme Reaktörü	96
8.4. Kumanda Panosu	98
8.4.1. Ölçme Kısmı	98
8.4.2 Regülatör - Kuvvetlendirici Kısmı	98
8.4.3. Kumanda Kısmı	99
8.4.4 Ölçme Sistemleri ve Deneme Araçları	99
8.5. Netice	99
9. BÖLÜM	
BİR ÇEVİRİCİYE AİT MATEMATİKSEL İFADELER	
	100

10. BÖLÜM**MALİYET AÇISINDAN ENERJİ İLETİMİNDE DOĞRU AKIM
İLE ALTERNATİF AKIMIN KARŞILAŞTIRILMASI**

10.1. Genel Olarak Maliyet Mukayesesi Konusu	104
10.2. Doğru Akım Sistemlerinde Maliyetler	107
10.2.1. Doğru Gerilim Seviyesi	107
10.2.2. İletim Hatlarının Maliyetleri	108
10.2.3. Doğru Gerilim Çevirici Uç Postalarının Maliyeti	110
10.3. Uzun Mesafeli Enerji İletiminde Doğru Akım İle Alternatif Akım Maliyet Mukayesesi	111
SONUÇ	117
KAYNAKLAR	120
ÖZGEÇMİŞ	

Ö Z E T

Elektrik enerjisinin ilk olarak üretimi ve kullanımı doğru akım ile olmuştur.

Alternatif akım ise doğru akıma göre bazı avantajları sebebiyle günümüze kadar üretim, iletim ve dağıtımda doğru akıma tercih edilmiştir.

Günümüzde, iletilen gücün ve mesafenin büyük değerlere ulaşması sebebiyle alternatif akım ile iletimde bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Bazı hallerde, doğru akım ile enerji iletimi daha ekonomik olduğu gibi bazen de tek çözüm yolu olmaktadır. (Örneğin, frekansları farklı iki sistem arasında asenkron bağlantının yapılması).

Son yıllarda, gelişen teknoloji ile doğru akım ile enerji iletimi yeniden bir seçenek olmaya başlamıştır.

Bu çalışmada, doğru akım ile enerji iletim sistemi teorik esas, tasarım ve işletme açısından ayrı ayrı incelenmiş ve geleneksel sistemle (alternatif akım) çeşitli yönlerden karşılaştırmaları yapılmıştır.

SUMMARY

In the past, generation, transmission and usage of electrical energy, was realized by direct current.

As the alternative current has some advantages in comparison with direct current, up to now, alternative current is preferred to generate, transmit and distribute of electrical energy.

At present, since power transmission and transmission distance are reached to large value some problems are determined.

In addition, there are some disadvantages in transmission with alternative current at submarine energy transmission.

In some cases, energy transmission with high voltage direct current (HVDC) is not only economic but also is the unique solution, (for example, realizing at submarine energy transmission.

In last years, energy transmission with direct current has begun to be an alternative method in parallel with technologic developments. In this study, energy transmission system by direct current is researched in terms of theoretical basis, desing and operating. Energy transmission by direct current is composed with the conventional methods for various points of wiew.

1. BÖLÜM

1.1.GİRİŞ

1.1.1. Genel Giriş

İnsanoğlunun, şüphesiz en mühim icatlarından olan elektriğin ve daha sonra da ampulün bulunması elektrik enerjisinin yaşamımıza temel ihtiyaçlardan biri olarak girmesine sebep olmuştur. Kısa süre sonra güç ve ısı kaynağı olarak da kullanılmaya başlanmıştır. Uygulama alanının genişliğine, temizliği ve donanım sadeliği de eklenince elektrik enerjisi konutlarda, endüstride ve ticaretle kısaca insanoğlunun yaşamında yaygın bir biçimde kullanılır duruma gelmiştir.

1879'da ilk elektrik lambasının bulunması ve elektrik enerjisinin aydınlatma amacıyla yaygınlaşması, güç santrallerinin kurulmasına sebep olmuştur.

Aydınlatma amaçlı tüketime yönelik ilk sistemin hizmete girişi 1882 yılında New York şehri Pearl Street Bölgesi'nde oldu. 220/110 volt 3 iletkenli bir doğru akım makinalı sistemden beslenmiştir. Genellikle bu tip sistem (santral)ler ortalama 2 - 2,5' km. çaplı küçük bir alan içindeki aydınlatma ihtiyacını karşılamıştır.

Elektrik enerjisinin yararlarının anlaşılması üzerine 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 sebep olmuştur. Öte yandan 1890'larda endüksiyon makinaları ve transformatörlerin gelişme göstermesi jeneratörler, iletim hatları ve yükler için farklı düzeylerde gerilim kullanılması imkanlarını temin etmiştir. Böylelikle daha önce elektrik enerjisi verilmesi ekonomik görülmeyen yerlere yüksek gerilim ve düşük kayıplarla enerji iletimi olanak dahiline girmiştir. Neticede

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 muhtelif üstünlükleri arasından iki ana neden söylenebilir.

a) Gerilimin ekonomik çalışma bakımından gerekli çeşitli değerlere çok kolay ve hemen hemen kayıpsız bir şekilde yükseltip alçaltılması.

b) Devrenin kesilmesi akımın sıfırdan geçişi anında cereyan ettiğinden, iletim sistemleri üzerinde şalt istasyonlarının inşa edilebilmesi ve bu sayede enterkonnekte bağlantının mümkün olması.

Elektrik enerjisini santrallarda elde etme ve şebekede dağıtma bakımından, alternatif akımın doğru akımdan üstün olduğu bir gerçektir. Yapılan incelemeler neticesinde 750 MW'ın üzerindeki güçlerin, 500 km'lik mesafelere iletilmesinde doğru akımın alternatif akımdan daha ekonomik olduğu kanısına varılmıştır.

Doğru akım ile iletim hatları ağırlıklarını, uzak yerleşim bölgelerine büyük göçlerin taşınma gerekliliği ile hissettirmiştir. Çünkü ;

Enerji kaynakları her zaman tüketici merkezlerin yakınlarında bulunmaz. Bu durumda üretilen gücün uzun mesafeler sonunda tüketiciye ulaştırılması söz konusudur.

Çevre sorunları, hava kirliliği, kalabalık yerleşim bölgelerindeki can güvenliği, ham enerjinin nakli ve o noktada ham enerji kaynağının varlığı (su santralları) bölgenin jeolojik, sosyal ve güncel etkileri gibi... faktörlerden dolayı uzun iletim hatları ile çalışma ihtiyacı doğar. Çünkü bu saydığımız faktörler, üretim merkezinin tüketici merkezin hemen yakınına tesis edilmesini engellemektedir.

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

1.1.2. Tarihçesi

İlk uygulamaları anahtarlarda civa buharlı tekniğin uygulamasıyla gerçekleştirilmiş olan yüksek gerilimli doğru akım enerji iletimi, ticari anlamda ilk defa 1954' te İsveç'te Gotlans adasına 96 km'lik mesafeye 150 kW gerilim ile yapılmıştır.

YGDA sistemlerinin yaygınlaşması, son 15-20 yılda olmuştur. Dünyada uygulanan YGDA sistemlerinin sayısı giderek artmaktadır. Halen işletilmekte olan bazı doğru akımla iletim sistemlerinin listesi şöyledir ;

- İngiltere-Fransa, 160 MW, F 100 Kw, (1961)
- Donbass-Volgograd (S.S.C.B.), 720 MW, F 400 Kw, (1964)
- Yeni Zelanda, 600 MW, F 250 Kw, (1865)
- Konti-Skan (İsveç), 250 MW, 250 Kw, (1965)
- Japonya, 300 MW, 2x125 Kw, (1965)
- Sardunya-İtalya, 200 MW, 200 Kw, (1967)
- Gotland (İsveç), 20 MW, 150 Kw (1965), 30 MW (1970)
- Dallas-Los Angeles (U.S.A.), 1440 MW, F 400 Kw, (1970)
- Kentte-Winnipog (Kanada), 810 MW, 150 Kw ve 300 Kw, 909 km
- Kingsnorth (İngiltere), 266 Kw (1975)
- Skagerrak (Norveç-Danimarka), 500 MW, 250 Kw, (1977)
- Cabora-Bassa (Güney Afrika), 2000 MW, 533 Kw, (1977-78)
- Nelson River (Kanada), 1800 MW, 500 Kw
- Inga-S.Paolo (Bre.) 600 Kw, 6300 MW (1983)
- Gothland-2 (İsveç) 150 Kw, 130 MW (1983)
- Konti-Skan 2 (Dan-İsveç) 300 MW, 285 Kw, (1985)
- Utah S.Cal. (U.S.A.) 3200 MW, 500 Kw, (1983)
- Manş (İng.-Fransa) 2000 MW, 270 Kw, (1986)
- Rihand Delhi (Hindistan) 1500 MW, 500 Kw, (1987)

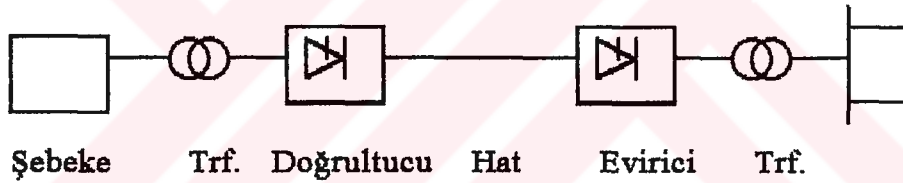
1.2. Çalışma Prensipleri:

Elektrik enerjisinin iletiminde ilk günden beri d.c. havai hat ve kablolarının, 3 fazlı alternatif akım iletim hatlarına göre daha ucuz olduğu bilinmektedir.

Ancak üretim kolaylığı ve alçak gerilimle dağıtım alternatif akımın üstün yararlarındandır. 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.

Basit bağlantı şeması ;



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 atıldı. 1970'li yıllardan sonra büyük bir hızla gelişen yarı iletken teknolojisi ile de sistemin dünya düzeyinde yaygınlaşması mümkün olmuştur.

2. BÖLÜM :

DOĞRU AKIM İLE ALTERNATİF AKIMIN SİSTEM OLARAK ÇEŞİTLİ YÖNLERDEN KARŞILAŞTIRILMASI :

2.1. Alternatif Akımın Sakıncaları :

Kısa mesafelere enerji iletimi ve dağıtımında alternatif akımın kusursuz olduğunu biliyoruz. Ancak uzun mesafelere büyük güçlerin iletilmesi halinde bir takım problemler ortaya çıkmaktadır. Bunların önemli olanlarını şöyle sıralayabiliriz.

--- 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 akım değerleri, hat sonuna bağlanmış empedansa göre değişir. İletim hattının empedansı;

$\underline{Z} = R+jX$ ve admitansı $\underline{Y} = G+jB$ ise Z_o karakteristik empedansı ifadesi ;

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

Uzun iletim hatlarında direnç, endüktansın yanında ihmal edilebilir. O halde ;

$$Z_o = \sqrt{\frac{L_o}{C_o}} \quad (2.2)$$

Bu ifadeye 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;

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

Burada kullanılan "U" fazlar arası gerilimdir.

$R = Z_0$ olduğu düşünülürse, iletilen güç ;

$$P_m = \frac{U^2}{Z_0} \quad (2.4)$$

Z_0 , sabit olmamakla beraber ortalama olarak 375 Ω alınabilir.

Buna göre çeşitli hat gerilimlerine göre hesap edilmiş karakteristik güçler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

<u>Fazlararası Gerilim (kV)</u>	<u>Karakteristik Güç (MW)</u>
15	0.6
30	2.4
60	9.6
100	27
150	60
200	110
300	240
400	430

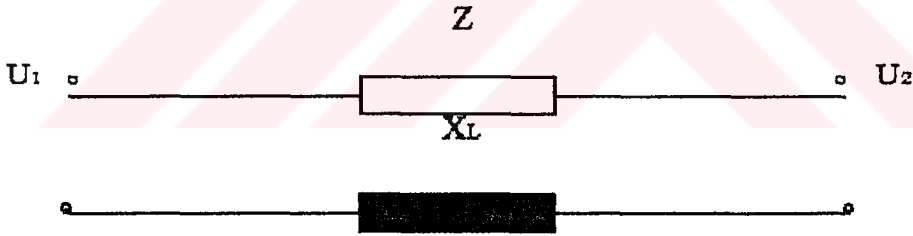
Tablo (2.1)

Bu tabloya göre alternatif akımla büyük çapta enerji iletimi gelecek için pek umut verici değildir. Hakikaten, 200 kV'luk bir gerilimde karakteristik güç 110 MW'tır. Paralel devre kullanılırsa bu güç 220 MW'ta çıkar ki bu gerilim değeri için bu okadar büyük güç değildir. Güç formülünde gücü arttırmak amacıyla ya U gerilim değeri artırılır ya da Z_0 karakteristik empedansı azaltılır.

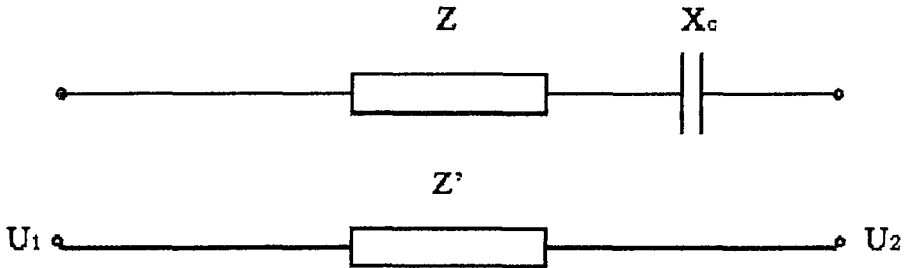
Korona olayı sebebiyle gerilimi bir dereceye kadar artırılabilir. Yine uzun iletim hatlarında gerilimin artırılması bazı sorunlar çıkarabilir. Kurulu sistemde gerilim bir değerden sonra sabit kalır. Fakat tüketici talebi üzerine iletim mesafesi artırılabilir. Bu durumda iletim mesafesi artırıldığında ters orantılı olarak güç azalır.

Gerilimin artırılmadığı bazı durumlarda empedansı düşürme yoluna gidilir. Böylelikle güç artırımına gidilir.

Empedansı değiştirirken hat izolasyonunu değiştirmeye gerek yoktur. Hattın endüktansını küçültmek zor olduğundan kapasiteyi artırarak Z_0 empedansı küçültülüp güç artırılabilir.



Şekil - 2.1. Direnci ihmal edilmiş kapasitesiz hattın empedansı



Şekil - 2.2. Direnci ihmal edilmiş kapasiteli hattın empedansı

$Z = R + jX_L \cong jX_L$ ise $Z' = j(X_L - X_C)$ olur. Dolayısıyla

$$Z' < Z \quad \text{olur.}$$

Yine Z_0 değerini azaltmanın bir başka yolu demet iletken kullanılmasıdır. Bu durumda toplam kesit sabit ancak iletken çapı artacağından iletken kapasitesi de artar.

--- Kullanılacak En Büyük Gerilim :

Sinüsoidal alternatif akımda dalganın tepe değeri efektif değerinin $\sqrt{2}$ katıdır. Doğru akımla karşılaştırılırken bu nokta dikkate alınmalıdır. O zaman aynı iletken aralığında ve aynı izolasyonda, doğru akımda toprağa göre izin verilebilecek maximum gerilim, alternatif akımındakinden $\sqrt{2}$ kat daha büyük olabilir. Alternatif akımda bilindiği üzere, selfin etkisi dirençten daha fazladır. Bundan dolayı oluşan gerilim düşümünün büyük bölümü hattın endüktif reaktansından dolayı açığa çıkar. Oysa ki doğru akım sisteminde hattın endüktansı söz konusu değildir.

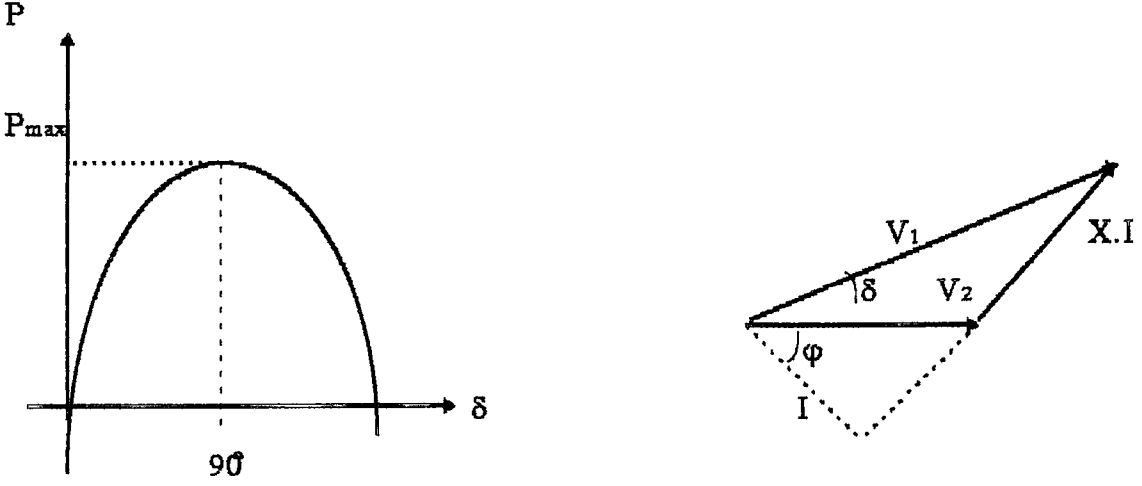
--- Stabilite Sorunu :

Stabilite en genelde, bir sistemin sürekli yük altında senkronizasyonunu koruma ve bir yük salınımının hemen ardından senkronluğunu kazanabilmesidir. Direnç ihmal edilirse ;

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

V_1 ve V_2 : Hat başı ve sonu faz arası gerilimleri

X_L : Hattın reaktansı



Şekil - 2.3. Güç grafiği ve fazör diyagramı.

Gerilim düşümü ihmal edilecek olursa ;

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

Sistemin kararlı halde iletilebileceği en büyük güç $\delta = 90^\circ$ içindir ki $\sin 90^\circ = 1$ dir.

Fakat pratikte geçici rejimide göz önüne 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.

--- Alternatif Akım İle İletimde Verimli Güç Akışı İlave Düzenler :

(Mesela; bobinler, faz kaydırıcıları, kondansatörler...) ile sağlanabilmektedir. Bu da, hattın uzunluğunun artması halinde gerekmektedir. Hat uzunluğunun artması masrafı arttırdığından alternatif akım iletim hattı ile yapılan iletim, doğru akım hattına göre yapılan iletimden daha masraflıdır. Alternatif akım ile birlikte uzunluğun artmasıyla gerilim ve akımların

dengelenmesi için gereken döndürme tekniği doğru akım ile iletim sisteminde gerekmemektedir.

2.2. Alternatif Akımın Üstünlükleri :

--- Kesme İşlemi Kolaydır :

Akım bir periyot boyunca iki defa sıfır noktasından geçtiğinden bu anlarda devreyi açmak, çeşitli döndürme düzenleri yardımıyla kolaydır.

--- Birim Tesis Masrafı Bakımından Doğru Akıma Nazaran Ucuzdur :

Alternatif akım sisteminde filtre düzenleri yer almadığından tesis masrafı düşüktür.

--- Transformatörlerden Yararlanılabilir :

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

2.3. Doğru Akımın Üstünlükleri :

--- İletken Malzemesi Bakımından :

Doğru akım sisteminde enerji iletimi aynı şartlar altında alternatif akıma göre daha az malzeme kullanımı ile gerçekleştirilebilir. Efektif faz gerilimi $U_m / \sqrt{2}$ ise, iletilen toplam güç ;

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

Doğru akımdaki güç için kıyaslama bakımından eşit olma durumundan hareketle;

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

$$I_a = \frac{\sqrt{2} \cdot I}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi} \quad (2.9)$$

Yazılabilir. O halde alternatif akımdaki iletim kayıpları;

$$3 \cdot R_a \cdot I_a^2 = \frac{2 \cdot R_a \cdot I^2}{\cos^2 \varphi} \quad (2.10)$$

Doğru akımdaki kayıpların eşit olması şartından;

$$2 \cdot R \cdot I^2 = \frac{2 \cdot R_a \cdot I^2}{\cos^2 \varphi} \quad (2.11)$$

$$R_a = R \cdot \cos^2 \varphi \quad (2.12)$$

Buna göre, 3 fazlı alternatif akımda gerekli iletken malzeme miktarının doğru akımda kullanılacak malzeme miktarına oranı;

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{1}{\cos^2 \varphi} = \frac{1,5}{\cos^2 \varphi} \quad (2.13)$$

Bu denklemlerde;

U_m : Fazarası alternatif gerilimin tepe değeri

I_a : Alternatif akımın efektif değeri

R_a : Alternatif akım direnci

R : Doğru akım direnci

I : Doğru akımın değeri

Bilindiği gibi çok fazlı çok alternatif akım sistemleri içinde en çok kullanılan 3 fazlı sistemdir. Diğer çok fazlı sistemler içinde benzer karşılaştırmayı yapmak mümkündür. Yine benzer prensip geçerli olduğundan aşağıdaki tabloda liste halinde verilmiştir.

Sistem	Gerekli Malzeme Miktarı
<u>Doğru akım</u>	<u>% 100</u>
Tek faz	$2 / \cos^2 \varphi$
İki faz - dört iletken	$2 / \cos^2 \varphi$
İki faz - üç iletken	$2,91 / \cos^2 \varphi$
Üç faz - üç iletken	$1,5 / \cos^2 \varphi$

Tablo (2.2)

--- Güç Faktörü 1' e Eşittir :

Güç faktörü, akım ve gerilim dalgaları arasındaki faz farkıdır. Alternatif akım sistemlerinde çeşitli tedbirler alınmak suretiyle güç faktörü 1' e yaklaştırılır. Bu güç faktörünü 1' e yaklaştırmak için kompanzasyon tesislerine ihtiyaç vardır. Bu da beraberinde ek işletme, tesis ve bakım sorunları getirir. Oysa ki doğru akım sistemlerinde güç faktörü düzeltilmesi diye bir sorun yoktur. Üretilen gücün tamamı aktif güç olmaktadır. Alternatif akımda ise güç faktörü 1'den küçük olduğu için aktif güç azalır.

--- Frekansları farklı iki alternatif akım sistemi birbirine ancak doğru akım iletim ile ekonomik ve güvenilir bir şekilde bağlanabilir, iki taraflı olarak kontrol edilebilir. Asenkron bağ adı verilen bu sistem günümüzde kullanılmaktadır.

--- Doğru akım enerji iletim hatları için, daha basit, daha küçük boyutlu ve hafif direk kullanımı mekanik açısından gerekmektedir. genellikle yüksek gerilim doğru akım sistemleri alternatif akım sistemlerine göre yaklaşık %25 daha az arazi şeridi kaplarlar.

--- İzolasyondan Yararlanma :

Hava hatlarında ve yer altı 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 tespit edilmiştir.

Ark atlaması bakımından belli bir aralıkta ark atlaması için gerekli olan gerilim doğru akımda alternatif akımın iki katıdır. Bu gibi denemeler alternatif akımına belli bir maximum 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 akım'a göre daha büyük bir gerilime dayanabildiğinden aynı çalışma geriliminde doğru akımdaki izolasyon kalınlığı daha incedir. Dolayısıyla aynı çalışma gerilimleri için doğru akım kabloları daha ucuz ve basittir.

Neticede, aynı kablo ile doğru akımda daha büyük bir enerji iletilebilir. Mesela; 137 kV'luk alternatif akımı iletmek üzere kurulan tek devreli kablolar doğru akımda faz arası 400 kV kullanılabilir.

--- Doğru akım enerji iletiminde, tristörlerin tetikleme açıları değiştirilerek iletilen gücün yönü ve büyüklüğü değiştirilebilir.

--- Doğru akım iletim sistemi için kullanılan çift kutuplu (bipolar) veya eş kutuplu (homopolar) iletim sistemlerinde iletkenin birinin arızalanması halinde güç iletimi diğer iletkenen veya toprak dönüşünden sağlanabilir.

Dengeli 3-fazlı alternatif akım sisteminde ise fazlardan birinde arıza olursa enerji iletimi tümüyle sağlanamamaktadır.

--- Korona Kayıpları Daha Azdır :

Korona kayıpları gerilimin maximum değerine bağlıdır. Bu sebeple, aynı gerilimde ve aynı iletken çapında alternatif sisteme göre daha az korona kaybı oluşur. Doğru akımda yapılacak enerji iletiminde aynı korona kayıplarında daha küçük iletken çaplarının kullanılması söz konusudur.

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

--- Alternatif akım iletim sisteminde maliyetin büyük kısmı iletkenler üzerinde iletkenler üzerinde olmaktadır.

Doğru akımla enerji iletiminde havai hatlarla veya denizaltı kablosu ile yapılan iletim, reaktif güç akışının ve kabuk etkisinin olmaması nedeniyle daha ekonomik olmaktadır. Aynı iletim kapasitesine sahip iki sistem için doğru akım sistemi, alternatif akım sisteminden yaklaşık %32 daha ekonomik mal olmaktadır. Kullanılacak izolatör ve hırdavat malzemelerinde de ortalama olarak aynı oran korunur. Enerji iletim yoğunluğu alternatif akım sisteminde yaklaşık 4 kat daha fazladır.

--- Doğru akım iletim hatlarında bir kısa devre arızası halinde geçen akım yüksek hızlı kontrol sayesinde küçük değerde sınırlandırılabilir. Böylece doğru akım sistemi, alternatif akım sistemi tarafından beslenen kısa devre akımlarının ihmal edilir seviyelere indirilmesine yardımcı olur.

--- Skin Effect (Deri) Olayı :

Doğru akım hatlarında deri olayı söz konusu değildir. Doğru ile alternatif akımdaki direnç farklılığı :

Alternatif ve doğru akım sistemlerinde iletkenlerin gösterdikleri dirençler birbirinden farklıdır. Bir iletkenin boyu l (mt), kesiti q (mm^2), özgül direnci ρ ($\text{ohm}/\text{mm}^2 \text{ m}$) ise doğru akıma karşı gösterdiği direnç ;

$$R = \frac{l}{q} \cdot \rho \quad (2.14)$$

R : Doğru akım direnci

l : Kullanılacak iletkenin boyu olup, hava hatlarının iletkenleri damarlı olacağından ve damarlar spiralleştirildiğinden akımın damarlar boyunca izleyeceği yol, fiziksel elektriği uzunluktan biraz fazla olacağından bu boy artışını 1,02 çarpanı ile gösterelim.

q : İletkenin kesitidir. Tek metalli iletkenlerde gerçek kesit, iki metalli iletkenlerde alüminyum kesitidir. (mm^2)

Alternatif akımda deri olayı sebebiyle iletkenin her noktasından aynı şiddette akım akmaz. yani akım yoğunluğu sabit değildir. İletkenin merkezi civarında akım yoğunluğu az iken, dış yüzeylere doğru artar. Frekansın artmasıyla dirençteki deri olayı daha da etkin olur. Deri olayı ile ilgili pek çok bağıntı vardır. Ancak pratik sonuç veren Arnold bağıntısı ;

R_d : Doğru akım direnci (ohm / cm)

R_a : Alternatif akım direnci (ohm / cm)

Buna göre bir "X" faktörü tanımlayalım.

$$X = \frac{4}{\sqrt{Rd \cdot 10^9}} \quad (2.15)$$

$X : 0 \sim 3$ arasında ise ;

$$Ra = Rd \cdot \left[\frac{\left(1 + \frac{X^4}{4^8}\right) + 1}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{ohm / cm}) \quad (2.16)$$

$X > 3$ ise ;

$$Ra = Rd \cdot \left[\frac{X}{2\sqrt{2}} + 0,26 \right] \quad (\text{ohm / cm}) \quad (2.17)$$

Alternatif iletkenin alternatif akım direnci, parantez içerisindeki değer kadar olacaktır. Direncin artması gerilim düşümü ve güç kaybı açısından istenmeyen bir durumdur. Hava hatları ve yer altı kabloları (km.) uzunluk için tanımlandıklarında Ra direncini (ohm / km) birbirine çevirirsek 100.000. ile çarpacağız.

--- Doğru akım iletim sisteminde aynı uzaklık ve aynı verim değeri için daha düşük gerilim ile iletim yapılabilir. Mesela ; 200 km.'lik bir hatta, hat veriminin %80 olması durumunda doğru akım enerji iletimi hattında $U = 24,3$ kV gerilim lazım iken alternatif akım enerji iletim hattında $U = 43$ kV'luk bir gerilime ihtiyaç vardır. Alternatif akım sisteminde izolasyon malzemesi, hem daha yüksek gerilim hem de gerilimin maximum değeri ile zorlandığında daha fazla izolasyon malzemesi kullanımı ihtiyacı doğar.

--- Stabilite Problemi Yoktur :

Doğru akım sisteminde stabilite sorunu yoktur. Alternatif akım-

da ise stabilite sınırını artırmak için muhtelif yollar vardır. Fakat bunu gerçeklemek için ek donanıma gerek vardır. Makinaların senkronluklarını koruyabilmeleri ve dolayısıyla stabilitenin korunabilmesi için gerilim mümkün merteye sabit kalmalıdır. Bunun için değişen yük altında sistemin gerilimini gayet çabuk ve hassas bir şekilde ayarlayan otomatik gerilim regülatörleri kullanılır.

Kısa devreler gerilimin düşmesine ve dolayısıyla stabilitenin kaybolmasına sebep olabilir. Bunun için açma zamanları çok kısa olan ve seçici bir biçimde otomatik şalter düzeni kullanılır.

Çok gözlü ve karmaşık devrelerde kısa devre, kapasitesi de artmış anlamına gelmektedir. Bu tür sistemlerde stabilitenin hızla sağlanması için devreyi basite indirgemek gerekir. O zaman, alternatif akım sisteminde stabilite ek donanım veya ek önlemler sayesinde sağlanmaktadır. Bu noktada çalışmaya ekonomik, teknik ve işletme sorunları girmektedir. Oysa doğru akımla iletimde stabilite sorunu olmadığından böyle durumlarla karşılaşılmaz.

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

--- Şarj Akımları Yoktur :

Bazı iletim şebekelerinde havai hat çekilmesinin bazı sakıncaları vardır. Mesela, bölgenin sürekli kötü hava şartları altında bulunması nedeniyle, sürekli korona kayıpları ve büyük rüzgar veya buz yükü, iletim güzergahı boyunca hava hattı çekilmesine engel olabilecek bir takım jeolojik ve bölgesel etkenler, büyük deşarjlar sebebiyle mütemadiyen haberleşme parazitleri, güvenlik gerekçeleri vs... Bu durumda iletimin yer altı kablosu ile

yapılması icap eder. Fakat alternatif akımda görülen şarj akımları nedeniyle yer altı kablosu kullanma olanağı sınırlanmaktadır. İletken ile toprak arasında yalıtkan bir tabaka bulunduğundan arada bir kapasite oluşur. Toprak kapasitesi;

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.18)$$

Q : İletkendeki elektrik yükü

V : Faz ile toprak arasındaki gerilim

C : Toprak kapasitesi

İletkenden toprağa akacak şarj akımı ;

$$I_{\text{şarj}} = C \cdot w \cdot V \quad (2.19)$$

Ayrıca ısınmada önemli bir sorun oluşturmaktadır. Büyük güçlerin iletiminde izolasyon seviyesinin çok iyi olması gerekir. Doğru akımla yer altı kablosu üzerinden iletim yaparken kazancımızın en önemli yanı, toprak seviyesinden itibaren iletkeni daha küçük bir derinliğe döşeme olanağının bulunmasıdır. Konu ile ilgili bir örnek verilecek olursa ; 275 kV - 1935 mm² ' lik 6 adet alternatif akım kablosu iki devre halinde çekildiğinde toplam iletim gücü 1500 MVA dır. Bu şekilde iletkenler toprak yüzeyinden 5,2 m. derinliğe döşenmiştir. Her iki sistemin döşendiği toprak yüzeyleri aynı özellikleri taşınmakta ve özgül toprak direnci 120° C · cm / W alınır.

--- Dielektrik Histeresiz Kayıpları Yoktur :

Alternatif akım sistemlerinde dielektrik histeresiz kayıpları vardır. Bu sistemler için kablo iletiminde katı izolasyon malzemeleri kullanılır.

Katı yalıtkan maddelerde dipol ve histeresiz kayıpları mühim bir yer tutarlar. Dipol kaybı madde içerisindeki dipollerin elektrik alanı doğrultusuna yönelmeleri esnasında moleküllerin birbirine sürtünmelerinden ileri gelir. Bu kayıp büyük ölçüde maddenin dielektrik sabitesine ve iletkenlikleri farklı olan parçacıklardan oluşmasından dolayı açığa çıkar.

Bir yalıtkan maddenin dielektrik sabitleri ϵ_1 ve ϵ_2 , özgül iletkenliklerinin ρ_1 ve ρ_2 olan iki tabakadan oluştuğunu kabul edelim.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \quad (2.20)$$

$$J_1 = \epsilon_1 \cdot E_1 \quad , \quad J_2 = \epsilon_2 \cdot E_2 \quad (2.21)$$

İki tabakanın akım yoğunlukları aynı olabilmesi için ;

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{E_1}{E_2} \quad (2.22)$$

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

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

--- Dönüş iletkeni olarak toprak veya denizden yararlanabilir. Doğru akımda toprak veya denizin dönüş iletkeni olarak kullanılması mümkündür. Böylece iletken adedinden tasarruf ve bu nedenle kayıpların tek bir hatta meydana gelmesi ve iletken malzemesinin azalması ile ekonomik tasarrufa gidilmiş olur. Çift iletken yerine tek iletken kullanılması aynı akım değeri için $\pm U / 2$ yerine U gerilimi kullanılması, izolasyon açısından ekonomik olmayacaktır. terminal istasyonlarında toprak dönüşünün kullanılmaması transformatör sarımlarının ve izolatörlerinin yalıtılmasını zorunlu kılar.

Hat geriliminin 2 katına çıkarılması durumunda teknolojik açıdan bazı sınır değerlerin aşılmaması gerekir. Fakat bu yine de 2 iletken kullanmaktan daha ucuzdur.

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

--- Güç faktörünün bir olduğunu kabul ettiğimize göre doğru akımda reaktif güç söz konusu değildir.

--- Doğru akımın depolanma özelliği vardır. Bu işlem akülerle yapılmaktadır. Santrallerin iç ihtiyaç gücünde ve enerjinin ani kesintisi halinde önemli merkezlerin beslenmesinde kullanılabilirler.

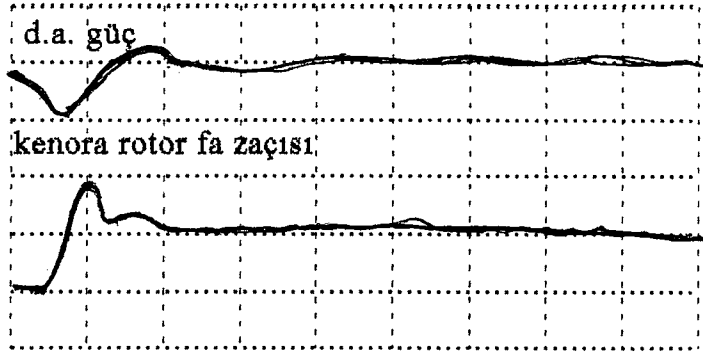
--- Enerji Akışının Kontrol Özellikleri ;

Alternatif akım sistemlerinde enerji ayarlanması makinaların hareketine bağlıdır ve işin içine bazı mekanik zaman sabitleri de girmektedir. Bütün alternatif akım bağlantılarında şebekeler arasında elâstik bir elektromekanik kuplajın gerçekleşmesi enterkonnekte bağlı hattaki enerji akışı 2 uç noktadaki gerilim farkına bağlıdır ve ızgara kumandası ile gerilim ayarlaması çok hızlıdır.

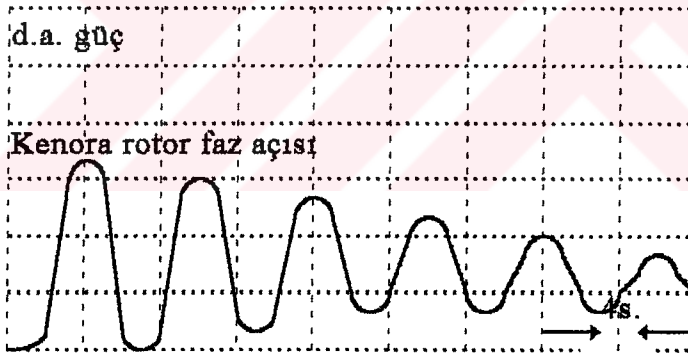
İzole bir üretim merkezinde beslenen bir doğru akım bağlantısı için frekans değişimine göre enerji modülasyonu, normal olarak büyük bir alternatif akım sisteminin sağlayacağı sönüm etkisini sağlar. Bu tip kontrol mekanik ayar düzenlerinde aşınma ve eskimelerini önemli derecede azaltmaktadır. Büyük alternatif akım sistemlerindeki düzensizlikler generatör faz açısında tipik olarak 1 Hz'lik salınımlar oluşturmaktadır. Doğru akım sistemleri enerji modülasyon sinyalleri ile donatılabilir ve böylelikle rotor

salınımları sönümlendirilebilir. Doğru akım sisteminin hızlı cevap vermesi önemli bir sönüm etkisi oluşturulur.

Aşağıdaki şekilde böyle bir sönüm, Nelson River sisteminde paralel üretimin kesilmesini örnek olarak ekisini göstermektedir.



a) Doğru akım sönüm kontrolü ile,



b) Doğru akım sönüm kontrolü olmaksızın,

Şekil - 2.4.

--- İşletme Açısından Güvencelidir ;

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

Herhangi bir biçimde enerjinin kesilmesi halinde üretimde büyük açık doğabilir. Bir endüstri işletmesinde iletilemeyen enerjinin maliyeti, iletelen enerjinin m katı olabilir. Üretilen ürünün önem ve değeri doğrultusunda

m değeri, 1 ~ 100 arasında değişebilir. Enerjinin iletilmemesi 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 1MW'lik tüketicinin yol açtığı zarar, m=10 alınmak suretiyle;

$$K = 10(\text{TL/kwh}) \cdot 10 \cdot 24 \left(\frac{h}{\text{gün}} \right) \cdot 10^3 \text{ kw}$$

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

Burada iletilen enerjinin işletmeye maliyeti 10 TL/kwh alınmıştır. Bu basit hesap bize işletmenin zararını gözönüne serip fikir vermektedir.

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

2.4. Doğru Akım İletim Sistemindeki Zorluklar :

--- Doğru akımda periyod boyunca dalga, alternatif akımda olduğu gibi iki kez sıfırdan geçmediği için devre kesicileri için çok büyük güçlükler doğar. Çünkü alternatif akımda akım sıfır noktasından geçerken ark'ı söndürmek oldukça kolaydır ki alternatif akımkesicileri bu mantık üzerinde imal edilmişlerdir. Oysa doğru akım söz konusu olduğunda periyodik anlamda sıfırdan geçiş olmadığından devre kesicileri için çok büyük güçlükler doğar. Özel söndürme düzenli kesiciler veya çevirici valflere uygun kumanda yardımıyla devre açılabilir.

--- Alternatif akım enerji iletim sisteminde ise, talep edilen gücün artması durumunda şebekenin, güç iletimi için dallanması ve koruma sistemi kolaylıkla yapılabilir.

Doğru akım iletim sisteminde ise, böyle bir ek bağlantı, güç akışının kontrolü, arızanın fark edilmesi, koruyucu aletlerdeki yetersizlikler sebebiyle oldukça zordur.

Genellikle iki uçlu sistemler kullanılmakta olup, kontrolü ve koruma sistemi daha karmaşık olan çok terminalli sistemlerin üzerinde araştırmalar yapılmaktadır.

--- Doğru akım hatlarının yaratabileceği fikir edilen bazı sağlık sorunları. Yüksek gerilimle doğru akım hatları civarında elektrik alan şiddetleri benzer YGDA hatları civarındakilerden daha büyüktür. Mesela; 500kV alternatif akım hatlarının altında toprak düzeyinde alan şiddeti 9 kV/mm iken bu 500 kV doğru akım hatlarının altında altında 30 kV/mm civarındadır.

Bir diğer husus doğru akım iletim hatları civarında elektrik alan şiddeti, havanın delinme geriliminden daha yüksektir ve bu hatların civarında iyonizasyon'a sebep olur. İyonlar rüzgarın tesiriyle 1 km.'den fazla uzaklaşabilirler.

Alternatif akım hatlarında ise periyodun artı ve eksi alternanslarında alanlar ters olduğundan iyonlar uzaklaşamaz.

--- Topraklanmış doğru akım iletim sistemleri topraklama yerinden itibaren 30 - 40 km. yarıçaplı bir daire içinde, yeraltı su boruları ve yeraltı kablolarında elektrolitik hasara neden olmaktadır. Topraklanmış doğru akım denizaltı kabloları ise denizci pusulasında hatalara sebep olmaktadır .

--- Maliyet Sorunu :

Doğru akımı alternatif akıma çeviren evirici, alternatif akımı doğru akıma çeviren doğrultucu istasyonlara ihtiyaç vardır. Son yıllarda gelişen güç elektroniği ve yarı iletken sanayii sayesinde bu sistemlerin maliyet miktarı azalmışsa da, yine de günümüzde bir hayli pahalıya mal olmaktadır.

--- Çeviricilerde oluşan harmonikler münasebetiyle dalga şekilleri ideal olma durumundan uzaklaşır. Burada sinüsoidal bileşenleri süzmek, sadece

doğru bileşeni geçirmek gerekir. Harmonikleri süzmek amacıyla filtre düzenlerinden istifade edilir. Yüksek gerilimler için bu filtrelerin yalıtımı zordur. Harmoniklerin tamamen süzölememesi sonucu ek kayıplar ve haberleşme şebekelerinde parazitler oluşur.

--- Yıllarca kurulu sistem olan alternatif akımda enerji iletimi konusunda (işletme, bakım, onarım vs. ...) deneyimli ve bilgili bir personel mevcuttur. Doğru akım konusunda personelin yeniden eğitilmesi veya personelin başka elemanlarla takviye edilmesi gerekir.

--- Çevirici sistemlerde oluşabilecek bir arıza tüm iletimi felce uğratabilir. Gerilim değiştirilmesi yalnızca alternatif akım tarafında transformatörler ile yapılabilir.

--- Çeviriciler için reaktif güç gerekir. Bu gücü karşılamak amacıyla ek tesise ihtiyaç vardır. Bu bakımdan gerek hat sonu reaktif yükünün ve gerekse eviricilerin çekmekte olduğu reaktif gücün karşılanması bakımından, hat sonunda oldukça büyük güçlerde senkron kompanzatlörlere ihtiyaç vardır. Mesela; hat sonu yükünün kW gerek gösterdiği reaktif güç 0,5 kVAr iken, eviriciler için ayrıca 0,5....0,8 kVAr'a kadar ihtiyaç vardır. Eviriciler için gerekli güç iletilen toplam gücün %50.....%75'i olduğu düşünölrse gerçekten büyük kompanzasyon tesisleri gerekir.

Uzun iletim hatlarında reaktif güç bakımından doğru ve alternatif akım sistemleri arasında çok büyük 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.

3. BÖLÜM :

DOĞRU AKIM İLE ENERJİ İLETİMİNİN ANALİZİ :

3.1. Genel :

YGDA ile enerji iletimi havai hat veya kablo düzeninin iki tarafında çevirici ve çevirici uçlarında trafoların bulunmasıyla kurulan düzenektir. Santral çıkışında transformatör ve onu takiben alternatif akımı doğru akıma çeviren doğrultucular, doğrultucu çıkışında iletim hattı doğru akım taşır. İletim hattı sonunda evirici istasyonu bulunur ki bu, doğru akımı alternatif akıma dönüştürerek trafoya intikal ettirir. Trafo gerilim değerini indirgeyip enerji alıcıya verilir. Bu prensip bağlantısında dikkat edilecek husus santral çıkışında kullanılan transformatörün yükseltici transformatör ve yine hattın sonunda yani evirici istasyonu çıkışında kullanılan transformatörün indiricci transformatör olduğuna dikkat edilmelidir. Sebebi santrallarda büyük değerlerde gerilim üretilememesi nedeniyle sabit güçte akımın büyük değerde olması ki bu durum iletim hattının kesitini artırır. Bu da istenmeyen bir durumdur.

Doğru akım iletim şekilleri üç temel modelde tarif edilir. Bunlar :

- _ Tek kutuplu (Monopolar) iletim
- _ Çift kutuplu (Bipolar) iletim
- _ Çok kutuplu (Homopolar) iletim

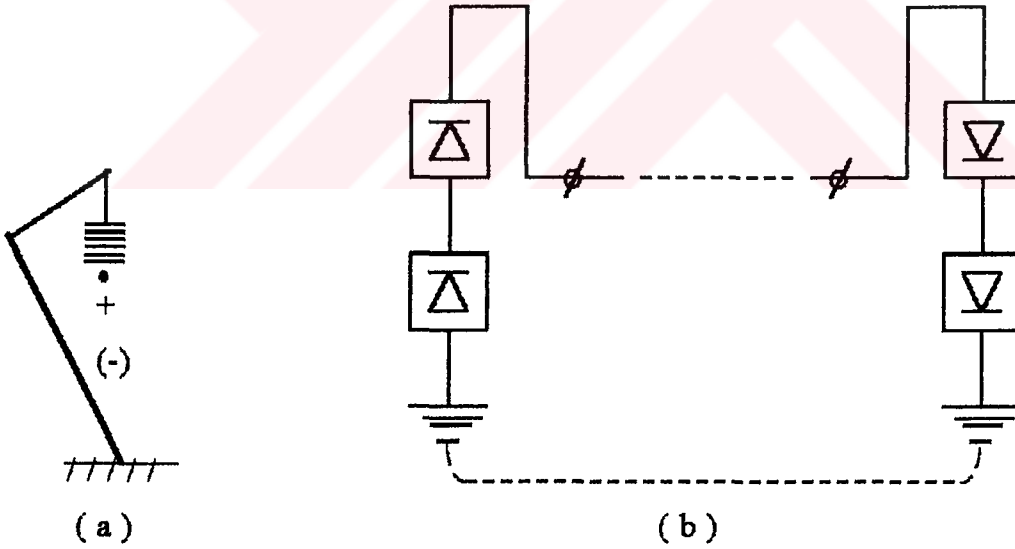
Akla neden bu kadar iletim modeli vardır sorusu gelebilir. Bu bir anlamda gelişen teknolojik ifadelerle paralel olarak artan tüketim ihtiyacı ve güvenilirlik olarak söylenebilir. Sistemin oldukça basit bir yapıda olması ekonomik olarak mümkün olabilir. Ancak böyle bir sistemin çalışmadan öte güvenilirliği ortadan kalkabilir. İletimin çıkmaza girmemesi bakımından bazı önlemler ve analizler yapılmalıdır. Örneğin; çift iletkenli bir sistemde hat veya çeviricilerin herhangi birinde oluşan bir arıza sonucu iletim çıkmaza girebilir. Ancak böyle bir sistemde tesis masrafı cüzdür. Eğer sistem dönüşünde iletken olarak toprak kullanılacak ise iletim güzergahı boyunca toprak çok iyi bir

iletken olmalıdır. Başka bir ifade ile güzergah boyunca aynı yapıda olmalıdır. Bazı durumlarda dönüş yolu için de iletken çekilebilir. Bunun sebebi; hatların birinin arıza vermesi durumunda dönüş iletkeni faz olarak kullanılabilir. Bu da yararlı bir özelliktir. Bu özelliğin bir handikapı; ek tesis, güç kaybı ve gerilim düşümünü artırıcı olmasıdır.

Doğru akım iletiminde dönüş toprak üzerinden yapılırsa her iletken bu toprak dönüşü ile ayrı bir elektrik devresi oluşturacak şekilde ayrı ayrı izolasyonu temin edilir.

3.2. Tek Kutuplu Düzen :

Şekilde görüldüğü üzere (şekil 3.1.) sadece bir tane kutup ve sürekli kullanılan bir toprak dönüşü iletkeninden oluşmaktadır. diğer iletim tipleri ile kıyaslandığında nispeten daha küçük güçlerin iletiminde veya kablo ile enerji intikalinde kullanılır.

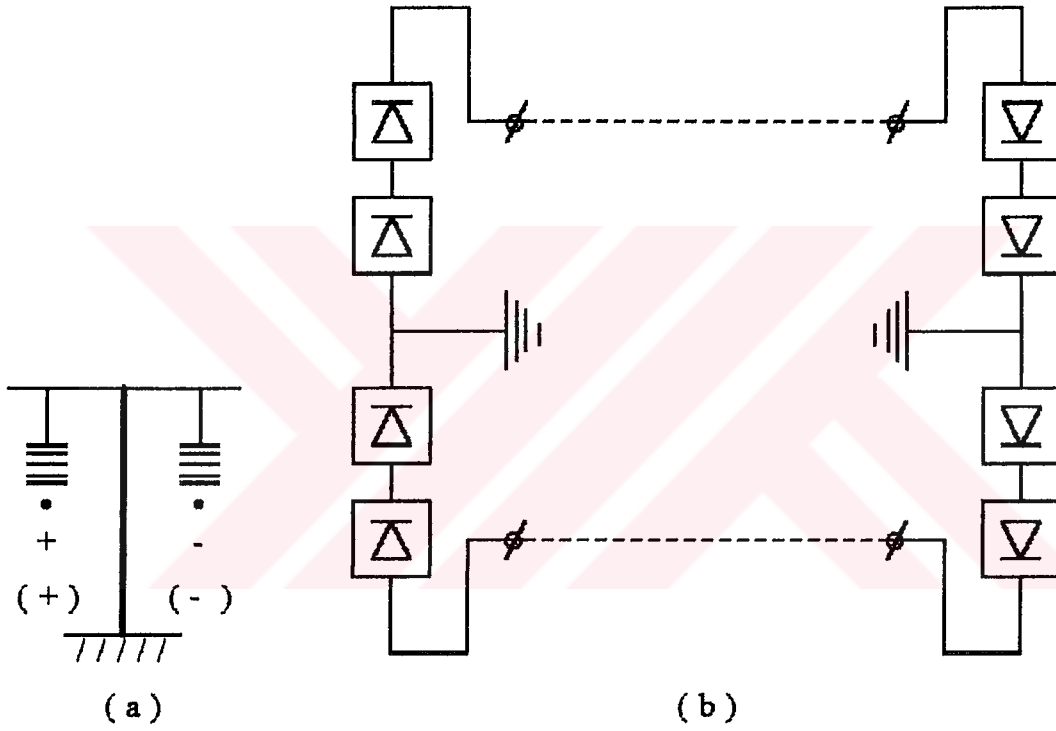


Şekil - 3.1. Tek kutuplu iletim modeli

- a) Direğe yerleştirilmesi
- b) Tek kutuplu şeması

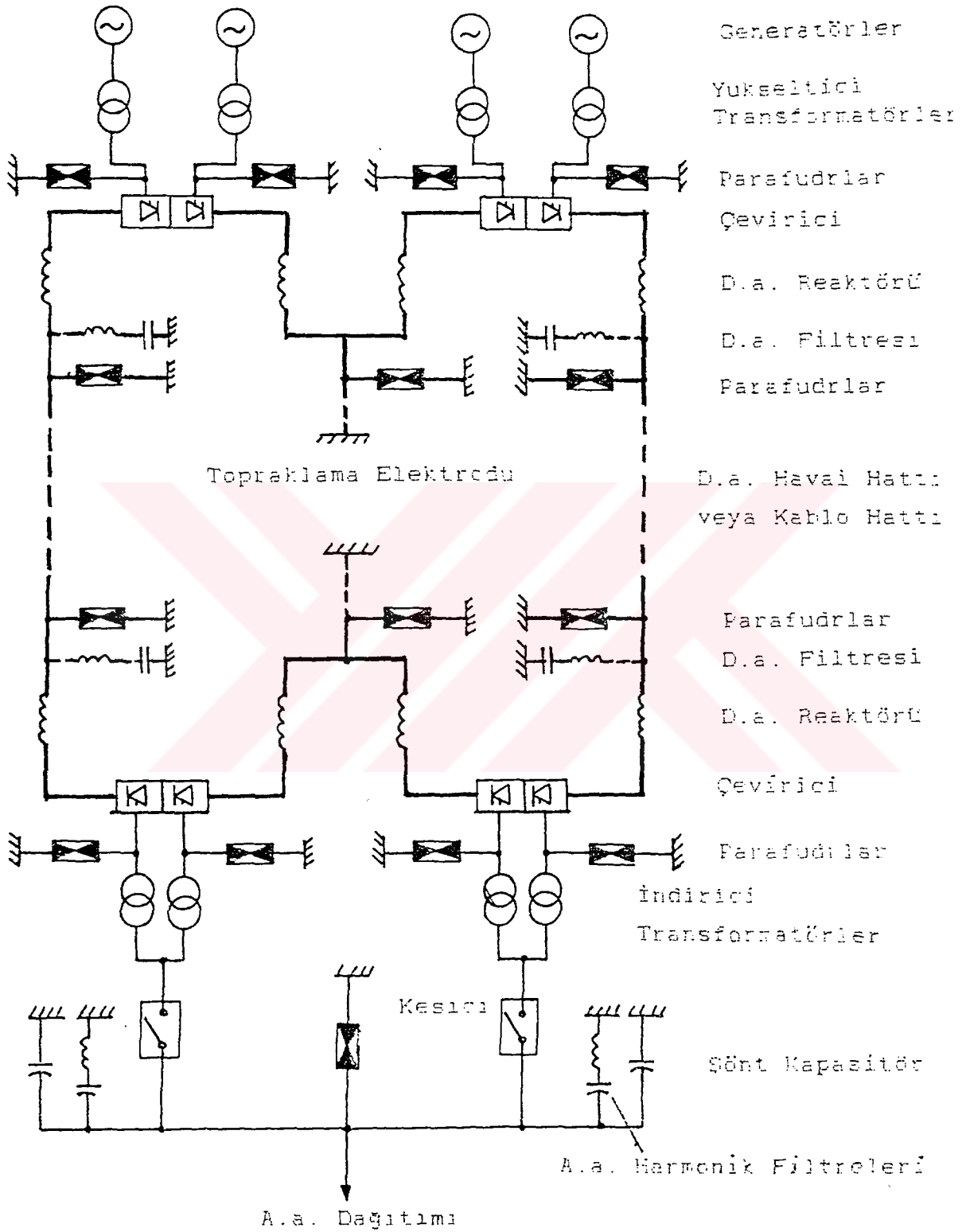
3.3. Çift Kutuplu İletim :

Mekanik bakımdan en uygun iletim modelidir. Birbirinden yalıtılmış 2 iletken taşımaktadır. Çift kutuplu iletimde toprak dönüş iletkenine ihtiyaç yoktur. Herhangi bir kutbun toprak hatası halinde yardımcı (2.) iletken toprak dönüşü olarak kullanılabilir. Yine de hazırda bulundurma, kapasitesini artırır.



Şekil - 3.2. Çift kutuplu iletimin modeli

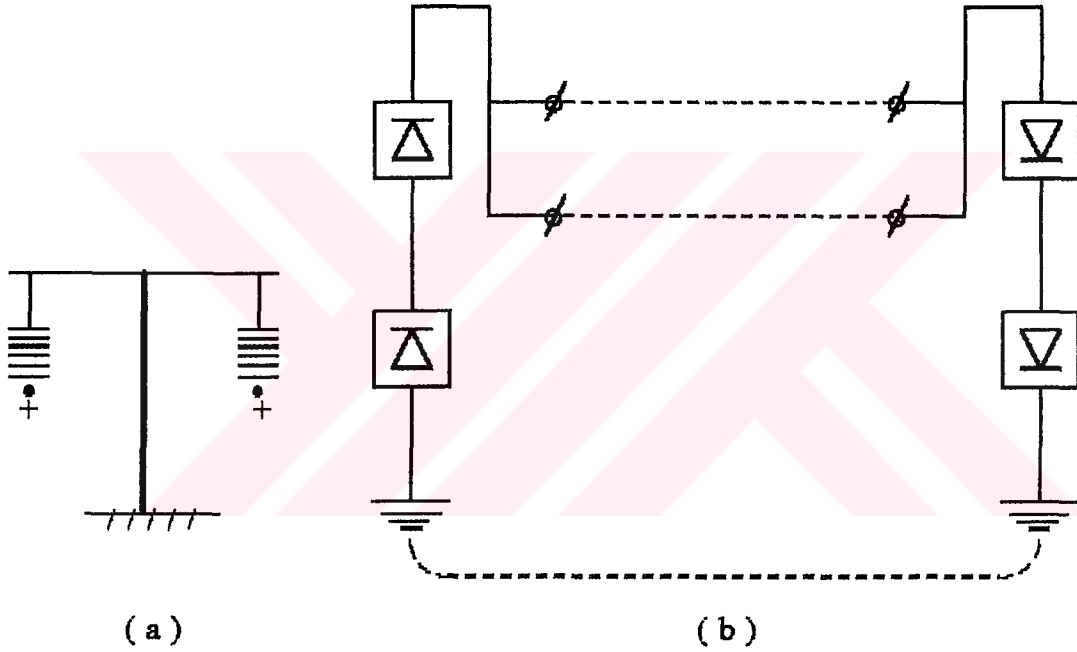
- a) Direğe yerleştirilmesi
- b) Kutup şeması



Şekil - 3.3. Çift kutuplu bir iletim hattının elemanları ve genel görünüşü

3.4. Çok Kutuplu İletimi :

Çift kutuplu direk dizaynı çok kutuplu iletimde aynı polaritedeki kutuplar içinde kullanılabilir. Bu iletim modelinde, korona kayıplarını azaltmak ve direk dizaynının uygunluğu bakımından aynı polariteli iki iletken kullanılır. Her direğin izolatör zincirleri ayrı polaritede iki ayrı iletken taşıdığından çok geniş bir havai iletim sistemi düşünölmelidir.



Şekil - 3.4. Çok kutuplu iletim modeli

- a) Direğe yerleştirilmesi
- b) Kutup şeması

3.5. Ekonomik (Optimum) Hat Geriliminin Tespiti

Optimum hat gerilimi, iletilen doğal güç, çevirici istasyon maliyetleri, hat maliyetleri referans alınarak tayin edilir. Alternatif akım ile doğru akım arasındaki gerilim tayini mukayesesi kısaca şöyle izah edilebilir.

Alternatif akım sistemlerinde iletim gücü (P), genellikle nominal güce tekabül eder. Karakteristik empedans alternatif akımda hesaba katılırken, doğru akım için uygun empedans kullanılır. Meydana gelen karakteristik empedansın ortalama büyüklüğü yerine sabit bir değer olarak $Z = 0,4 \text{ k}\Omega$ alınırsa güç ifadesi ;

$$P = C \cdot n \cdot \frac{U^2}{Z} \quad (3.1.)$$

C' nin değeri ;

$$C = 0,5 \cdot \frac{K_u}{K_p} \cdot \frac{Z}{\Delta U} \cdot \left(\frac{U_o^2}{U} \right) = 1,1 \quad \text{'dir.}$$

Burada;

n : Kutup sayısı

K_u : Birim gerilim başına izolasyon maliyeti (TL/kV · km · kutup)

K_p : Birim güç başına maliyeti (TL/KW)

U : Hat gerilimi (kV)

U_o : Referans gerilim (kV)

ΔU : Gerilim düşümü (V/km)

Z : Karakteristik empedans (Ω)

C'yi yaklaşık 1 olarak alırsak ekonomik güç hemen hemen doğal güce yaklaşırız. Buna göre güç;

$$P = 1 \cdot n \cdot \frac{U^2}{400} \quad (3.2)$$

$$\text{Tek kutuplu doğru akım hattı için} \quad U(\text{kV}) = 20 \cdot \sqrt{P} \text{ (MW)} \quad (3.3)$$

$$\text{İki kutuplu doğru akım hattı için} \quad U(\text{kV}) = 14 \cdot \sqrt{P} \text{ (MW)} \quad (3.4)$$

$$\text{Üç fazlı alternatif akım hattı için} \quad U(\text{kV}) = 11,54 \cdot \sqrt{P} \text{ (MW)} \quad (3.5)$$

Şeklinde ifade edilir. Buna göre YGDA' da ulaşılan gerilim ve taşınan güç değerleri aşağıdaki tabloda şöyledir;

Taşınan Güç (MW)	Gerilim Değeri (kV)(Bipolar)
205	200
460	300
820	400
1836	600
3265	800

Tablo - 3.1. Doğru akım ile enerji iletiminde gerilim ve güç değerleri ($Z = 0,4 \text{ k}\Omega$ için)

3.6. Ölçülendirme :

Havai iletim hatlarının ölçülendirilmesi herşeyden önce bir maliyet sorunudur. Farklı kesitlere farklı direklerin mukavemet bakımından dikilmesi, istimlak bedelleri, bakım, onarım bedelleri, vs.... Maliyetler belirlenecek olursa, bu maliyetlerin kutup sayısı ve kutup başına iletken kesiti ile orantılıdır.

Yine eğer kesit aynı kalırken, izolasyon özellikleri değiştirilirse sabit bir gerilim sınırına kadar izolasyon özellikleri daha önce bahsedildiği üzere toprağa göre nominal iletken gerilimi (U) ile ilintili ise iletim hattı uzunluğunun km. başına toplam maliyeti;

$$K_0 + n \cdot K_u \cdot U + n \cdot K_q \cdot q \quad (3.6.)$$

n : Kutup sayısı

K_u : Birim gerilim başına izolasyon maliyeti

U : Hat gerilimi

K_q : Birim kesit - birim uzunlukla ilgili maliyet

q : Kutup başına iletken kesiti

İletken olarak demet kullanıldığında q her kutup için toplam kesittir. Kq (TL/M · mm² · kutup) birim kesiti demetteki iletkenlerin sayısı ile nispeten daha az bir şekilde artmaktadır ve ihmal edilebilir. Hattın 1 km.'si için 1 yıl boyunca oluşan kayıplar ;

$$n \cdot \frac{(P/n \cdot U)^2 \cdot \rho}{q} \cdot T_p \quad (3.7)$$

P : Planlanan hat için nominal güç (kW)

T_p : Kayıpların oluştuğu zaman (sn.)

ρ : İletkenin özgül direnci ($\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{km}$)

Bu ifade kW.h başına birim fiyat ile çarpıldığında kayıpların yıllık maliyetini verir. 1 km. için kayıp maliyetleri;

$$K_p \cdot \frac{(P/U)^2 \cdot \rho}{n \cdot q} \quad (3.8.)$$

K_p : Birim güç başına maliyettir.

3.7. Aşırı Gerilim Koruma :

Aşırı gerilime karşı doğru akım hatlarındaki çeviricilerin korunması gayet tabii alternatif akımda olduğu gibi parafudrla gerçekleştirilmektedir.

3.7.1. Doğru Akımla İletim Hatlarında Kullanılan Parafudurlar :

Aşırı gerilime karşı kullanılan parafudrlar, doğru akımdaki ile alternatif akımda kullanılanlar dizayn bakımından aynı değildirler. Doğru akım parafudrları deşarj münasebetiyle oluşan osilasyonlara daha dayanabilirler ve

endüktif devreler için uygundur. Doğru akım parafudrları açıklıklara dağılan deşarj enerjilerini korurlar ve yayılan dalgaları temizleme kabiliyetleri fazladır. Piyasada kullanılanlar akım kontrollu olarak çalışırlar. Koruma karakteristiklerinin uzun süre dayanıklı olması sadece lineer olmayan dirençler arasındaki gerilime bağlıdır.

3.7.2. Topraklama Teli :

Hem alternatif akım ile enerji iletiminde hem de doğru akım ile enerji iletiminde topraklama ihtiyacı vardır. Fakat doğru akımda nispeten ihtiyacı daha azdır. Bunun nedeni arıza akımını sınırlandırmak ve bu yolla izolatörlerde oluşabilecek herhangi bir zararın riskini azaltmak için istasyonlarda koruma sistemi mevcuttur. O halde doğru akımla enerji iletimi söz konusu iken topraklama, havai hatlarında yıldırım darbelerinden iletken kutbunu korumak gayesiyle yapılabilir. Bu, hat koruma sistemleri bakımından önemlidir.

Doğru akım havai hatlarında istasyon koruması yıldırım etkisi neticesinde oluşan geçici - aşırı gerilimlere karşı hat uç noktalara kadar her 2,5 - 5km.'lik mesafede topraklanır. Bu şekilde hem hat sonu hem de hat başı koruması yapılır.

3.7.3. Hat Koruma Sistemleri :

Arıza akımlarını ve sürelerini azaltmak yoluyla izolatörlerin zarar görmesi engellenebilir. Bu sebeple akım karakteristikleri çok hızlı olmalı ve arıza akımlarını sınırlayarak nominal değere dönmelidir. Hat arızası bakımından topraklama direncinin hattın bir çok noktasında 100 civarında bir değerle sınırlandırılması gerekir. Direk topraklaması zayıf ise bir kaç direk enterkonnekte olarak bağlanmalıdır. Bu bağlantı hattın uzunluğunu sınırlandırdığından bütün hat boyunca topraklama yapmaya olanak sağlar.

3.8. Yalıtım :

YGDA projelendirmelerde tipik değerler aşırı gerilim için 1,5 - 1,7 p.u (per-unit) ve aşırı akım için 2p.u olarak alınmaktadır. Bu değerler doğru akım ile iletim hatlarındaki maliyeti düşürmektedir. Doğru akım hatlarında kirlilik bakımından alternatif akım hatlarına göre daha hassas olunması icap etmektedir. Atlama uzunluğu ise doğru akım hatları için daha uzundur. Tipik değer olarak 2,5 - 2,8 cm/kW bilinmektedir.

3.9. YGDA İletiminde Kablolar :

Alternatif akım sistemlerinde kullanılan kablolar doğru akım sistemlerinde tercih edilebilirler. Daha mükemmel bir izolasyona sahip olması ve kapasitif akımların olmaması münasebetiyle kablolarla iletim doğru akımda daha kolaydır. Tercih edilen 4 tip kablo vardır.

- Katı tip kablolar (kağıt yalıtkanlı) : En ekonomik olanıdır ve 300 kV'a kadar imal edilebilir. İletkene müsaade edilen sıcaklık 50°C dir. Bunun sebebi iletkenin yağ gücünü önlemektir.

- Yağlı tip kablolar : Dayanma gerilimi en yüksek kablo tipleridir. Yüksek basınç altında çalışırlar.

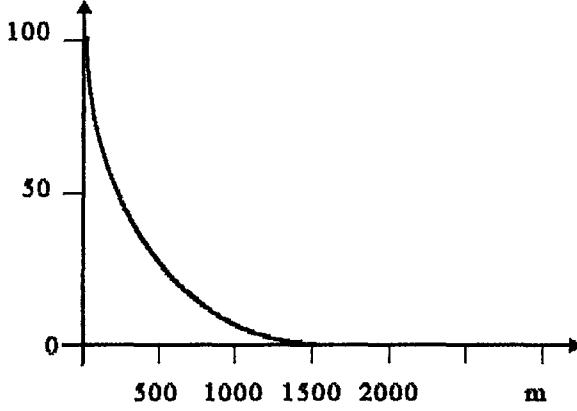
- Basınçlı gaz tipi kablolar : Bu kablo tipleri orta basınçta yağ yerine gaz kullanımı ile imal edilirler.

- Plastik yalıtkanlı kablo tipleri : Haddeden geçirilmiş plastik yalıtkanlı bu kablolar genelde alternatif iletim sistemlerinde 150 kV'a kadar kullanılmıştır. Bu kablo tipleri henüz YGDA sisteminde kullanım alanı bulmamıştır.

3.10. Toprak Dönüşüne Bakış :

- Genel Tanım : YGDA iletim hatlarında dönüş iletkeni olarak toprak dönüşü uygulanmaktadır. Çünkü kayıpları ve izolasyon maliyetleri

azaltan bir iletim sistemidir. Toprak dönüş iletkenindeki gerilim düşümü toprak veya deniz elektrotunkinden daha yoğundur.



Şekil - 3.5. Toprak dönüşü iletkeninde gerilim düşümü

- Toprak Elektrodu : Topraktaki nem oranı, toprağın elektriki ve termik direnmesini tayin eder. Topraktaki su miktarının yaklaşık olarak %15'ten az olması durumunda toprağın direnci 2 kat artar. Bu sebeple elektrodlar yeraltı suseviyesinin altına yerleştirilirler. Elektrod etrafındaki sıcaklık artışı takriben 75°C' nin biraz altındadır ve bunu tayin eden bağlantı ;

$$U = \sqrt{2} \cdot \delta_0 \cdot \lambda \rho \quad (3.9)$$

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

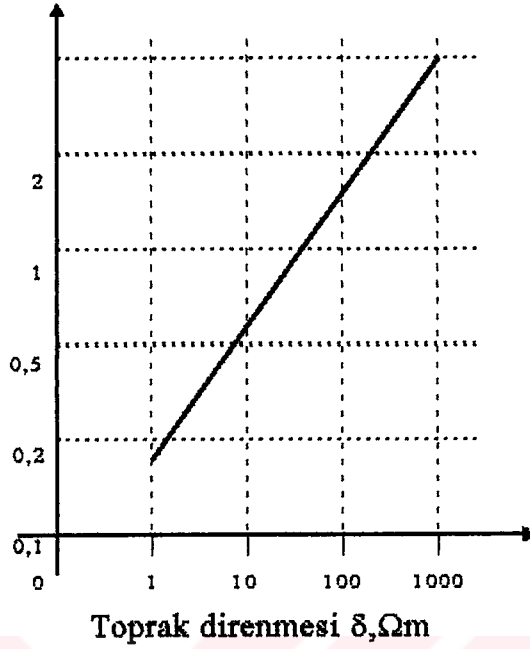
δ_0 : Elektrod yüzeyindeki sıcaklık artışı (°C)

λ : Toprağın termik iletkenliği (W/m°C)

ρ : Toprağın elektriki direnmesi (Ωm)

Genelde kullanılan elektrodlar kok kömüründen imal edilirler. Bu hattın merkezinde kullanılan grafit elektrodlar doğru akımı iletirler.

Düz elektrod derinliği 2m, $\lambda = 2 \text{ w/mc}^\circ$, $\delta_0 = 75^\circ\text{C}$ ve $r = 0,25$ m iken m/A başına gerilim düşümü şöyledir.



Şekil - 3.6. Toprak elektrodundaki gerilim düşümü

Kok kömürlü elektrodlar çoğu zaman 6 köşeli yıldız biçiminde imal edilirler.

Bu tip elektrodların direncini veren bağıntı şöyle ifade edilebilir.

$$R = \frac{P}{L \cdot \pi} \cdot \left(\ln \frac{2L}{a} + 1,43 \right) \quad (\Omega) \quad (3.10)$$

P : Toprak direnmesi (Ωm)

L : Toplam iletken uzunluğu (m)

a : $\sqrt{2}dr$ (m)

r : Kok tabakasının eşdeğer yarıçapı (m)

d : İletkenin derinliği (m)

Deniz Elektrodu : Mümkün durumlarda elektrod deniz ile irtibatlandırılabilir. En basit bakır iletkenden yapılmış negatif elektrodun deniz dibine yerleştirilmesidir. Kullanım alanına göre magnetit veya grafit elektrodlar kullanılırlar. Günümüzde deniz elektrodlarında düşük alan şiddetleri ve düşük

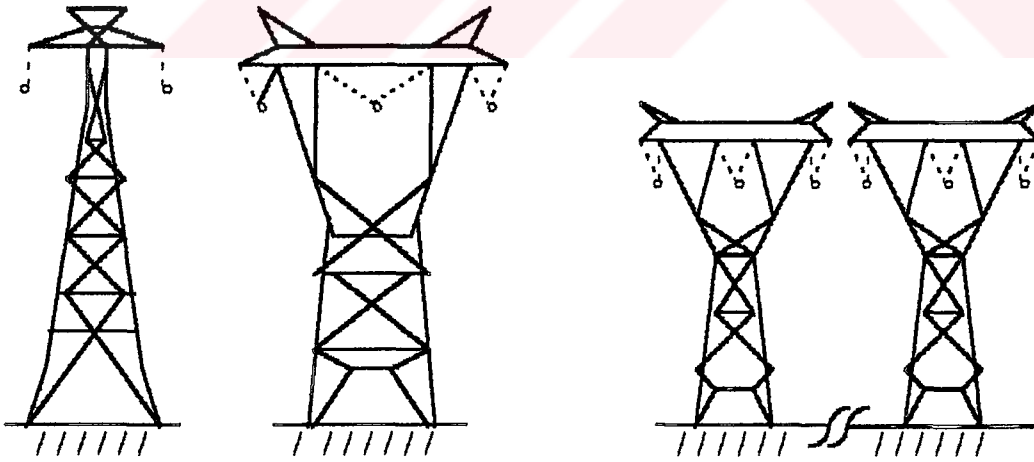
kaçak akım seviyeleri elde edilmiştir. Böyle bir sisteme ilave edilen toprak direnci sadece 0,01 - 0,02 Ω arasında bir değerdir.

Elektrod Hattı : Elektrodlar çevirici istasyondan en az 3 - 5 km. uzağa yerleştirilmelidir. İster havai hat olsun ister kablo olsun her iki durumda da istasyonlarda aşırı gerilim koruması olarak parafudrlar veya geçici kapasiteler ile koruma yapılır.

3.11. Direkler ve Toprak Hattı :

--- Direkler :

Direkler, (YGDA iletim hatlarında) daha az iletken kullanılması sebebiyle alternatif akım hatlarını taşıyan direklere nazaran daha hafif olup ince yapıdadırlar. Kıyaslama bakımından ortalama 2000 MW iletim kapasitesine haiz üç iletim tipi şöyledir ;



± 500 kV (D.a.)

Aralık 70 m.

765 kV (A.a.)

Aralık 88 m.

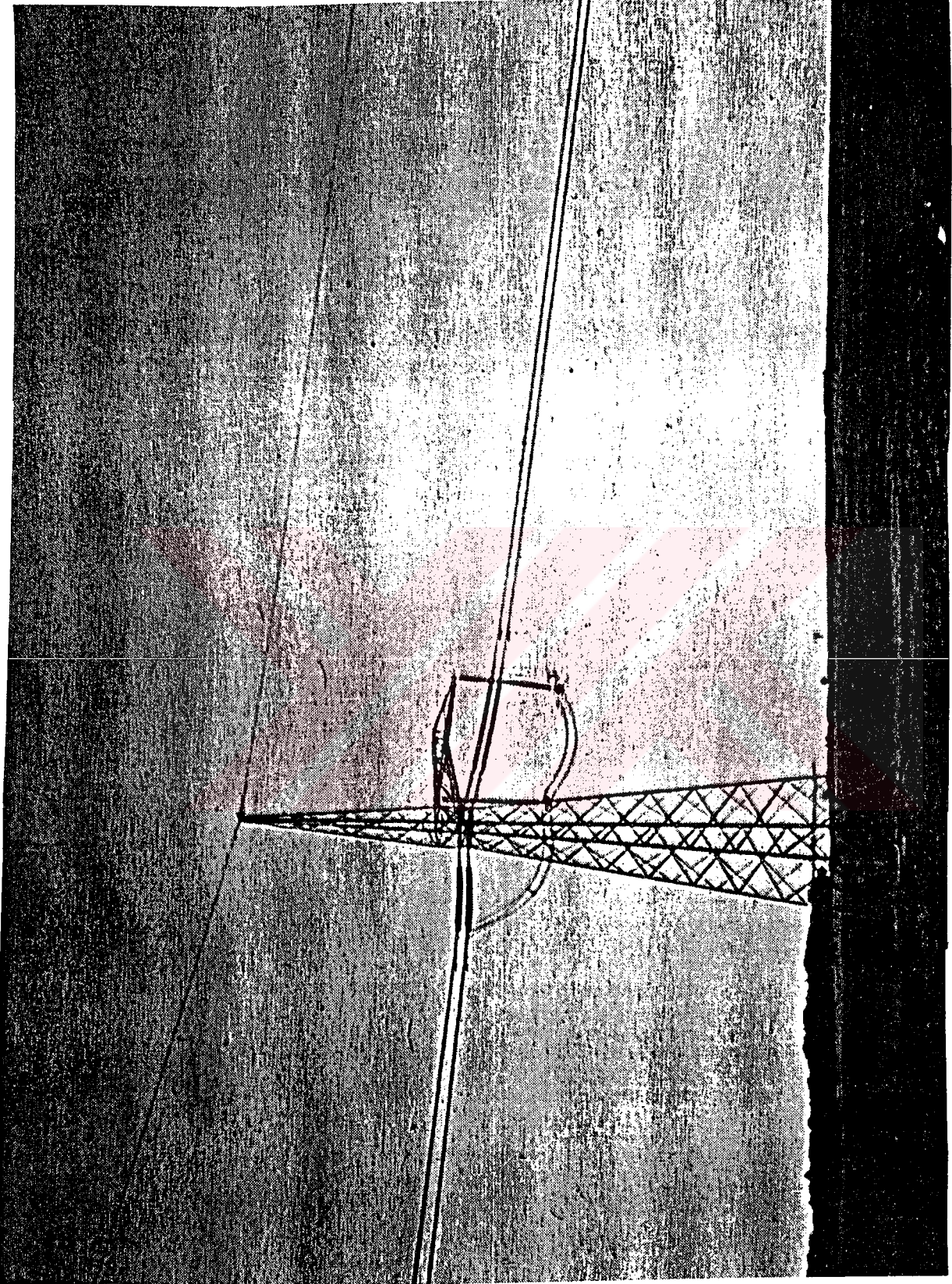
2 x 500 kV (A.a.)

Aralık 100 m.

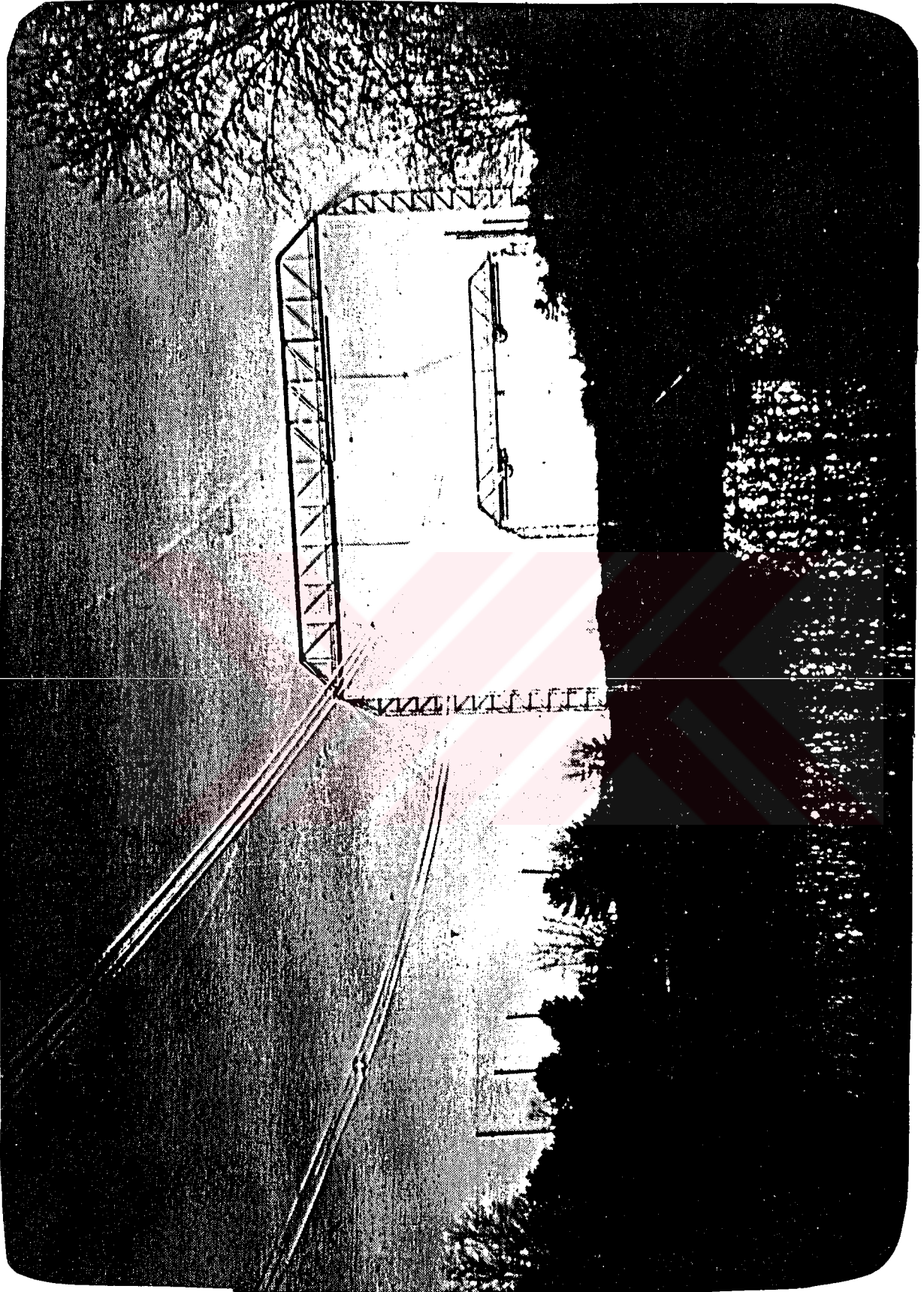
Şekil - 3.7. Havai iletim hatlarındaki bazı yapılar.

Korozyon nedeni ile, Avrupa' da doğru akım iletim hatlarında geri dönüş iletkeni olarak toprak kullanılmamaktadır. Çift kutuplu iletim modeli veya akım geri dönüşü için bir iletken çekilmektedir. Ancak uzun mesafeler için model alternatif akım hatlarında olduğu gibidir. İletken kırılmaları dikkate alınacak ise az sayıda iletken kullanılıyorsa bile güçlü bir dizaynı gerektirebilir. Demet iletkenlerin kullanılması durumunda genellikle demetteki tek bir iletkenin kırılmasını göz önüne almak yeterlidir. Muhtelif yüksek gerilimle doğru akım ile enerji iletiminde kullanılan direk tiplerine örnekler;





Şekil - 3.8. Bir d.c. iletim hattı ve direk modeli



Şekil - 3.9. Bir d.c. iletim hattı ve direk modeli

--- Toprak Hattı : Bir doğru akım hattındaki yıldırım çarpma ihtimali bir alternatif akım hattından daha az olmamakla birlikte, topraklama hattına olan ihtiyaç bir doğru akım hattı için daha azdır. Bunun sebebi, arıza akımını sınırlamak ve bu suretle izolatörlerin hasara uğraması riskini azaltmak için doğru akım istasyonlarında koruma sistemlerinin mevcut olmasıdır. Çift kutuplu hatlarda bir hat arızası olması durumunda sadece iletilen gücün yarısı arızadan etkilenirler ve akan akım mekanik aletlere gerek kalmadan ızgara ile kontrol edilir. Doğru akım toprak hatlarının bir takım ek avantajları vardır. Bunlardan biri, topraktaki harmonik akımlarını bir ölçüye kadar hafifleterek telefon parazitlerinin azalmasına neden olması, diğeri de ölçmelerin daha kolay yapılabilmesi ve toprak arızası durumunda istasyonlardaki işlemlerin kolaylaşmasıdır.

Neticede, doğru akım ile enerji iletiminde uzun enerji iletim hatlarında toprak hattı kullanılması gerekirken, kısa hatlarda toprak hattına gerek kalmadığı görülmektedir.

3.12. Çevirici İstasyonlar :

Bir doğru akım iletim sisteminde en mühim elemanlar kuşkusuz çevirici istasyonlarda bulunan civa buharlı doğrultucular veya yarı iletken tristörlerdir. Bunların soğutma, kumanda elemanları ayrıca bir yer tutar. Bunlar detaylıca izah edilecektir. Bunların dışında bir doğru akım sisteminde bulunması gereken elemanları tanıyalım.

3.12.1. Söndürme (Düzleme) Reaktansı :

Doğru akım devresine seri bağlı bu bobinin en mühim görevi çeviricilerin evirici olarak çalışmasını sağlamaktır. Elektrik enerjisini magnetik anlamda stok ederek akımın kesintisiz olarak akmasını ve evirici tarafta zıt e.m.k. üretimini sağlar. İletim hatlarının karakteristik empedansı ile beraber doğrultulmuş gerilimlerin dalgalanmalarını zayıflatır. Doğru akım devresinin

zıt e.m.k.'nın ortadan kalması durumunda uygun bir söndürme açısı ile evirme işleminin korunması için akımın yükselme hızını uygun bir değerde sınırlandırır. Akımın değişim büyüklüğü 200 A/ms değerindedir.

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

3.12.2. Düzleme Reaktansının Orta Noktasını Toprağa Bağlayan Empedans:

Seri olarak bir endüktans ile bir dirençten oluşan büyük değerli bir empedanstır. İletim hattının nötr'ünü oluşturur. Evirici ve çevirici istasyonlardan birine yerleştirmek suretiyle 6. harmoniği süzme görevini yapar.

3.12.3. Kabloların Amortisman Empedansı :

Her iletken ile toprak arasında yer alır, seri bağlı bir direnç, endüktans ve kapasiteden meydana gelir. Düzleme bobinin endüktansı ile hat kapasitesi arasında olabilecek salınımları söndürmektir.

3.12.4. Kondansatör Bataryası :

Valflerin kapı veya ızgara kumandası ile ateşlemelerinin geciktirilmesi ve açıp - kapama, komütasyon esnasında ana dalganın bozulması neticesinde bir reaktif güç ihtiyacı ortaya çıkar.

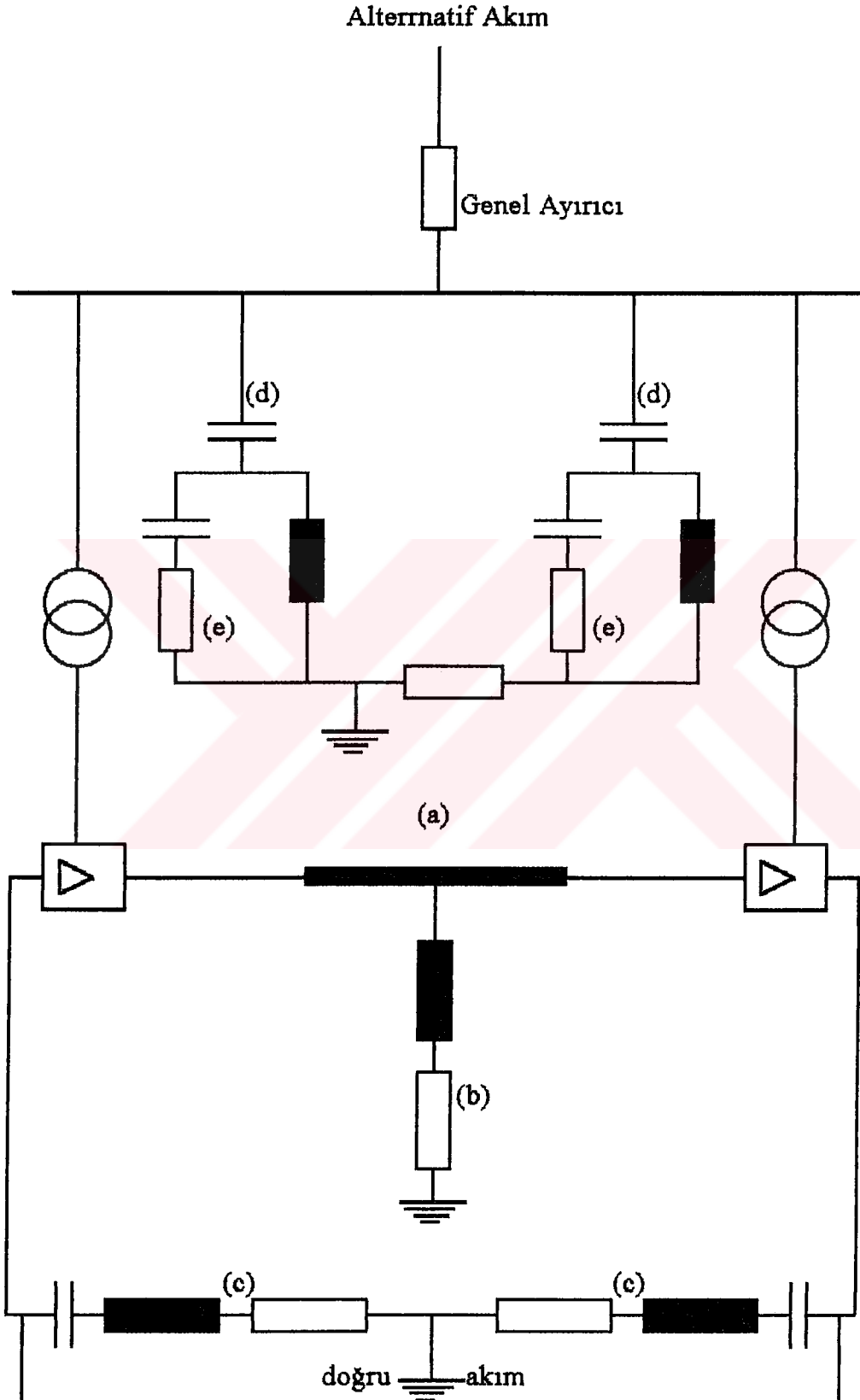
Çünkü bu her iki durumda akım dalgasının fazını gerilim dalgasına göre geriye kaydırır. Bu endüktiflik halini kompanze edebilmek amacıyla kapasitif güce gerek vardır. İşte bu gücü kondansatör bataryası sağlar. Genellikle statik kompanzatörler kullanılır. Aşırı uyatılan senkron makinalar kapasitiflik özellikleriyle çözüm olabilir. Fakat senkron makinanın bazı problemleri (stabilite,titreşim, vs...) söz konusu olduğundan daha çok statik kompanzatörler tercih edilmektedir.

3.12.5. Filtreler :

Düzleme reaktansından dolayı alternatif akım dalgası tam sinüsoidal olmaz. Filtreler yardımıyla harmonik bileşenleri süzmek mümkündür. Filtreler çeşitli bağlantı şekillerinde ve değişik değerdeki elemanlardan oluşur.

Kısaca anlatılan bu elemanların doğru akım iletim sisteminde kullanımını gösteren devreyi şöyle çizebiliriz.





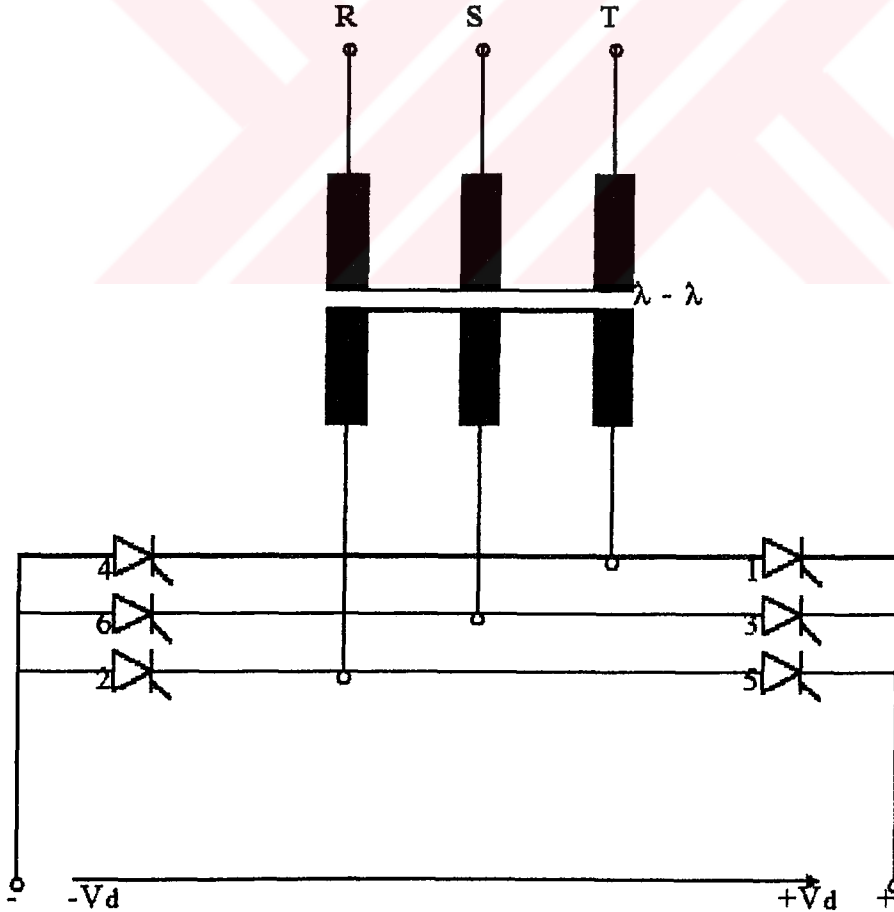
Şekil 3.10. Bir doğru akım iletim sisteminde lulanılan elemanlar

4. BÖLÜM

ÇEVİRİCİ İSTASYONLAR :

4.1. Doğrultucular :

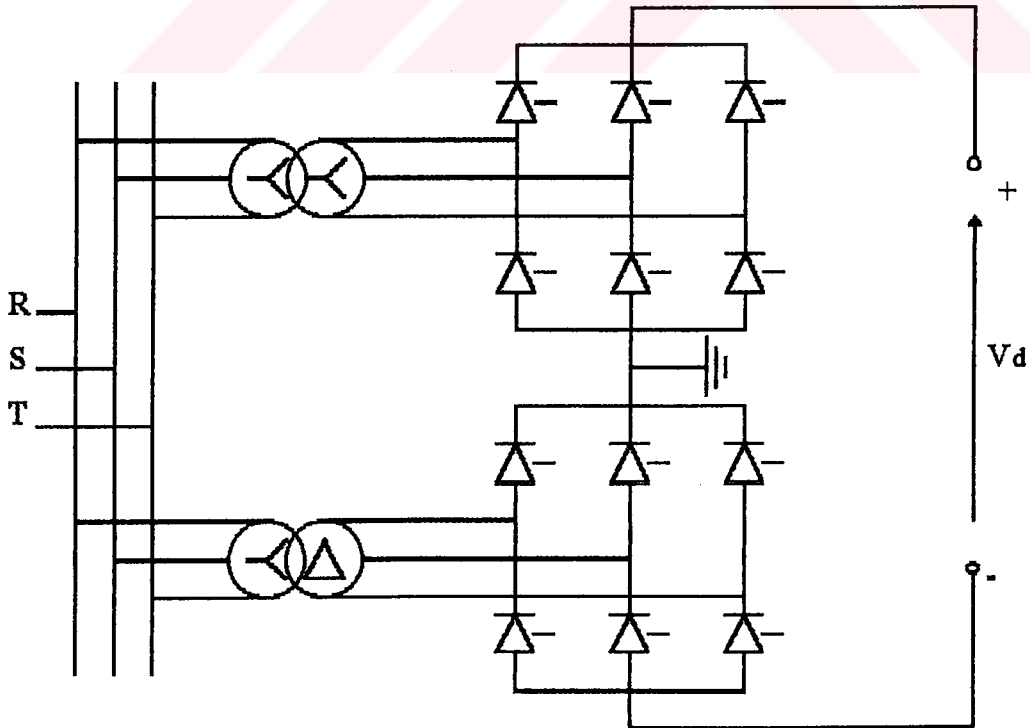
Alternatif akımın doğru akıma dönüştürülmesi olayıdır. Muhtelif doğrultucu devreleri mevcuttur. Ancak bunlardan en fazla tercih edileni köprü tipindeki doğrultuculardır. Çünkü alternatif akım değerini arzu edilen doğru akım'a en fazla yaklaştırılan doğrultucu tipi köprü doğrultucudur. Bunun yanısıra bu tip doğrultucu devrelerde transformatör kullanımı ve valf gerilimi bakımından üstünlükleri vardır. 3 faz köprüye örnek devreye aşağıda gösterilmiştir.



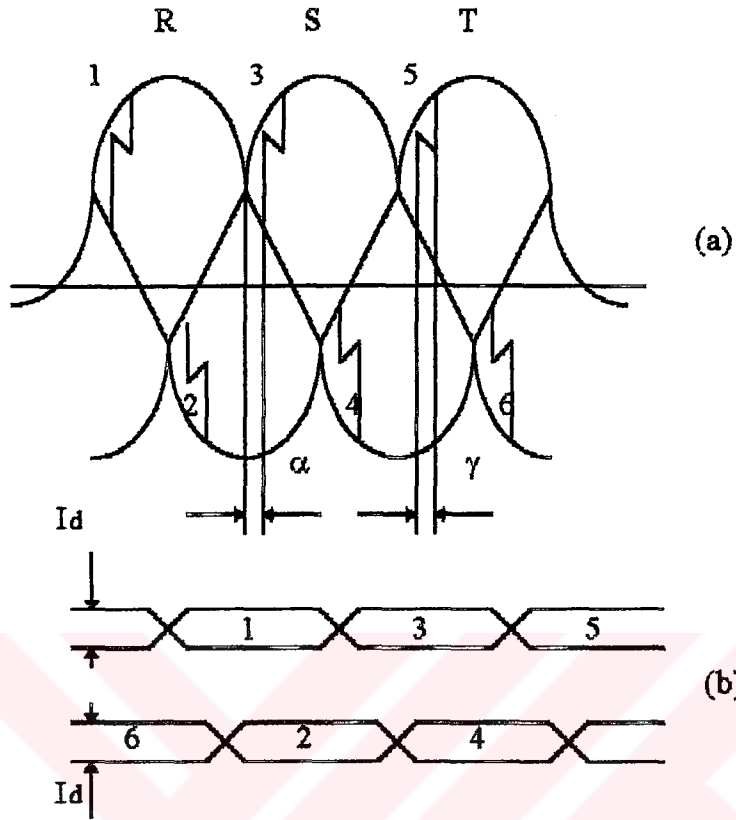
Şekil - 4.1. 3 fazlı köprü doğrultucunun bağlantı düzeni

Bu devre, üçer valf'lik iki grubun alternatif akım tarafından paralel bağlanması ile oluşmuş çift-üç yollu bir köprü çeviricidir. Bu biçimde ters yönlü gerilim dalgaları da doğrultulduktan sonra doğru akım tarafına geçirilmekte ve doğru yönlüler ile seri olarak toplanmaktadır. Böylece bu iki valf grubu 6 fazlı bir çevirici gibi görev yapar. Valfler civa buharlı ise, bu 6 valf'e bir valf daha ilave edilir. Bu 7. valf doğru akım tarafının (+) ve (-) uçları arasına direkt bağlanır.

Ekonomik bir doğru akım iletim gerilimini elde edebilmek için valflerde, çok sayıda seri bağlanmış tristörler kullanılır. Böylece, valflerin ferdi uygulama için en ekonomik iletim gerilimine bağlanabilmesi olanağı sağlanır. Çeviriciler genellikle 6 veya 12 yollu olarak düzenlenir. 6 valflik çeviricilerden iki ayrı grup alternatif akım tarafından biraraya getirilebilir. Burada kullanılan transformatörlerden biri yıldız-üçgen diğeri ise yıldız-yıldız'dır. Doğru akım tarafında seri bağlanan bu grup, 12 fazlı bir çeviri gibi işletilmektedir. Şekilde 3 fazlı çift köprü doğrultucu bağlantısı görülmektedir.



Şekil - 4.2. 3 fazlı köprü doğrultucu bağlantısı



Şekil - 4.3. Doğru işleminde akım ve gerilimler

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere doğrultma işlemine dair akım ve gerilimlerin dalgaları verilmiştir.

α : Gecikme açısı

γ : Komütasyon açısı

R fazındaki 1 nolu valfi durdurup S fazındaki 3 nolu valfi çalışmaya başlayacakken, 3 valfinin bir α açısı kadar gecikmeyle çalışmaya girmesinden doğur. Bu durumda 1 valfi çalışmaya devam eder. Fakat α açısına dair sürenin bitiminde 3 nolu valf işlemeye başladığı halde 1 nolu valfte çalışmaktadır ve bir süre 1 ile 3 valfleri beraber çalışmayı sürdürürler. Böylece ortaya çıkan bir γ değiştirme (komütasyon) gecikmesi 1 ile 3 valflerinin beraber çalıştıkları süreye karşılık gelir.

1 ile 3 valflerindeki gerilimlerin eşit olduğu anda, ızgara kumandası yoksa 1 valfindeki akımla paralel olarak 3 valfindeki akım geçişi başlar.

Ancak bu paralel çalışma sürekli değildir ve 1 nolu valf akımı söner. Fakat 3 valfinde de akım aniden oluşamaz. Çünkü bu akım besleme transformatörünün bir sargısının L endüktansı ile etkilenmektedir. γ açısı ile belirlenen bir zaman sabit oluşur.

Izgara yada kapı kumandası ile valflerin açısının değeri $0 - 180^\circ$ arasında değiştirilebilir. α açısının değeri 90° 'den büyük olduğu zaman, doğrultulmuş gerilimin yönü aksedilmiş olur. Bu durumda evirici işlemeye geçilir.

Doğrultucu çıkış gerilimi :

$$V_d = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \cdot V_m \cdot \cos \alpha \quad (4.1)$$

Burada ;

V_m = Alternatif gerilimin faz - nötr geriliminin tepe değeridir.

Alternatif gerilimin faz arası değerinin efektifi kullanılırsa ;

$$U = \frac{\sqrt{3} \cdot V_m}{\sqrt{2}} \quad (4.2)$$

O halde

$$V_d = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \cdot U \cdot \cos \alpha = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot U \cdot \cos \alpha \quad (4.3)$$

$\alpha = 0$ için, çıkıştaki doğru gerilim

$$V_d \cong V_o$$

$\alpha \neq 0$ durumu için

$$V_d = V_o \cdot \cos \alpha \quad (4.4)$$

γ açısının varlığından, her faz için, o fazın gerilimine göre geride kalan bir alternatif akım akar.

Bu durumda doğrultucu reaktif güç çeker.

Doğrultulmuş gerilimde, ateşleme açısı bir düşme, geçiş açısı ise bir artış gösterir.

Komütasyon gecikmesinden dolayı çıkış gerilimindeki ortalama düşüş $\alpha > 0$ için ;

$$\Delta V = \frac{V_o}{2} \left[\cos \alpha - \cos (\alpha + \gamma) \right] \quad (4.5)$$

ile gösterilebilir.

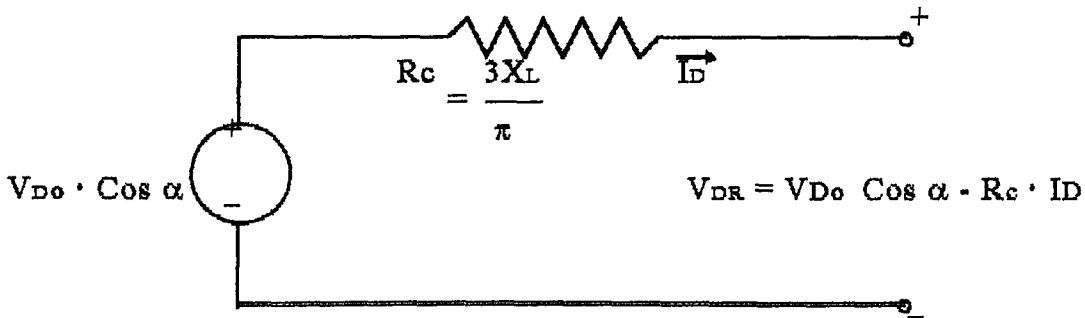
γ açısına ilişkin süre sonunda çıkış gerilimi ;

$$V_d = V_o \cdot \cos \alpha - \Delta V = V_o \cdot \cos \alpha - \frac{V_o}{2} \left[\cos \alpha - \cos (\alpha + \gamma) \right] \quad (4.6)$$

olup,

$$V_d = \frac{V_o}{2} \left[\cos \alpha + \cos (\alpha + \gamma) \right] \quad \text{olur.} \quad (4.7)$$

Bu temel doğrultucu ifadelendirmeden ayrı olarak ; bir çeviricinin doğrultucu olarak çalışması basit olarak şöyle modellenirilebilir.



Devredeki ifadeler :

V_{DO} : Tetikleme açısı (α) sıfır iken, doğrultucu hat gerilimi

I_D : Doğrultucu çıkışı doğru akım değeri

R_c : Değiştirme münasebetiyle oluşan gerilim dönüşümünü modelde temsil eden direnç ve bu direnç transformatörün kaçak reaktansı (X_L)' e bağlıdır.

$$R_c = \frac{3X_L}{\pi} \quad (4.8)$$

V_{DR} : Çıkış doğru gerilimi

Devreye göre :

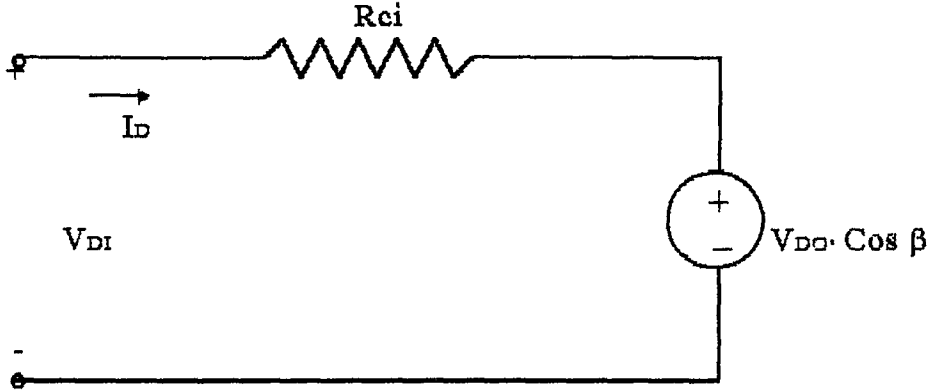
$$V_{DR} : V_{DO} \cdot \cos \alpha - \frac{3X_L}{\pi} \cdot I_D \quad \text{dir.} \quad (4.9)$$

$$X_L = \omega \cdot L$$

4.2. Eviriciler :

Doğru akımı alternatif akıma dönüştüren düzenlerdir. Izgara kontrolü yada kapı kumandası dediğimiz sistemler aracılığıyla gecikme açısından, ortalama gerilim negatif oluncaya kadar değiştirme imkanı mevcuttur. Bu negatif gerilimle valfler ters olarak hareket ettirilebilmekte ve gücün, çeviricinin doğru akım tarafından alternatif akım tarafına iletilebilmesi sağlanmaktadır. Böylece "evirme" işlemi yapılmaktadır. Bu biçimde işleyen çeviriciye de "evirici" denir.

Doğrultma işlemine verilen denklemler burada geçerlidir. Bir çeviricinin $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ aralığındaki çalışması durumu evirici çalışmaya tekamül eder. Evirici uçlarındaki gerilimin ifadesi ve bir eviriciye ait basit model şöyle çizilebilir.



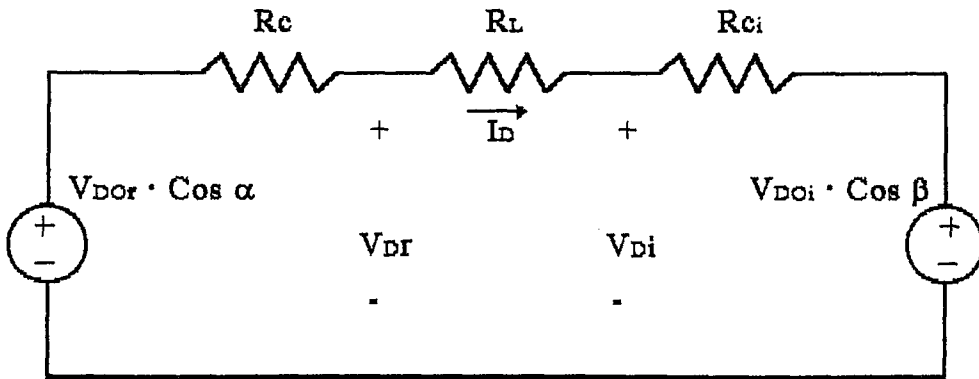
$$V_{Di} = V_{Do} \cdot \cos \beta + R_{ci} \cdot I_D \quad (4.10)$$

Evirme işlemi gözönüne alındığında α gecikme açısının β cinsinden ifadesi ;

$$\beta = 180^\circ - \alpha \quad \text{dır.} \quad (4.11)$$

4.3. Bir Doğru Akım Modelinin İletim Hattında İşlemesi :

İki alternatif akım sistemi arasında yer alan tek kutuplu basit bir doğru akımla iletim hattının modeli ;



Pratik anlamda $\alpha = 10^\circ - 20^\circ$ arasında bir tetikleme açısı ile, eviriciler ise sabit sönüm açısı (δ) ile çalışmaktadır.

$$V_{Dr} = V_{Dor} \cdot \cos \alpha - R_c \cdot I_D \quad (4.12)$$

$$V_{Di} = V_{Doi} \cdot \cos \delta - R_{ci} \cdot I_D \quad (4.13)$$

$$I_D = \frac{V_{Dr} - V_{Di}}{R_L} \quad (4.14)$$

$$R_{ci} = R_c \quad \text{ve} \quad V_{Dor} = V_{Doi} = V_{Do} \quad (4.15)$$

$$I_D = \frac{V_{Do}}{R_L} (\cos \alpha - \cos \delta) \quad (4.16)$$

Eviriciler sabit bir β açısında çalıştıklarında

$$I_D = \frac{V_{Dor} \cdot \cos \alpha - V_{Doi} \cdot \cos \beta}{R_c + R_L + R_{ci}} = \frac{V_{Do}}{R_L + 2R_c} (\cos \alpha - \cos \beta) \quad (4.17)$$

olur.

Dolayısı ile: Doğrultucu çıkışındaki güç (P_o) ve evirici girişindeki güç (P_E),

$$P_D = V_{Dr} \cdot I_D \quad (4.18)$$

$$P_i = V_{Di} \cdot I_D \quad (4.19)$$

olarak yazılabilir.

--- Uygulama

Bir alternatif akımın üretim ile tüketim merkezleri arası mesafeye 700km.'lik bir doğru akım iletim hattı çekilecektir. Tek kutuplu çift iletkenli iletim hava hattının değeri ;

Transformatörler :

3 faz, 50 Hz, 13,8/150 kV Y/Y, 400 MVA, X = %4

Çeviriciler:

3 faz, 6 yollu köprü, 200 kV² luk gerilim elde edebilmek için

2 eleman seri bağlanmıştır.

İletkenler:

St/Al km. başına direnç 0,02 Ω

a) Doğrultucu $\alpha = 15^\circ$ ve eviriciler $\beta = 20^\circ$ açısıyla çalıştı-
larına göre sistemdeki (I_D) akımı nedir?

b) $\delta = 20^\circ$ sönüm açısı için $I_D = ?$

c) $\delta = 20^\circ$ için eviriciye intikal ettirilen güç nedir?

$$R_L = 2 \cdot 700 \cdot 0,02 = 28 \Omega$$

$$0,04$$

$$X_L = \frac{0,04}{400} (150)^2 = 2,25 \Omega / \text{faz}$$

$$3 \cdot X_L \quad 3 \cdot 2,25$$

$$R_c = \frac{3 \cdot X_L}{\pi} = \frac{3 \cdot 2,25}{\pi} = 2,15 \Omega$$

$$V_{DO} = 1,35 V_L = 1,35 \cdot 150 = 202,5 \text{ kV} / \text{unite}$$

çift kutuplu

$$V_{DO} = 2 \cdot 202,5 = 405 \text{ kV}$$

$$V_{DO}$$

$$a) \quad I_D = \frac{V_{DO}}{R_L + 4R_c} (\cos \alpha - \cos \beta)$$

$$R_L + 4R_c$$

$$405$$

$$= \frac{405}{28 + 4 \cdot 2,15} (\cos 15^\circ - \cos 20^\circ)$$

$$28 + 4 \cdot 2,15$$

$$= 0,33 \text{ kA}$$

$$b) \quad I_D = \frac{V_{DO}}{R_L} (\cos \alpha - \cos \delta) = \frac{405}{28} (\cos 15^\circ - \cos 20^\circ)$$

$$I_D = 0,43 \text{ kA}$$

$$c) \quad P_E = V_{D1} \cdot I_D = V_{DO} \cdot I_D \cdot \cos \theta_1$$

$$= I_D \cdot V_{DO} \cdot \left(\frac{1}{2} \right) \cdot (\cos \beta + \cos \delta)$$

$$= I_D \cdot (V_{DO} \cdot \cos \delta - R_c \cdot I_D)$$

$$P_E = 0,43 \cdot (405 \cdot \cos 20 - 2,15 \cdot 0,43) = 161,5 \text{ MW}$$

4.4. Çeviricilerde kullanılan Vafler :

YGDA ile iletimde kullanılan vaflerin 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 devre 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 kullanılmaktaydı. Tristör valfler ilk olarak 1967 yılında ticari olarak kullanılmaya başlandı ve 1975'lerden itibaren artık sadece tristörler kullanılmaktadır.

4.4.1. Civa Buharlı Valfler :

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

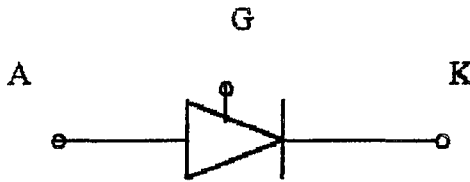
Camdan yapılmış ise camın ani ısı değişimlerin ve küçük darbelerle dayanıklı olması gerekir.

Civa buharlı valflerin özellikleri elektron emisyon olaylarına dayanır, Gerilimi düşüktür.

4.4.2. Tristör Valfler :

Civa buharlı valflerin gerilimlerinin düşük olması yarı iletkenlerin giderek daha da genişleyen bir şekilde kullanılmaları gereği doğurmuştur.

Tristörlerin, bir anot bir katod ve bir de kontrol elektrodu olan dört yarı iletken tabakalı bir elemandır. Tristör güç elektroniği devrelerinin en önemli elemanı olup sembolü şöyledir :



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

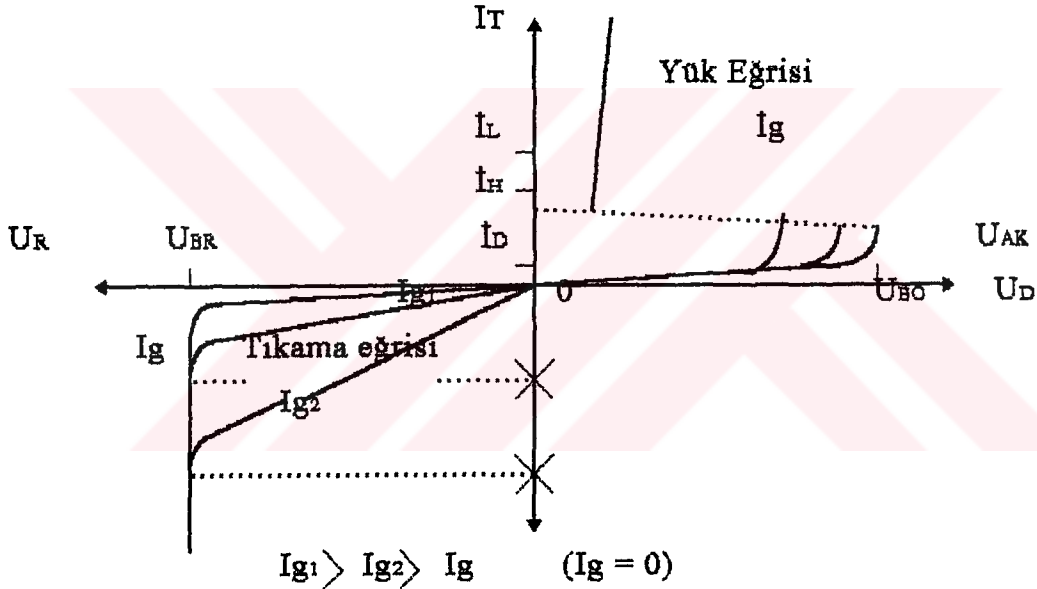
Bir tristörün iletme geçebilmesi için ve kesime götürebilmesi için belli koşullar ve yöntemler vardır. Elemanda şu üç konum söz konusudur;

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

1) Tıkama Konumu : Negatif yönde kutuhplanma 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” denir.

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



Şekil - 4.4. Bir tristörün akım - gerilim karakteristiği

U_{BK} : Delinme gerilim

U_{BO} : Devrilme “

I_L : Kilitlenme akımı

I_H : Tutma akımı

I_D : Sızdırma akımı

I_T : Yük (iletim) akımı

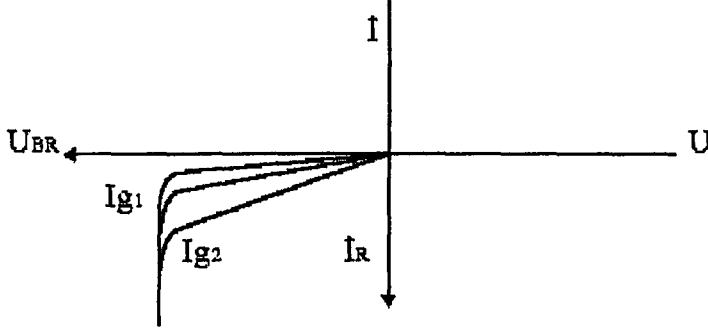
U_R : Tıkama gerilimi

I_R : Tıkama akımı

U_D : Kesim gerilimi

I_g : Kapı akımı

Bu ifadeler ışığında tıkamaya ait akım - gerilim karakteristiği :

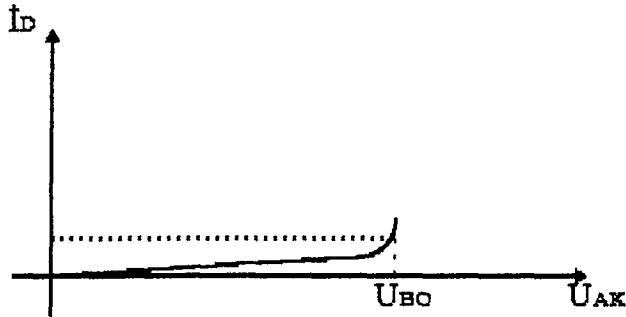


Şekil - 4.5. Tıkamaya ait $I - U$ karakteristiği

I_R : Tıkama akımı

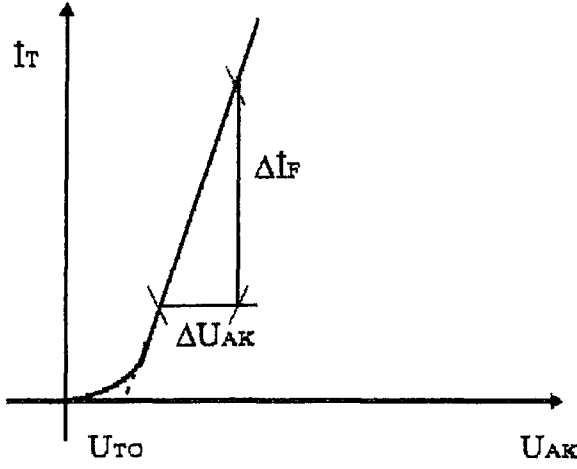
U_{BR} : Delinme gerilimi

2) Kesim Konumu : Tristöre uygulanan pozitif gerilim, hareketli yük taşıyıcılarını orta tabakadan çeker ve böylece büyük dirençli bir bölge oluşturulur. Bu sebeple, elemana doğal yönde (pozitif) gerilim uygulandığında yine de akım akıtmayabilir. Anot - katot gerilimi pozitif olduğundan tristör iletimdedir. Fakat akım akışı söz konusu değildir (kesim). Bu anda tristörden bir (sızıdırma) kesim akımı I_D akar. Kesime ait akım - gerilim eğrisi ;



Şekil - 4.6. Kesim eğrisi

3) İletim Konumu :



Şekil - 4.7. İletim eğrisi

I_T : İletim akımı

U_{TO} : Eşik gerilimi

U_{AK} : Anot - Katot gerilimi

$$r_i = \frac{\Delta U_{AK}}{\Delta I_F} = \frac{\Delta U_F}{\Delta I_F}$$

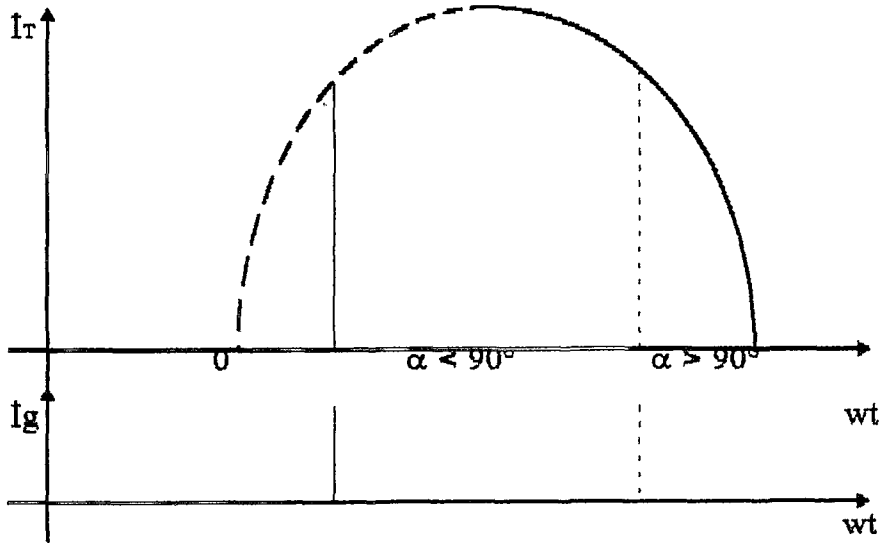
R_t : Tristörün iç direncidir.

4.4.2.1. Tristörün Kontrol Olanakları :

İki tip kontrol imkanı vardır.

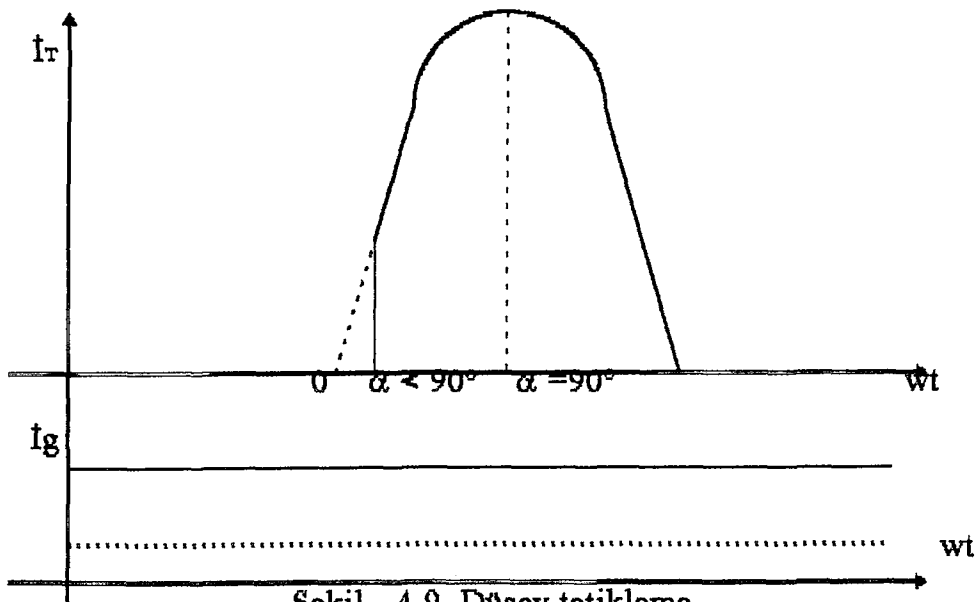
- 1) Yatay kontrol (tetikleme)
- 2) Düşey kontrol (tetikleme)

1) Yatay kontrol : 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 - 4.8. Yatay tetikleme

2) Düşey tetikleme : Düşey tetikleme prensibinde, karakteristikleri UB devrilme geriliminin I_g kontrol akımına bağlılığından hareket edilir. Kontrol akımı akmadığı sürece, tetikleme ancak 0 devrilme gerilimi UBO 'ın 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° 'ye yakın tetikleme açılarında, tetikleme karasız konuma girer. Kullanımı pratikte sınırlıdır.



Şekil - 4.9. Düşey tetikleme

4.4.2.2. Tristör yardımcı elemanları :

Yüksek gerilimli çevirici donanımlarının ihtiyaçlara göre tristör karakteristiklerinin yetersiz olması nedeniyle bir valf çok sayıda elemanın seri ve paralel bağlanmasından elde edilir. Bu da bir çok sorunu beraberinde getirir. Bunlar ;

- Geçici rejimde seir bağlı tristörelrin uçlarındaki gerilimlerin eşit olarak dağılması.

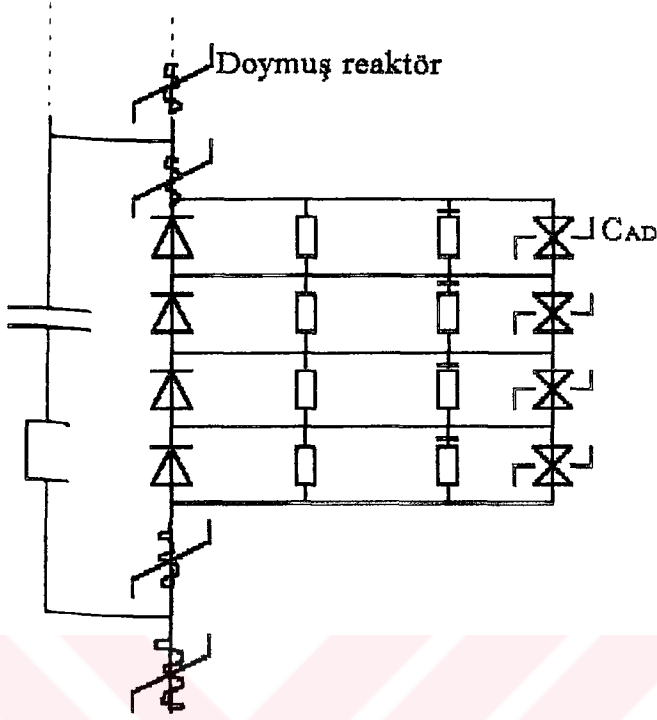
- Paralel bağlı tristörlerde akımın eşit olarak dağılması.

- Tristör ızgara kumanda darbelerinin beslenmesi ve köprü uçlarında gerekli olan izolasyonun sağlanması.

- Tristörlerin soğutulması.

4.4.3. Gerilim Bölücü Devreler :

İletim süresince bir valf, doğru veya alternatif gerilimler, komutasyon aşırı gerilimler, şok darbeleri gibi değişik zorlamalara maruz kalabilir. Bunları önlemek için dirençler ve kondansatörlerden oluşmuş gerilim bölücü devreler kullanılır. Dirençler kaçak akımları kompanze ederler. Kondansatörler de komitasyon aşırı gerilimlerinin şiddetini azaltırlar ve parazitlerin dalga biçimlerini düzeltirler. Bu gerilim bölücü devre ile toprak arasına genelde doymuş bir reaktör eklenir. Bu reaktör gerilim dağılımını düzelttiği gibi du / dt ve di / dt 'nin tristörlere yaptığı zorlamaları da azaltır ve tetikleme osilasyonları da söndürür. Gerilim bölücü devre ;



Şekil - 4.10. Gerilim bölücü ile korumaya alınmış seri bağlı dizi tristör grubu

4.4.4. Tristörlerin Tetiklenmesi ve Bloke Olması İçin Kullanılan Düzenler

Farklı tristörlerin tetiklenmesi olabildiğince aynı zamanda olmalıdır. Bunun nedeni en son tetiklenen tristörlerde aşırı gerilimlerin oluşmasını önlemektir. Tetikleme yöntemleri :

--- Kısa süreli darbeler : Köprünün debloke olması için özel bir düzen gereklidir. Tristör tetikleme devreleri için lazım 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 valflerinin tetiklenmesi için kolayca kullanılacak bir yöntemdir ve bu sistemde yardımcı güç kaynağının önemi büyüktür. Bu sistemin en büyük avantajı komitasyon akımındaki bir osilasyon sonrası valfin debloke olmayıp iletme devam etmesidir.

--- Optik okuyuculu iletkenler ile sıfır potansiyeldeki darbelerin darbe trafosuna iletilmesi ve burada elektrik darbeleri şekline dönüştürülüp tristör modellerinin tetiklenmesi olayıdır.

--- Valflerin soğutulmasında kullanılan hava ile tahrik edilen bir turbinin çevirdiği jeneratör ile tetikleme düzeni.

--- Yüksek permeabiliteli çekirdeğe sahip bir akım trafosu ile tetikleme.

--- İzolasyon trafosu ile tetikleme

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

4.4.5. Soğutma Sistemleri :

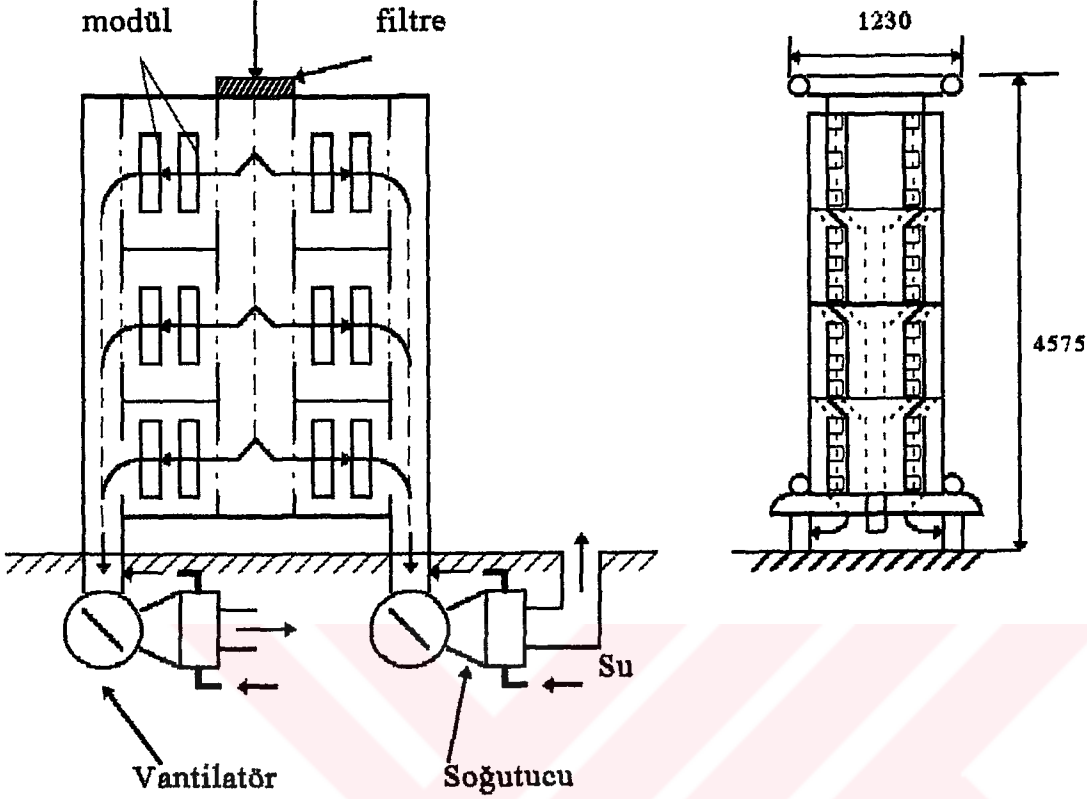
Uçlarına gerilim uygulandığı andan itibaren tristör valfler ısı enerjisi harcarlar. Bu enerji ;

- Amatör ve gerilim bölücü devrelerde,
- Tristör iletimde iken tristör uçlarındaki gerilim düşümü,
- Koruma ve kumanda devrelerinde harcanır.

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

a) Hava Soğutmalı Valfler :

Bu tip bir soğutmada, tristör modülleri yalıtkan bir malzemedan yapılmış madeni kutuların içine konmak suretiyle zorlamalı havalandırma yapılır.



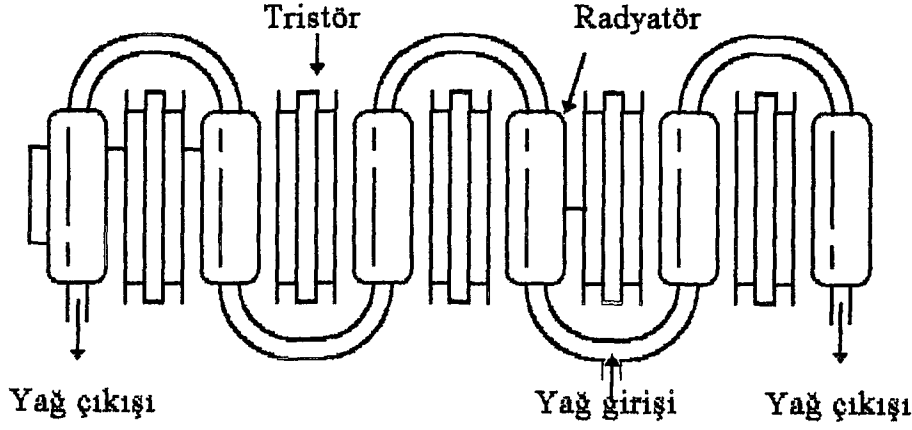
Şekil - 4.11. Hava sirkülasyonu ile soğutmalı valfler.

b) 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 $2 \text{ M}\Omega$ ' dan büyük olması için iyondan arındırma filtrelerine gerek vardır.

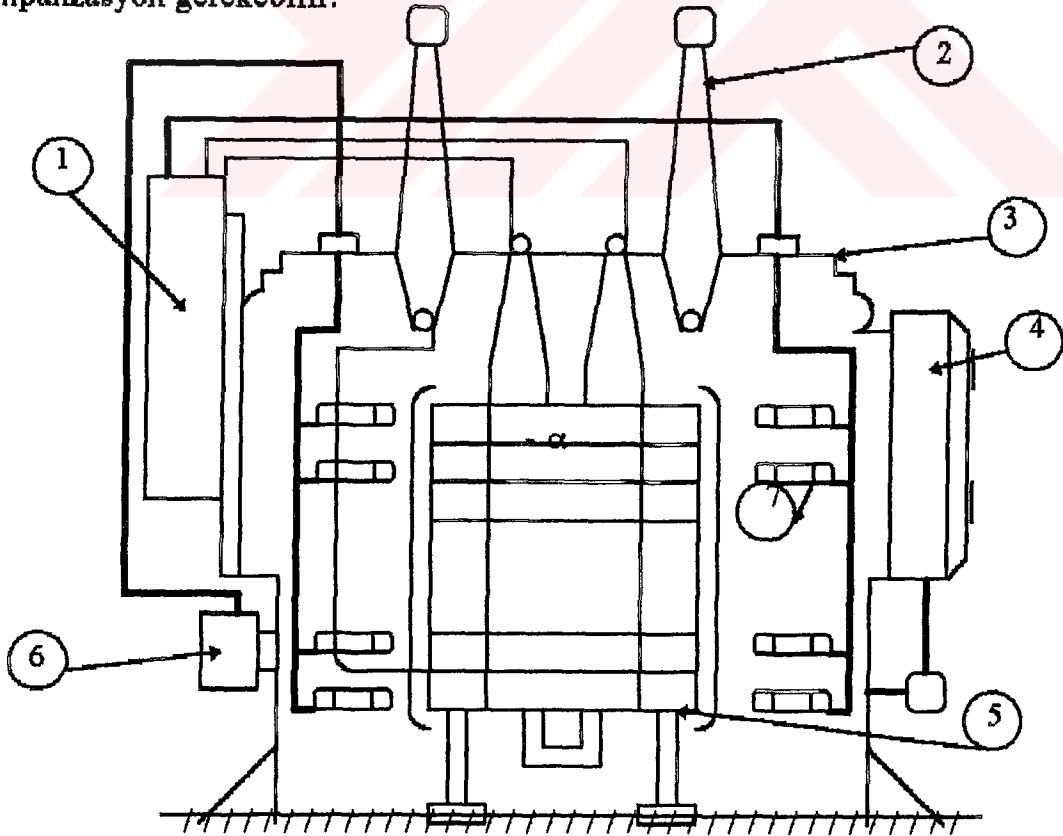
c) Yağ Soğutmalı Valfler :

-İç yalıtımının hava ile yapılması durumunda borulardaki tıkanıklıklar azalır. Fakat buna mukabil sistemi gerçekleştirmek için lazım olan hazırlık zamanı daha uzundur.



Şekil - 4.12. Yağ sirkülasyonu ile soğutma

-İç yalıtımında yağ ile yapılmasının en büyük avantajı bu sistemin valflerin dışınada yerleştirilmesidir. Ancak herhangi bir arıza sırasında müdahale etme süresi çok uzundur. Gerilim altındaki kısımlar ile kazan arasındaki uzaklığın az olması durumunda parazitlerin artar ve ek bir kompanzasyon gerekebilir.



Şekil - 4.13. İç yalıtımında kullanılan yağ ile tristör soğutma iç donanımları

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

4.4.6. Günümüzde Kullanılan Valflerle İlgili Bilgiler :

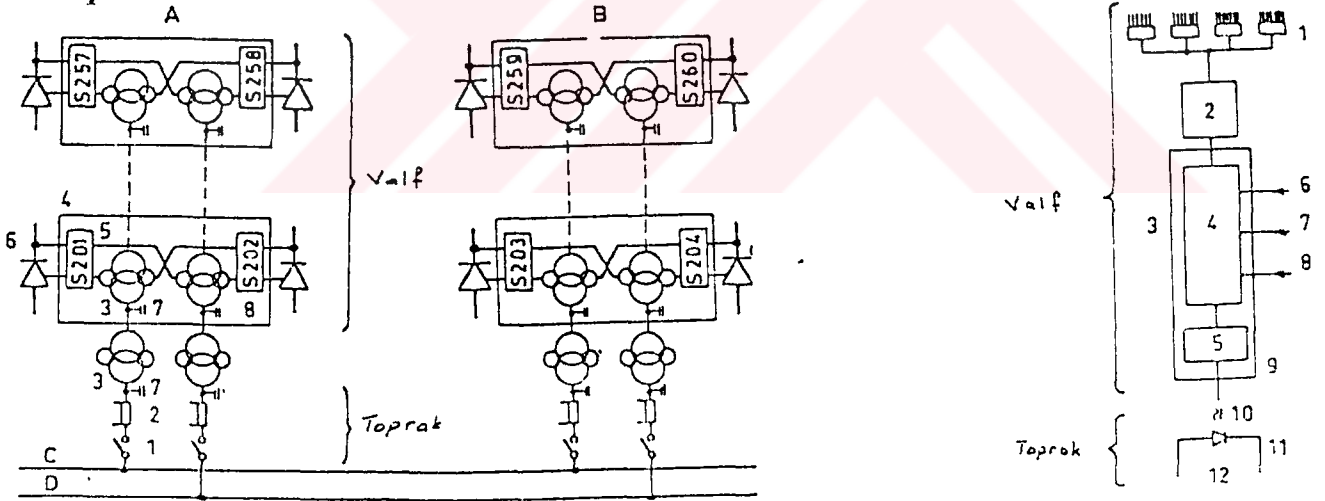
1. 50 kV - 220A ASEA valfi :

- 60 adet tristör (3kV - 250A)
- Hava soğutmalı
- Gerilim bölücü olarak basit RC devreleri ve non-lineer bir direnç kullanılmıştır.

- Kısa süreli darbelerle tetiklemeli (15 - 30 μ s)

- Yardımcı güç beslemeli kaskat bağlı izolasyon trafosu ile ya-

pılmaktadır.



a) Yardımcı güç besleme devresi

3. İzolasyon trafosu

5. Izgara darbe generatörü

7. Kondansatör

8. Optik iletken

c) Valf kumanda ünitesi

1. Foto diyodları

2. Ampli

4. Lojik devreler

6. 7. 8. Koruma devreleri

10. Optik iletken

Şekil - 4.14. 50 kV - 200A ASEA valfi

2. Geco Valfleri :

-Her modül 10 tristör seviyesinden oluşmuştur. Her seviye bir veya daha fazla sayıda tristörün paparelel bağlanmasıyla oluşmuştur. Bu valflerde 2,5 kV - 500A'lik tristörler kullanılmıştır.

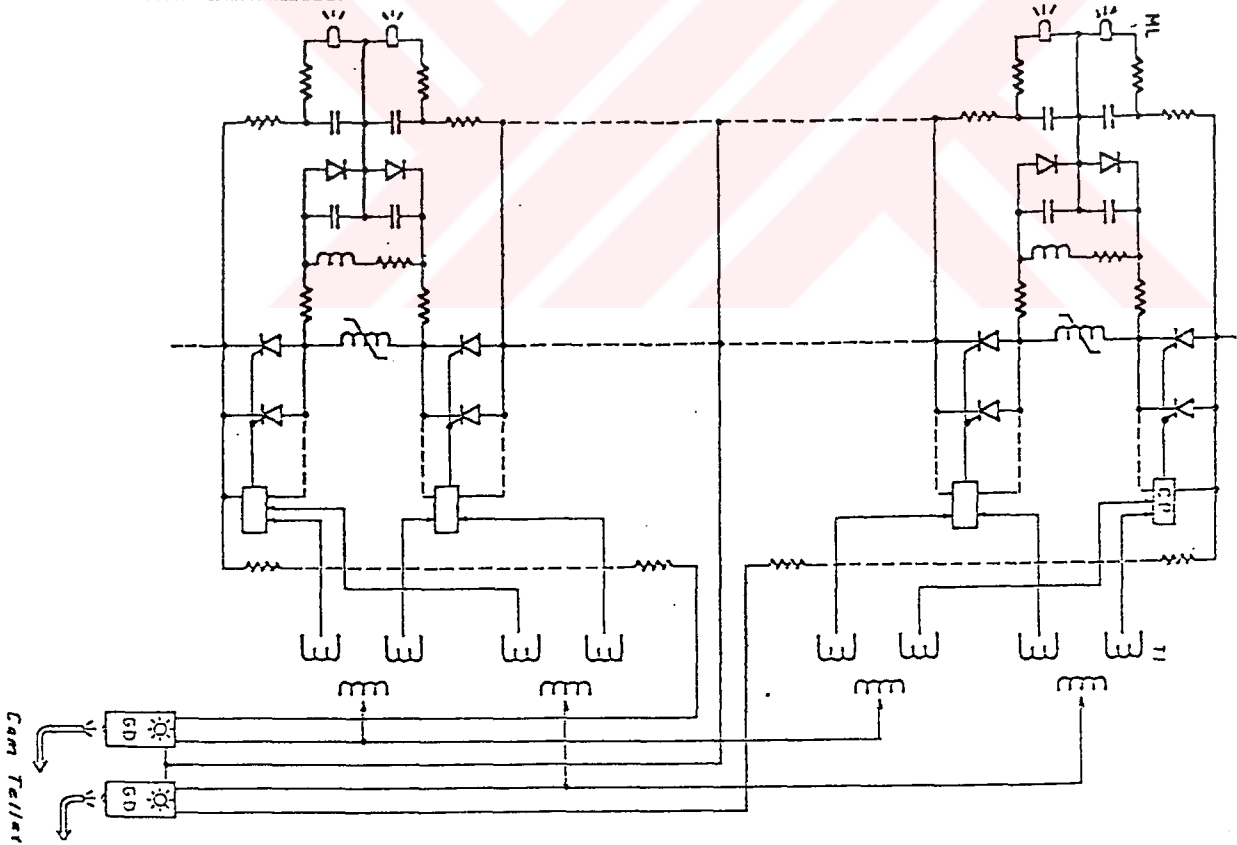
Echinghen istasyonunda 100 kV - 1000 A, her valf 12 modül ve her seviyede 4 tristör bulunmaktadır. Bunlar,

-Hava soğutmalı

-Gerilim bölücü olarak RC devresi ve doymuş reaktör

-Optik iletken ve darbe trafosu ile kumanda

-Her tristör seviyesinde U_{BO} delinme gerilimi değerini kontrol eden ve bu sınır değere yakın gerilimlerde ızgarayı kumanda edecek olan koruma düzenleri.



CP : Kontrol kartı

TI : Darbe trafosu

ML : Arızalı seviye sinyalizasyonu

GD : Darbe geberatörü

Şekil - 4.15. Bir modülün elektriksel eşdeğer şeması

3. AEG - B.B.C. - SIEMENS

Son zamanlarda 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 bulunmaktadır. Her katta non-linear 2 reaktans ve her iki bölme seri bağlıdır.

4. Japon valfleri :

MITSUBISHI - TOSHIBA - HITACHI gibi kuruluşlar yağlı valfleri tercih etmişlerdir. Sakuma'da kullanılan valfler ;

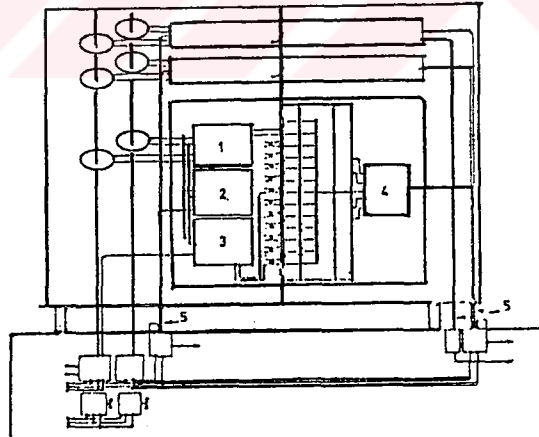
-Her birinde 12 adet tristör kullanılan (2500 V, 500A) 16 modülden meydana gelmiştir.

-Gerilim bölücü olarak RC ve non-linear 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 okuyucudur.



1. Izgara kumanda devresi

4. Tahrip olmuş tristör dedektörü

2. Kumanda devresi arıza dedektörü

5. Optik iletken

3. Ters gerilim dedektörü

Şekil - 4.16. Bir japon valfinin elektriksel şeması

5. ASEA Valfleri (250kV - 560A)

- İnga-Shaba (Zahire) ve Norveç - Danirmarka arası enerji intikalinde kullanılan bu valflerin besleme gerilimleri oldukça yüksektir
- 40 Modül ve her modülde 6 tristör
- RC gerilim bölücü devresi ve lineer olmayan direnç
- Kumanda devresi optik okuyuculu. Tristör uçlarında negatif bir gerilim değeri oluştuğunda ızgara kumandası kesintiye uğrar.

4.4.7. Tristör ve Civa Buharlı Valflerin Mukayesesi :

--- Civa buharlı doğrultucular için yüksek vakumlu donanımlara ihtiyaç vardır. Bu nedenle elemanları işletmeye almadan önce bu donanımları çalışma sıcaklığına getirme zorunluluğu vardır.

--- Civa buharlı bir valfin iç kayıplarını nominal gerilime göre değişimi oldukça azdır. Tristör valflerde bu değişim nominal gerilim ile doğru orantılıdır.

--- Civa buharlı doğrultucularda çalışma sıcaklığı önemli bir etken olduğundan, bu elemanlar yalnızca kapalı yerlerde tesis edilmesi gerekir. Halbuki tristörü açık alanlarda da inşa etmek de mümkündür.

--- 12 fazlı uygulama ile harmonik filtreleri basitleştirme olanağı tristörler için geçerli olup yardımcı donanımları azdır. Bu, küçük bir yüzey alanını kaplaması avantajını sağlar.

--- Civa buharlı valflerde ark sözkonusudur. Bu olayın meydana geldiği durumlarda arızalı köprü uzun bir periyod boyunca işletme dışında kalabilir.

--- Tristörlerde ters gerilim bulunmamaktadır. Oysa civa buharlı doğrultucularda böyle bir gerilim söz konusudur.

--- Tristör valflerin fiyatı daha pahalıdır ve şönt valfine ihtiyaç yoktur.

--- Yarı iletken malzemeler yüksek gerilimlere karşı daha duyarlıdır. Bu yüzden izolasyon düzenleri işletme açısından önemlidir.

--- Valflerin tetiklenmesi esnasında meydana gelen parazitlerin dalgalanması tristörlerde bir kaç μ s. dir. Civa buharlılarda 1 μ s' den daha azdır.

--- Civa buharlı valflerin nominal anot karakteristikleri tavan sınırına erişmiştir. Tek bir anot gücü artırılmayacağı için yapılması gereken paralel bağlı anot sayısını artırmaktır.

4.5. Şönt Kapasitörler :

Çevirici istasyonları, normal çalışmada ihtiyaç duyulan reaktif güç aktif gücün %50 - 60'ı kadardır. Bu reaktif güç genellikle statik kompensatörlerle şönt bağlantı olarak elde edilir.

4.6. Doğru Akım Düzleme Reaktörleri :

Doğru akım düzleme reaktörünü kullanmanın amacı doğru akım hava hattı veya kablosu kullanıldığında doğru akımı düzleştirmek ve dış durumlara bağlı gerilim veya akım salınımlarını söndürmektir. Telefon hattı ile doğru akım hattı karışımları önleyebilmek için süzücü devreler kullanılır. Bu devrenin ana elemanı kapasitör olup hat ile toprak arasına π yada T tipi bağlanır. Kapasitör birimlerinde, gerilimin birimler arasında eşit olarak dağıtılması için dahili yada harici gerilim bölücüleri olmalıdır.

4.7. Alternatif Akım Filtreleri :

Alternatif akım, çeşitli mertebede ortaya çıkan harmonik akımları, kullanılan muhtelif büyüklüklerde şönt filtrelerle kısa devre edilmeleriyle önlenir. Bölgesel rezonans münasebetiyle, konverter istasyonlarından çok daha uzak mesafelerde bazı harmonikler meydana gelir ki bunları önceden kestirmek mümkün değildir. Sadece meydana geldikleri anda ve yerde kuvvetlenirler. Burada bu amaç için kullanılan filtrelerin harcadığı toplam reaktif güç normal şartlarda d. akım hatlarındaki aktif gücün %10 - 40 arasındadır.

Çevrecilerin oluşturdukları temel harmonikler dışında kalan diğer harmonikler dışında kalan diğer harmonikler (3,4,8,..) bazı durumlarda oluşurlar ki bunların meydana gelişi trafoların lineer olmayan karakteritiğine, dönen makinalar ve alternatif akım şebekelerinde oluşan rezonans'a bağlıdır. Konu ile ilgili olarak harmonikler başlığında daha detaylandırma yapılacaktır.



5. BÖLÜM

DOĞRU AKIM İLE ENERJİ İLETİMİNDE ZORLAYICI ETKENLER :

5.1. Harmonikler :

Herhangi bir elektrik devresinde parazit oluşturan etkenler akım ve gerilim harmonikleridir. Hat boyu meydana gelen akım ve gerilim harmonikleri, herhangi bir çeviricinin doğru gerilim çıkışında oluşan bileşenlerdir.

Bu harmonikler bir bobinle süzölmek suretiyle asgariye indirmek mümkündür.

γ : Komütasyon açısı

γ azaltıldıkça harmonik düşüşü oluşur.

α : Tetikleme açısı

α açısının değişimi harmonikte fazla bir azalma göstermemektedir. Çünkü α $0^\circ - 10^\circ$ arasında en büyük değişikliğe müsaittir.

Normal işletme şartlarında $\alpha < 10^\circ$ ve $\gamma \cong 20^\circ$ civarındadır. Bundan dolayı harmonikler düşük düzeydedir. Harmoniklerin çok büyük değerlerde üretildiği durumlar arıza durumlarıdır. Çünkü α hemen hemen 90° 'ye yaklaşır. γ yine küçük değerdedir. Buna rağmen büyük değerlerde harmonik üretmek kaçınılmaz olur.

Doğru akım ve gerilimlerde harmoniği etkileyen en önemli faktör çeviricinin yol sayısıdır. Çünkü harmoniğin numarasını yol sayısı tayin eder. Eğer transformatörlerin bağlantısı ve darbe sayısı uygun değerde alınırsa bu harmoniklerin bir kısmı ortadan kaldırılabilir.

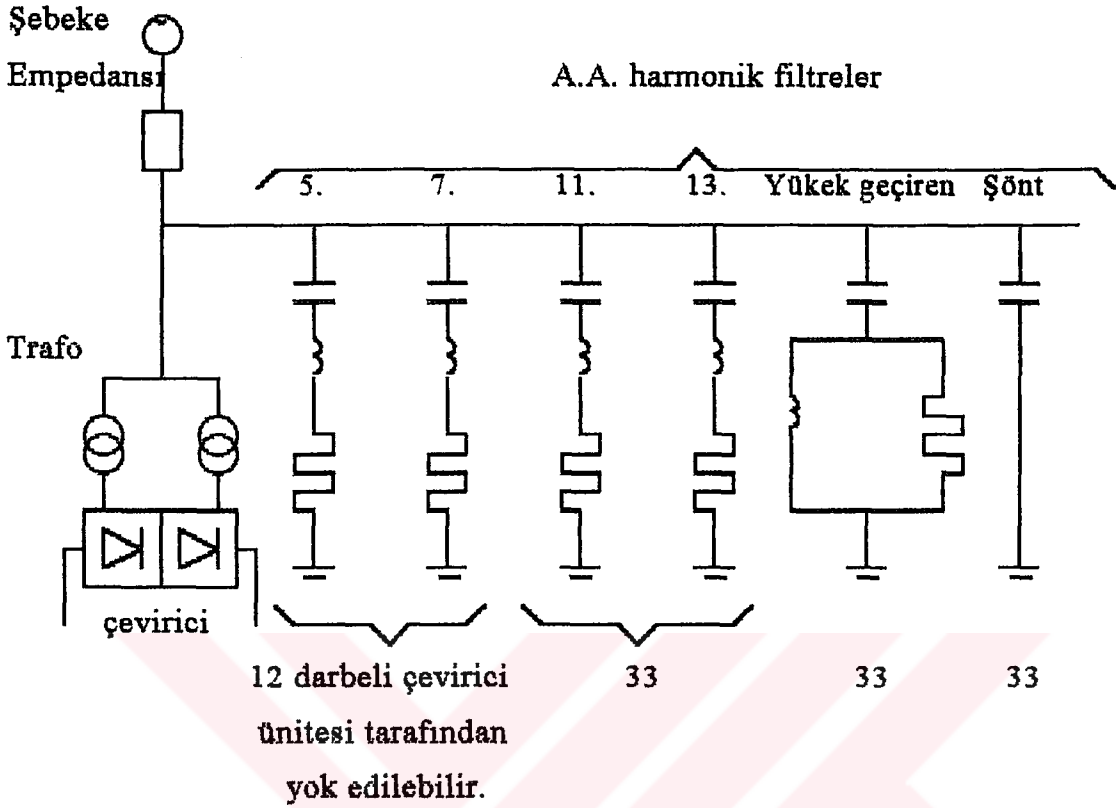
Harmoniklerin azaltılması için, belirli harmonikleri yutan devrelerden yararlanılır. Bu devrelere filtre adı verilir. Mesela; 6 - yollu bir çeviricide 5. ve 7. harmonikler uygun filtrelerle zayıflatılabilir. Yine komütasyon devresindeki reaktanslar, şebeke akımının büyük numaralı

harmonikleri zayıflatır. Bu reaktanslarla komitasyon esnasında ani akım değişimlerine mani olunur.

Harmonikler	5	7	11	13	17	19	23	25
Alternatif akımda I_h/I_0 % distorsiyonu	16,5	9,5	3	1,5	1	1	0,8	0,6
Filtre edilmemiş alternatif gerilimin % distorsiyonu	16,5	13	7	4	3,5	3,5	3,5	3
Filtre edilmiş alternatif gerilimin % distorsiyonu	0,7	0,7	0,5	0,5	0,15	0,15	0,15	0,15

(Tablo - 5.1.)

Tablo 5.1. 'deki değerler $\alpha = 15^\circ$ ve $\gamma = 15^\circ$ içindir. harmonik analizi yapıldığı zaman filtre düzeninden söz edilmiştir. Bu alternatif akım filtreler, şebekenin yüksek gerilimli fazlarına yada trafoların 3. sarımlarına direnç ve kondansatörlerden oluşmuş seri endüktans devrelerinin bağlanmış halidir. Harmonikler bu devrelerin rezonans frekanslarında lup yüksek mertebededir (5,7,11,13, ...). Bunlardan daha yüksek seviyedeki harmonikler için kullanılan filtrelerin frekans bantları geniş, empedansları ise küçüktür. Temel harmoniklerde filtre ayarı otomatik olarak ya bir tap değiştirici ile yada sarımlar arasındaki elektro magnetik kuplajın değiştirilmesiyle yapılabilir. Böyle bir alternatif akım filtre düzeni şekilde olduğu gibidir.



Şekil - 5.1. alternatif akım devresi

Elemanların değerleri, süzülecekleri harmonik bileşen derecesine , gerilime, akıma ve güce bağlı olarak değişebilir.

İngiltere - Fransa doğru akım iletim sisteminde bulunan Lydd istasyonuna ait harmonik filtre düzeni ve değerleri ;

V_b : Boşta çalışma gerilimi

V_k : $k^{\text{ıncı}}$ gerilim harmoniğinin efektif değeri

k : Harmonik numarası (t.p.)

t : 1,2,3,.....

p : Bağlantıdaki yol sayısı

$$\frac{V_k}{V_b} = \frac{\sqrt{2}}{k^2 - 1} \quad (5.1)$$

33 kV/faz için referans değerler ;

$$C'_1 = 36,1 \quad , \quad C'_2 = 24,23 \quad , \quad C'_3 = 36,1 \quad , \quad C'_4 = 192,53 \mu\text{F}$$

$$L'_1 = 1,44 \quad , \quad L'_2 = 1,5 \quad , \quad L'_3 = 13,05 \text{ mH}$$

$$R'_1 = 6,3 \quad , \quad R'_2 = 0,1041 \quad , \quad R'_3 = 13,05 \Omega$$

Doğru akım tam süzölmüş olması durumunda alternatif akım tarafındaki akım sinüsoidal dikdörtgen dalga blokları şeklindedir.

Harmoniklerin ana dalga cinsinden bağıl değerleri ;

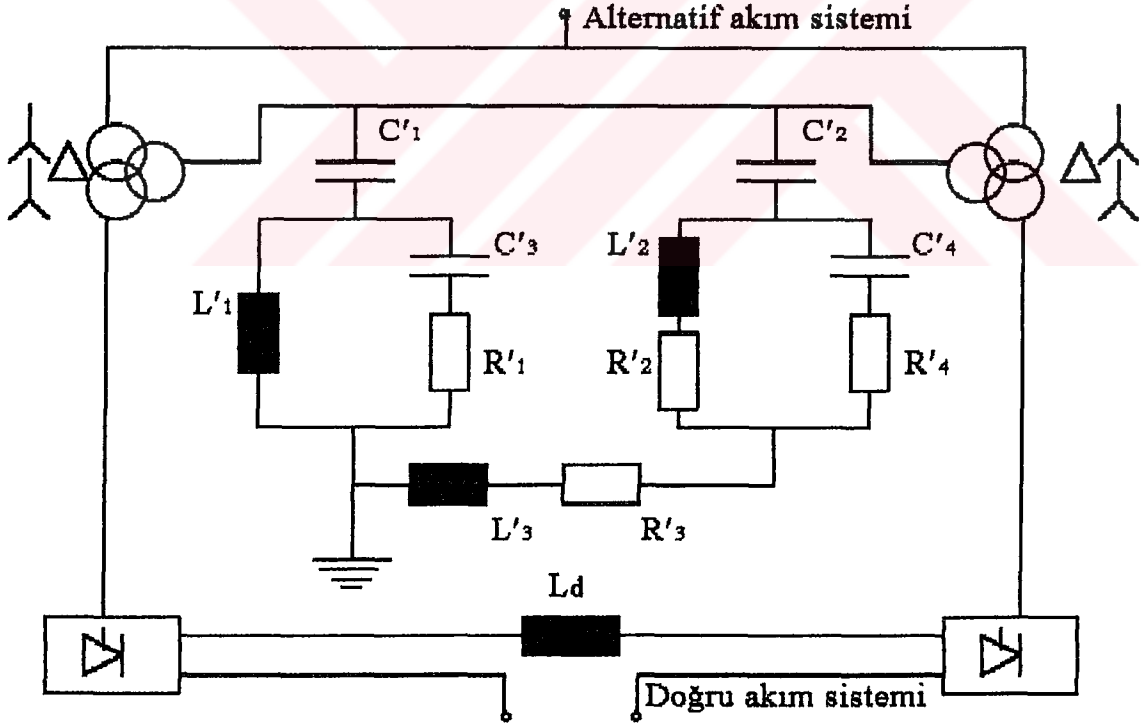
$$\frac{I_k}{I_1} = \frac{1}{k} \quad (5.2)$$

I_k : ...üncü akım harmoniğinin efektif değeri

I_1 : Temel akım bileşiminin efektif değeri

$$k = tp \pm 1 \quad (5.3)$$

Lydd istasyonuna ait harmonik filtre düzeni şekilde olduğu gibidir.



Şekil -5.2. İng-Fransa d.a. iletiminde Lydd istasyonuna ait harmonik filtre analizi

5.1.1. Doğrultucudaki Harmonik Distorsiyon :

Doğrultucu çıkışında doğru akım alınmak isteniyorsa, çıkış akımının fourier serisi açılımındaki doğru akım bileşeni dışındaki tüm harmoniklerin olmaması arzu edilir.

Fourier serisinin açılımına göre çıkış akımı

$$I_d = I_{d0} + \sum_k I_k \cdot \sin k (wt - \psi_k) \quad (5.4)$$

$k = 1,2,3,\dots$ genel bağıntısı ile verilebilir.

Burada ;

I_{d0} : Faydalı doğru akım bileşenidir.

Efektif değere göre I_d ' nin efektif değeri için ;

$$I_d = \sqrt{I_{d0}^2 + I_{d1}^2 + I_{d2}^2 + \dots} \quad (5.5)$$

elde edilir.

Fourier serisi açılımında harmoniklerin toplam efektif değeri ;

$$I_a = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots} \quad (5.6)$$

$$I_d = \sqrt{I_{d0}^2 + I_a^2} \quad (5.7)$$

d : Toplam harmonik distorsiyonu

Buna göre doğrultucu çıkışındaki toplam harmonik distorsiyonu veya dalgalılık ;

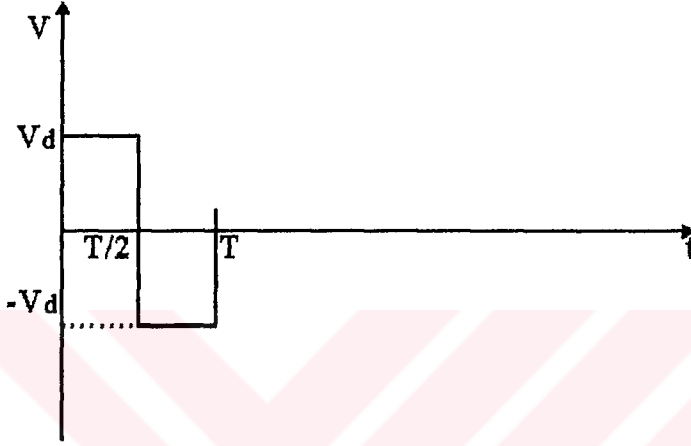
$$d = \frac{I_a}{I_d} \quad (5.8)$$

$I_a = d \cdot I_d$ bağıntısı için ;

$$d = \frac{\sqrt{I_d^2 - I_{d0}^2}}{I_d} \quad (5.9)$$

5.1.2. 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 gerekir.



Şekil -5.3. Periyodik dikdörtgen dalga

Böyle bir dalga için Fourier serisi açılımı ;

$$d = \sqrt{1 - \frac{V_{d1}^2}{V_d^2}} = \sqrt{1 - \frac{8}{\pi^2}} \cong 0,44 \quad (5.10)$$

Çoğu uygulamalarda harmonik distorsiyonu sakıncalı olur. Harmonikleri azaltmak için süzgeç devrelerindende faydalanılıyorsa da, büyük güç transferlerinde süzme işlemi sorunlar doğurur ve ekonomik olmaz.

Doğrudan doğruya evirici çıkışında harmoniği düşük dalga şekli elde etmek ve süzgeç devrenin yükünü hafifletmek uygun olur. Bunun için 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 :

Eğrilik yarıçapı nispeten küçük olan elektrodalarda görülen, tam olmayan ve kendini besleyen deşarj KORONA olayı denir.

Elektrodlara yakın oluşan alanın yüksekliği gerilimin yavaş yavaş artırılmasıyla olur ki, çarpma suretiyle iyonizasyon başlar. Böylelikle elektrodu saran ince tabaka, tam olmayan deşarj için lazım şartlar sağlanır.

Gerilim artışına paralel olarak akımda artacağı için iletken ışıklı bir zar ile örtülür ve cızırtılar duyulur. Akımın daha da artması ile kıvılcımlaşma artar, ön deşarj ve ışık saçılımı artar. Sonuçta Korona deşarjı meydana gelir. Bu temel açıklama çerçevesinde;

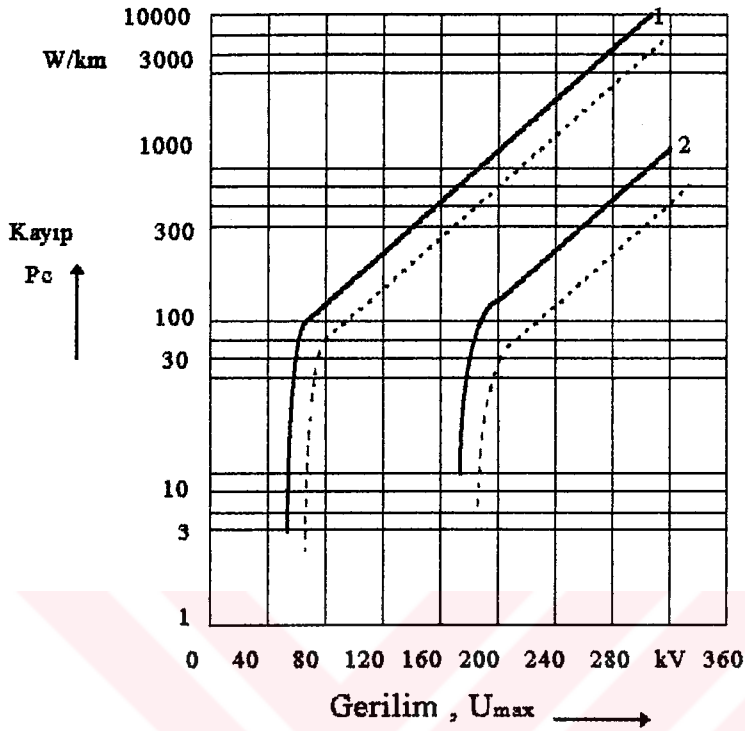
5.2.1. Alternatif Akımda Korona Kayıpları :

Korona olayı konusunda sağlıklı bir bilgi edinmek biraz güç. Çünkü korona olayı karakter bakımından zamana göre değişken olduğundan ve yine korona araştırması, şartlara bağlı olarak değişken bir durum gösterdiğinden bu konuda değişik bağıntılar elde etmek mümkündür. Bu bağıntıla kesin olmamakla beraber, genel duruma cevap verebilecek niteliktedir. Kayıplar, sıcaklık, hava basıncı, frekans, iletken çapı, gerilim, iletken yüzeyi ile ilintilidir.

5.2.2. Doğru Akımda Korona Kayıpları :

Doğru akımda korona kayıpları test aşamasında yapılmış olup bunlardan en önemli 2 tanesi ;

-Strigel, normal şartlar çerçevesinde çeşitli yarıçaplı iletkenlerle deneyler yapmış ve doğru gerilim ile aynı tepe değerde olmak kaydıyla alternatif gerilim için korona kayıpları karşılaştırılmıştır. Çapı 25mm. olan iletkenlerle 3,75 m. aralıklı çift hat üzerinde deneme yapıldığında ;



Şekil - 5.4. Alternatif ve doğru gerilimdeki korona kayıpları mukayesesi

..... Doğru gerilimde

————— 50 Hz'lik alternatif gerilimde

(1) : Yağmurda

(2) : Açık havada

Alternatif akımda korona kayıpları daha azdır.

-1946 yılında bir ay süreyle İsveçç' te 480 m.'lik bir hattın doğru ve alternatif gerilimindeki korona kayıpları rasat edilmiştir.

Tüm hava şartlarında yapılan ölçümlerde, doğru gerilimdeki kayıplar alternatif gerilime nazaran küçük olduğu görülmüştür. İletken tayininde salt korona kayıpları nazara alınsaydı alternatif gerilim (U) yerine $1,35 U$ gibi bir doğru gerilim uygulanırdı. Radyo pozitiflerden bu değer $1,1 U$ doğru gerilimine tekabül eder.

5.2.3. Tek Kutuplu ve Çok Kutuplu Hatlarında Korona :

Negatif kutup için korona kayıpları, bir kaç pC' luk darbelerin tekrarlanmasıdır. Pozitif kutupta bu darbelerin tekrarlanması süresi daha azdır. Fakat şarjların değeri bir kaç pC' dur. Her bir akım darbesi süresi μs mertebededir.

Korona deşarj mekanizması her ne kadar kutuplara göre farklılık gösterse de bu iki ayrı kutuptaki ortalama korona kayıpları yaklaşık olarak aynıdır.

Çok kutuplu YGDA hatlarında ortalama korona kayıpları tek kutuplu katlara göre biraz daha azdır.

5.2.4. Çift Kutuplu Hatlarda Korona :

Çift kutuplu hatlardaki toplam ortalama korona kayıpları aynı tip iletken ve aynı işletmedeki 2 tek kutuplu hattaki korona kayıplarından daha fazladır. Bunun nedeni, iletkenler arasındaki boşlukta pozitif ve negatif yüklerin tekrar birleşmesinden oluşur. Şayet topraklam teli kullanılacaksa tek kutuplu hatlarda tetbir amacıyla topraklama telinin iletkene olan mesafesi yeterince büyük seçilmelidir.

5.2.5. Korona Kayıplarının Hesabı :

Yazılan bağıntılar İsveç Annelberg' te yapılan çok sayıdaki periyodik inceleme ve testler neticesi denklemlerdir. Buna göre korona akımı ;

$$I_c = C \cdot m \cdot r \cdot 2^{0.25 \cdot (E_{max} - E_0)} \cdot 10^{-3} \quad [A/km] \quad (5.12)$$

Burada ;

C : İletken yüzey sabiti ($0,15 < C < 0,35$)

m : İletkendeki demet sayısı

r : İletken (kablo) yarıçapı

E_{max} : Kablo yüzeyindeki maximum alan şiddeti

$$E_{max} = E_{ort} \cdot \left[1 + (m - 1) \cdot \frac{r}{R} \right] \quad (5.13)$$

R : Demet İletkenlerin merkezleri arası uzaklık

E_{ort} : Kablo yüzeyindeki ortalama şiddeti

$$E_{ort} = \frac{C \cdot V}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot m \cdot \epsilon} \quad (5.14)$$

V : İletken ile toprak arası gerilim (V)

C : Hattın birim uzunluğunun kapasitesi (F/m.)

ϵ : Havanın permivitesi (F/m.)

E_0 : Referans alanı şiddeti

δ : Bağıl hava yoğunluğu

$E_0 = 22 \cdot \delta$ ise, korona kayıpları ;

$$P_c = C \cdot \sqrt{30} \cdot m \cdot \left(\frac{P}{n} \right)^{0,75} \cdot 2^{0,25(E_{max}-E_0)} \cdot 10^{-5} \quad (\text{kw/km}) \quad (5.15)$$

n : Kutup sayısı

Örnek : 4 demetli, ± 600 kV, 2 kutuplu hattın iletken çapı 4 cm, kesit 950mm², demet aralıkları 45cm' dir. Böyle bir hat için korona kayıpları 18kW/km' dir.

5.3. Radyo Parazitleri

Bir YGDA hava hattında 3 ana sebepten radyo parazitleri meydana gelir.

- Valflerin ateşlenmesiyle oluşan darbeler
- İzolatörlerdeki kısmi deşarjlarla
- Hattaki korona darbeleriyle

Radyo parazitleri denklemi ;

$$F_o = 25 + 10 \cdot \log m + 20 \cdot \log r + 1,5 (E_{max} - E_o) \quad (\text{dB}) \quad (5.16)$$

Burada $E_o = 22 \text{ kV/cm}$. deniz seviyesi değeridir. Fakat bu değer bağıl hava yoğunluğu ile azalır.

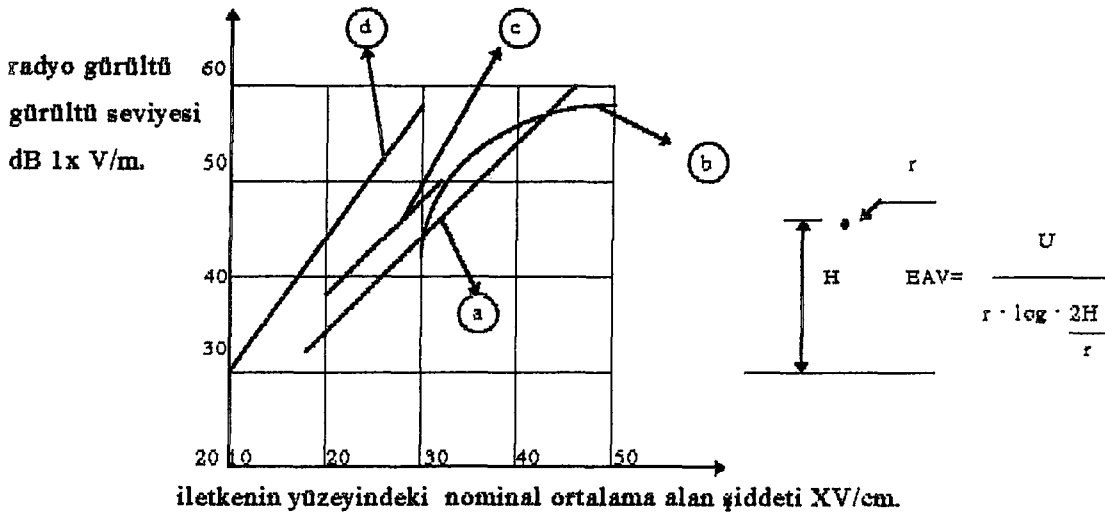
a,b,c,.....iletkenlerinin parazitleri F_a, F_b, F_c, \dots ise ve içlerinde parazit seviyesi F_a ise toplam parazit :

$$F = F_a + 10 \log (1 + 10^{-0,1(F_a - F_b)} + 10^{-0,1(F_a - F_c)} + \dots) \quad (5.17)$$

Pozitif yüklü iletkenlerde radyo parazitleri söz konusu olup negatif yüklemde çoğu kez ihmal edilebilir.

5.3.1. Tek Kutuplu ve Çok Kutuplu D. Akım Hatlarında Radyo Parazitleri:

Koronadan dolayı oluşan radyo parazitleri negatif kutupta daha azdır. Bunun sebebi negatif kutupta toplam korona kayıpları daha büyük olmasına rağmen, negatif darbeler genellikle efektif değer olarak çok küçüktür.



Şekil - 5.5. Açık havada, tek kutuplu (pozitif) hattın, 30m. uzaklıktaki 1 Mhz radyo parazit seviyedeki elektrik alan şiddeti.

ΣAV : Nominal alan şiddeti

H : İletkenin topraktan yüksekliği

r : Kablonun yarıçapı

u : Kutup gerilimi

(a) Düzgün silindirik Al $d = 37\text{mm}$, $H = 12,5\text{m}$.

(b) ACSR ileken $d = 27,7\text{mm}$, $H = 12,5\text{m}$.

(c) ACSR " $d = 36,2\text{mm}$, $H = 13\text{m}$.

(d) Düzgün silindirik Al $d = 100\text{mm}$, $H = 10\text{m}$. çok kutuplu sistemlerdeki radyo parazit seviyesi aynı işletme geriliminde çalışan tek kutuplu bir hattinkine eşit veya daha az olur.

5.3.2. Çift Kutuplu D. Akım Hatlarında Radyo Parazitleri :

Tek bir iletken yerine aynı toplam kapasite sahip bir demet iletken kullanımı radyo paraziti seviyesini düşürür. Çünkü 2 iletken yüzeydeki elektrik alan şiddetleri arasındaki ilişki ve demet iletkenler kullanılarak elektrik alan şiddeti azaltılabilir. Yine de doğru akım hatlarında iletkeni çevreleyen uzay yükleri de demet iletken sayısının artmasına aynı tepkiyi gösterir. Toplam kutup alanı sabit tutularak iletken sayısını artırmakla doğru akımda iletim hatlarındaki radyo parazitlerindeki azalış kesin çözüm değildir.

5.3.3. Doğru Akım İletim Hattında Radyo Parazitleri İçin Alınan Önlemler:

Frekans aralığı 0,1 - 1 Mhz 'lik radyo haberleşmesine karışmalara karşı alınan önlemler.

a) Tesis yeri olarak bir vadi yerinin seçilmesi

b) Elektro magnetik radyasyonu engelleyecek şekilde tristör köprü yerinin tasarımı

c) Radyo parazitlerini engelleyecek biçimde manevra istasyonunun izolasyon tipinin seçilmesi

d) Bağlantı uçlarının yer kabloları olarak döşenmesi

e) Çevirici manevra istasyonundaki iletkenlerin boyları ve yüksekliklerini sınırlamak

f) Topraklama iletkenlerinin manevra istasyonu dışında tesis edilmesi

Radyo paraziti seviyesi, istasyondan 300m. uzaklıkta 1V/m'de 50dB altına kolaylıkla getirilebilir. Çıkış iletkenlerinde filtreleir kullanılması veya çevirici bölgenin izolasyonu, iletkenler ile toprak arasına R-C devreleri kullanımı, katot reaktörleri ve söndürücülerin kullanılması ile çok düşük seviyede radyo haberleşme parazitleri alınabilir.

5.4. Reaktif Güç :

Çeviricilerde faz kesme kumandası nedeniyle reaktif güç meydana gelir. Alternatif akım şebekesinin reaktif güç ile yüklenmesinin sebebi, α gecikme açısına bağlı faz gerilimi ile doğrultucu arasındaki faz farkıdır. Bu güçün;

-Komütasyon reaktif gücü

-Kumanda reaktif gücü

Olmak üzere iki bileşeni vardır. Kumanda reaktif gücü α 'ya bağlıdır. komütasyon reaktif gücün sebebi komütasyon devredeki reaktanslardır.

Çeviricilerde çalışma anında α gecikme açısı ve δ sönüm açısına bağlı olarak faz gerilimi ile çevirici arasında faz farkı oluşur. Her α değerinde sadece iki valf iletimde iken ve her biri periyodun 1/3'ünde iletimde kalırken, diğer periyod'ta kesimdedir. İletimdeki valfin biri periyodunu bitirip bir diğeri ilettime geçtiğinde, transformatörün sekonder tarafında iki faz arasında bir kısa devre oluşur. Çok kısa bir zamandaki bu olaya komütasyon ve bu zamana komütasyon süresi denir. δ nedeniyle bir sonraki valfin tetiklenmesi gecikirken akan akımın kesimi de gecikir. Akım ve gerilimler ararsındaki doğrultucu çalışmada θ_r , evirici çalışmada θ_i gibi faz açıları oluşur.

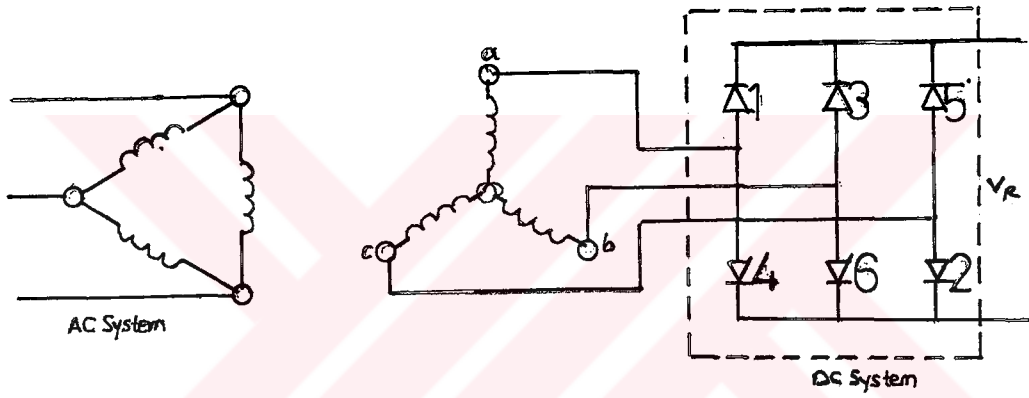
Bu açılar oluşturduğu güç faktörleri ;

$$\cos \theta_r = 1/2 \cdot [\cos \alpha + \cos (\alpha + \gamma)] \quad (\text{geri}) \quad (5.18)$$

$$\cos \theta_i = 1/2 \cdot [\cos \beta + \cos \delta] \quad (\text{ileri}) \quad (5.19)$$

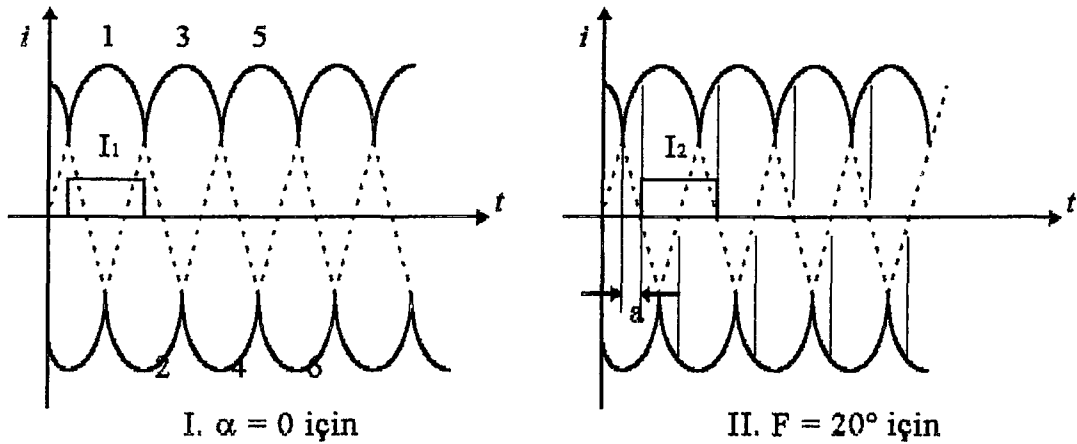
$$\beta = \delta + \gamma \quad (5.20)$$

Şekide 6 yollu köprü ünitesi görülmektedir.



Şekil - 5.5. 6 yollu çevirici ünitesi

Yine 6 yollu çevirici ünitesinde $\alpha = 20^\circ$ için 3 fazlı köprü doğrultucunun dalga şekli görülmektedir.

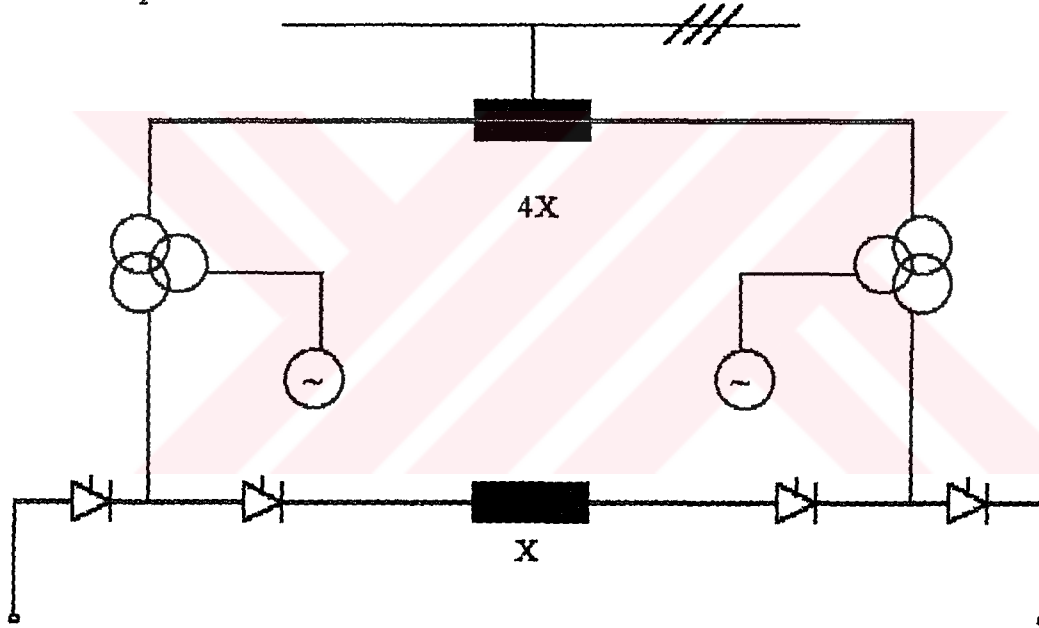


Şekil - 5.6. Üç fazlı köprü doğrultucunun dalga şekilleri

Normal çalışmada bir YGDA çevirici istasyonunun reaktif güç ihtiyacı iletilen aktif gücün %50 - 60' ı kadardır. Reaktif güç ihtiyacı, statik kapasitörler, senkron kompanzatorler veya her ikisinin bileşiminden temin edilir.

5.4.1. Senkron Kompanzatorlerle Reaktif Güç Temini :

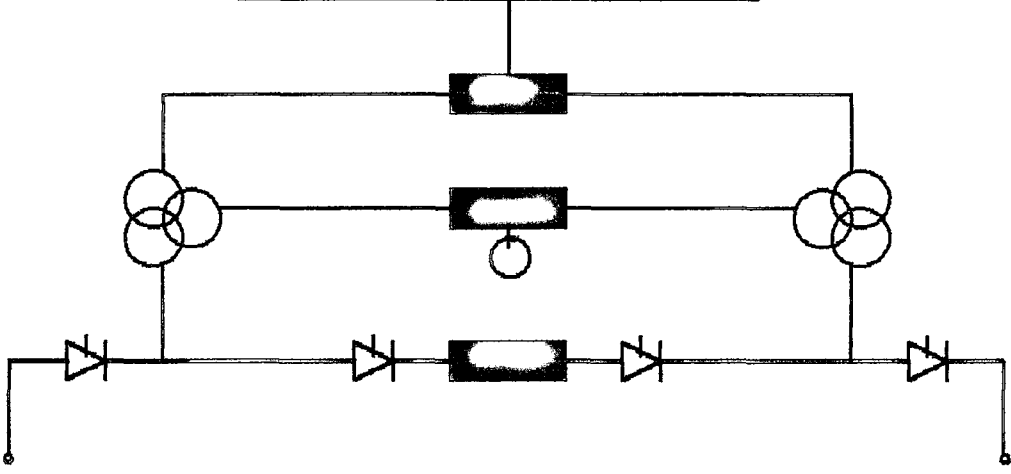
Bir çevirici istasyonuna gerekli reaktif güç, bölgesel alternatörlerin veya çevirici istasyonun besleme trafolarının 3. sargılarına monte edilen senkron kompanzatorler tarafından temin edilebilir.



Şekil - 5.7. 3.sargılar üzerinde kuple edilmiş senkron kompanzator yardımıyla kompanzasyon

Çeviriciyi besleyen yüksek gerilim şebekesinin X' reaktansı nedeniyle, köprülerden birindeki komütasyon, diğer köprünün besleme gerilimini oluşturur. Köprüler arasında $4X'$ değerinde bir kompanzasyon sargısı konarak ve sistemi bu reaktansın orta noktasından besleyerek köprü gerilimlerinin birbirinden bağımsız olması sağlanır. Bu bağlantının bir sakıncası 5. ve 7.

harmonikleri köprülere iletmesidir. Bunu, reaktansın orta noktasına yeni bir reaktansın bağlanmasıyla engellenir.



Şekil - 5.8. Paralel bağlı 3.sargılar üzerine kuple edilmiş senkron kompanzatorler yardımıyla kompanzasyon

5.4.2. Kondansatörlerle Reaktif Güç Temini :

Şebeke reaktif güç sözkonusu değilse, bu güç kondansatörlerle temin edilir. Kondansatörleri muteakip şebeke sonsuz şebeke gibi davranır. Öte yandan kondansatör bağlamakla harmoniklere karşı filtre görevi yapar. Böylece harmonik akımları sınırlandırılır. Kondansatörler devreye direkt bağlanır. İç ihtiyaç gücünü karşılayan gerilim kaynağı varsa, besleme trafolarının 3.sargıları kaldırılır. Bu da montajda basitlik ve ekonomik olur.

Son olarak, reaktif gücün kompanzesi tasarımında göz önünde bulundurulacak hususlar ;

- Alternatif akım bara geriliminin regülasyonu
- Alternatif akım bara geriliminin bozulmaması
- Ani yük azalmalarında gerilim artışı
- Yüksek gerilim doğru akım sisteminin kararlılığı ve hızı

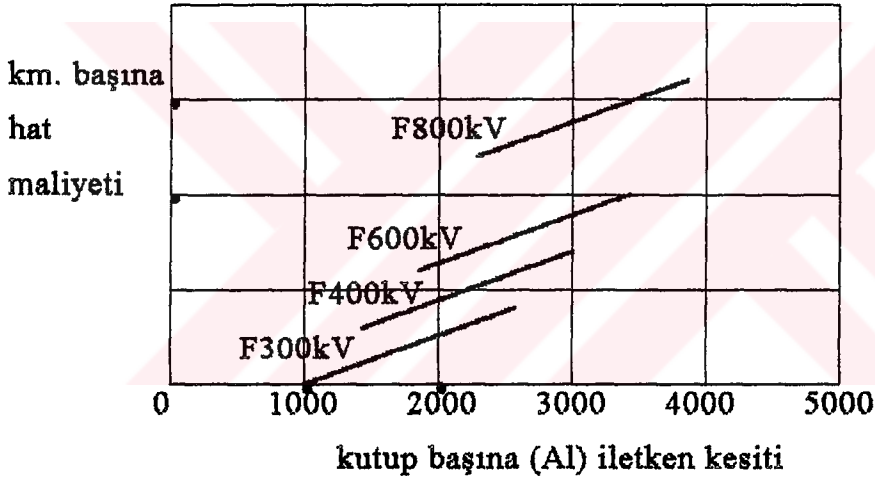
6. BÖLÜM

6.1. Doğru Akım Hat Gerilimi Tayini :

Optimum hat gerilimi, iletilen nominal güç, çevirivi istasyon maliyetleri, toplam kayıp maliyetlerine göre seçilir.

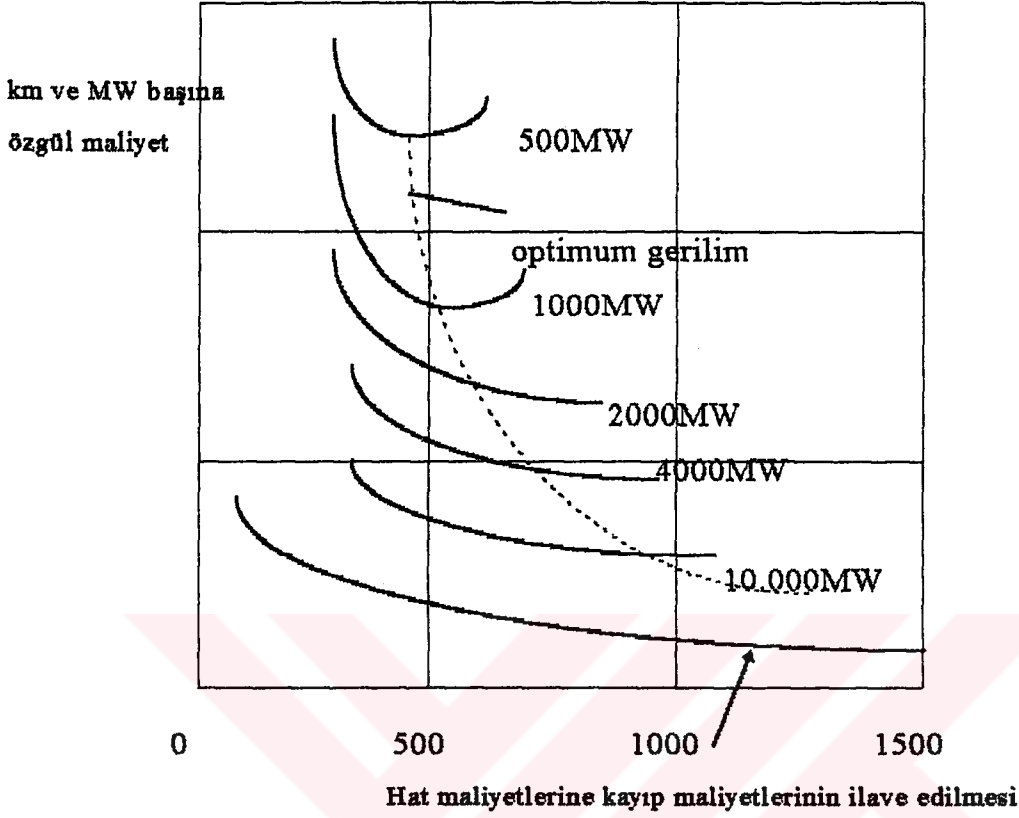
Önce hat ve terminallerin maliyetleri hesaplanır ve daha sonra toplam optimizasyon yapılır.

6.2. Doğru Akım Hat Maliyetleri :



Şekil - 6.1. Al iletken için farklı gerilimlerde YGDA hat maliyetleri

Yukarıdaki şekil km. başına d.akım hat maliyetlerinin değişimi gösterilmiştir. Sadece 400kV'un altındaki doğru gerilimlerde gerilim seviyesinin maliyete tesiri azdır. Dha üst gerilimlerde maliyet hızla artar. Bu eğrilerdeki Hat maliyetlerine, nominal kutup gerilimdeki kayıp maliyeti de eklenince elde maliyet eğrisi ;



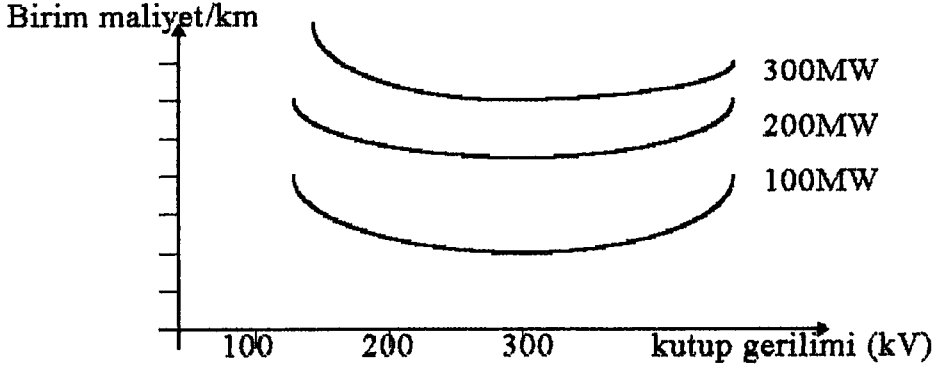
Şekil - 6.2. İki kutuplu YGDA hat maliyetleri için kayıp maliyetlerinin eklenmiş hali.

Şekilde görülen en alt kısımdaki eğri yük kayıplarının maliyetlerini göstermektedir. Teorik anlamda da bütün eğriler için toplam hat maliyetinin önemli bir kısmının %30 civarını sürekli olarak ana sermayeye eklemekte mümkündür. Alternatif hatlar için yatırım maliyetleri ve kayıp maliyetlerinin optimum olarak kabul edilir. Aynı nominal güçte iletimde doğru akım ve alternatif akım hatlarının maliyetleri oranları yaklaşık $2/3$ 'tür.

6.3. Kablo Maliyetleri :

Her iki akım türü için kablo maliyetleri arasındaki oran $1/3$ 'tür. İletken sıcaklığı belirtilen değerleri aşarsa akım yoğunluğu hızla azalır. Sebebi eğrilerden de görüldüğü gibi birim maliyet ile düşük gerilim sahasında seçilen

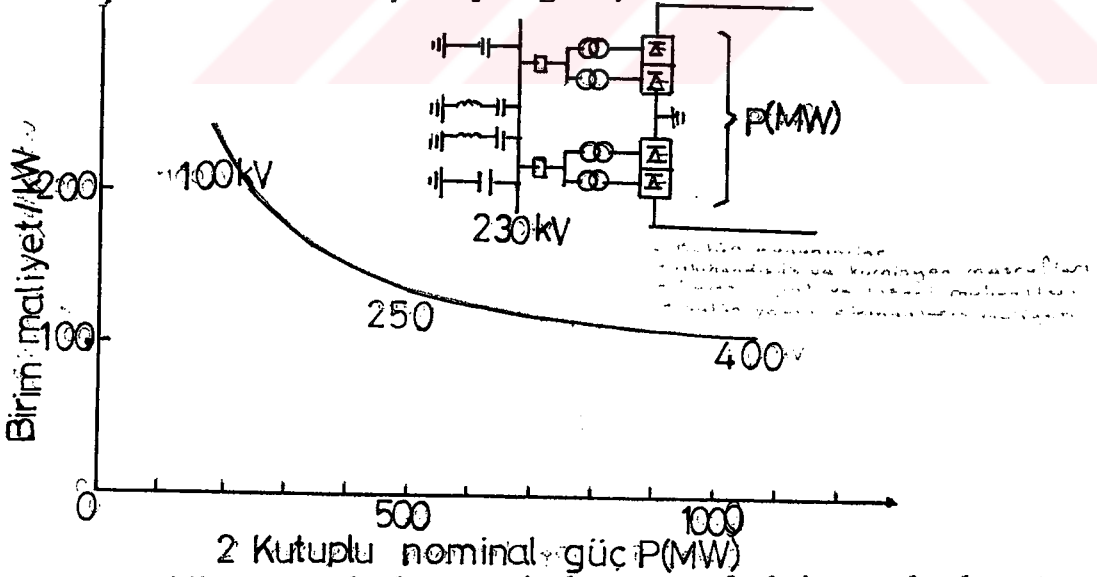
nominal kablo parametreleri arasında seçilen nominal kablo parametreleri arasında kuvvetli bir ilişkinin var olmasıdır.



Şekil - 6.3. Katı yalıtkanlı kablolarda özgül maliyet

6.4. Doğru Akım Çevirici Terminal Maliyetleri :

12 yollu çevirici terminallerin 2 kutuplu ve kutup başına 12 yollu bir çevirici olmak üzere, maliyet eğrisi ;



Şekil - 6.4. 2 kutbun nominal gücünün fonksiyonu olarak öz terminal maliyetlerinin değişimi

Eğri bütün donanımları ve 230 kV'luk alternatif akım terminale bağlı olan bütün güç faktörü kompozasyon devreleri de kapsar. En geniş

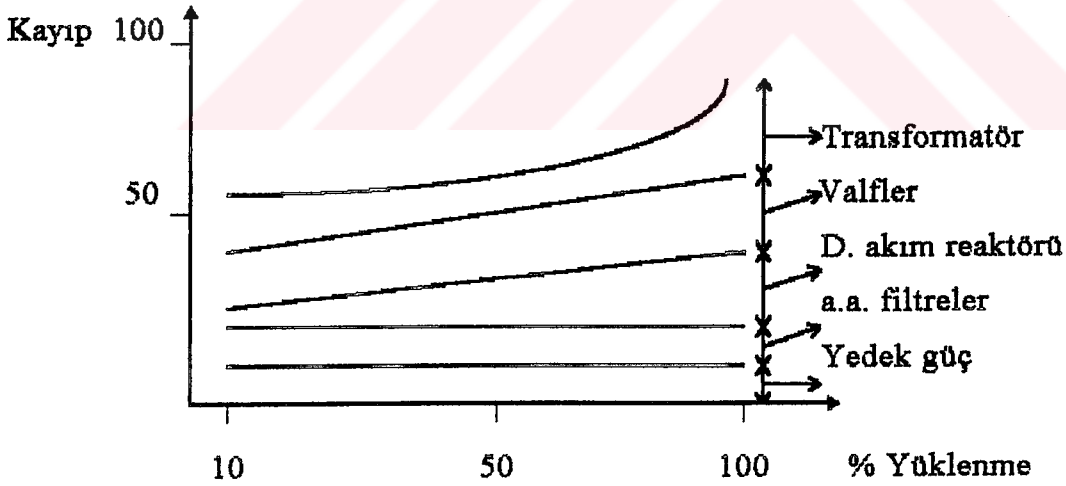
yeri çeviriciler tutar ve terminal maliyetlerinin esasını ile çeviricinin boyutları tayin eder. Eğri iletilecek nominal gücün kapasitesine bağlı olan doğru gerilim değerlerini de gösterir.

Doğru akım terminali enerji üretim istasyonuna bağlı ise çeviricileri ferdi generatörlerden ayırt etmek için direkt kullanmak gerekiyorsa, gerilim kontrolü regülatör ile yapılabilir. Sistem tek bir yük generatörü ve çeviricilerden meydana geliyorsa harmonik filtrelere gereksinim olmaz. Generatörleri harmoniklere dayanacak biçimde dizayn etmekle halledilebilir.

6.5. Hat Kayıpları :

Bu kayıplar korona ve direnç kayıplarıdır. Skin Effect olayının oluşmaması için yüksek akım yoğunlukları kullanılır. Anaparaya katılmış kayıp maliyetleri bu seçime bağlanır.

6.6. İstasyon Kayıpları :



Şekil - 6.5. Çevirici istasyonun kayıplarının yüküne bağlı değişimi

Valf kayıplarının önemli bir kısmını teşkil eden iletimdeki gerilim düşümleri tristör valflerde oluşur. Transformator kayıpları da toplam terminal kayıplarının büyük bir kısmını oluşturur. İzlanda - İngiltere denizaltı

yüksek gerilim doğru akım enerji iletiminde ± 400 kV'luk çevirici istasyonundaki kayıp;

Yer	%Kayıp
Çevirici transformatörleri	51
Tristör valfler	32
Doğru akım düzleme reaktörleri	6
Alternatif akım filtreleri	7
Diğer	4

İletim hattında ve çevirici istasyonlarda oluşan toplam iletim kayıpları ancak 250 km.'nin üstündeki mesafeler için alternatif akımınkinden daha az olur.

7. BÖLÜM

İŞLETME BAKIM, KARARLILIK, KULLANILABİLİRLİK :

7.1. İşletme :

Bir YGDA çevirici istasyonunun işlemesi bir alternatif akım generatörünün işlemesi gibidir. Uzaktan kumanda sistemi geniştir. İşletme anında görülen normal dalgalanmalar çeviricinin kendi içinde halledilir. Bu aşamadan sonra otomatik kapama düzeni kullanılır. Böylelikle hat boyunca hem valf hem de toprak arızaları çözümlenir.

Çevirici istasyonunda bir operatör bulunur ve istasyon frekans, akım vb. gibi değerler el ile ayarlanır. Arıza sinyalleri, devre kesicilerin açık veya kapalı konumunda olmalıdır.

İletimi başlatmak veya sona erdirmek operatörün yetki alanındadır. Herhangi bir güç değişikliği için haberleşmeden yararlanılır. Haberleşme kanalındaki kesinti durumunda, iletilen güçte bir değişiklik söz konusu değildir.

7.2. Bakım :

Periyodik olarak çevirici istasyonlarının her bölümü yılda bir kez kontrole tabi tutulmalıdır. Kontrol aletleri ; akım ve gerilimleri referans değerlerle mukayese eden özel ölçü aletleridir. Kontrol, her tristör devresinin ve valfleteki ortak donanımın bütün işlevleri dikkate alınarak yapılmalıdır. 12 yollu çeviriciler eğitilmiş uzmanlarca 250 iş günde bir bakıma alınır.

7.3. Kararlılık :

Hatların taşıma kapasitesi sistemin kararlılığına bağlıdır. Kararlılık arttıkça hatların taşıma kapasitesi artar. YGDA ile enerji iletimi sisteminin

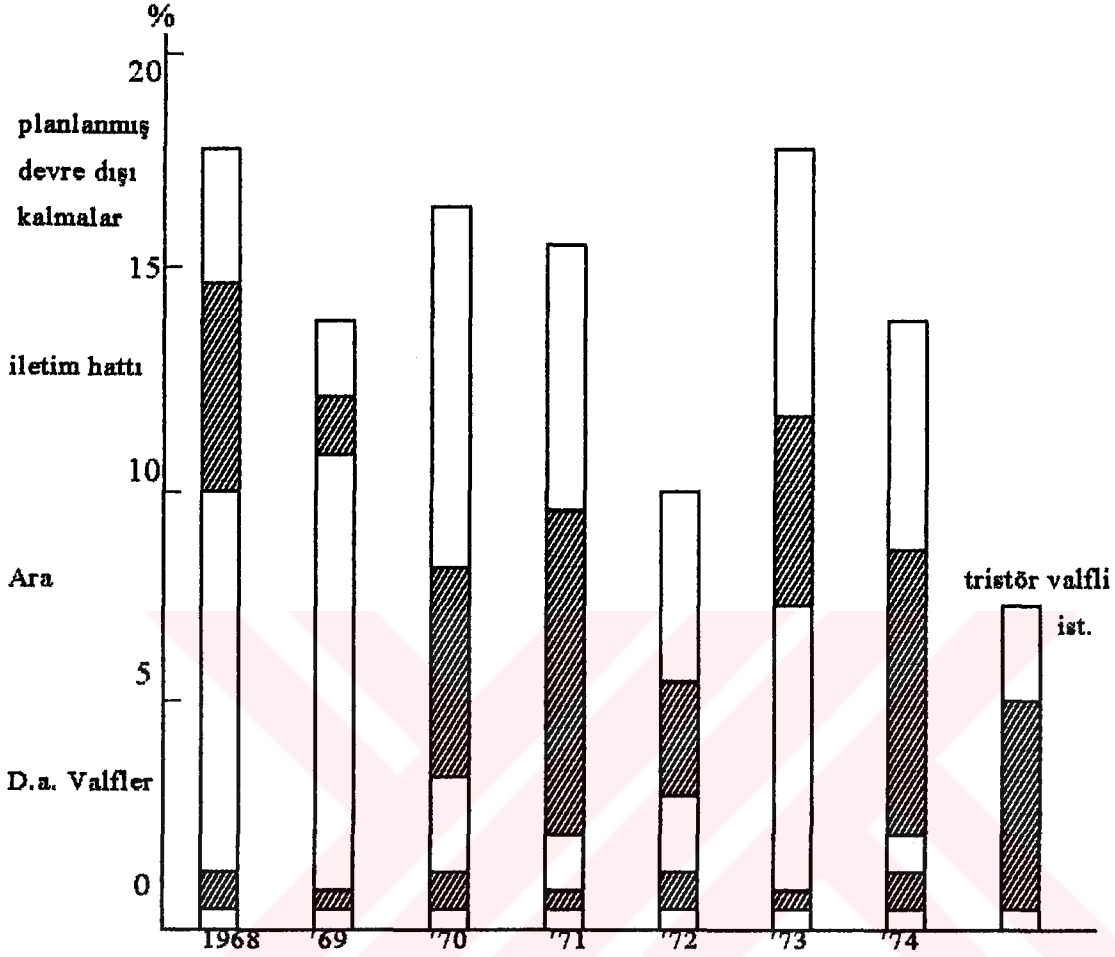
kararlılığını artırır. Alternatif akımda kararlılık ek maliyet oluşturur. Çünkü kararlılığı oluşturmak için yeni hatlar eklemek ve hatların faz farkını azaltmak için seri kompanzasyon ihtiyacını karşılamak gerekir. YGDA' da kararlılık, sistemin güç salınımlarının genliklerini azaltarak elde edilir. Sistem hızlı davrandığından salınımları söndürme yeteneğine sahiptir. Böylece kararlılığı korumada en kötü durum olan ilk salınım periyof-dunda kararlılık sağlanır.

7.4. Kullanılabilirlik :

Belli bir süre zarfında enerji iletim kapasitesi YGDA ile enerji iletiminin kullanılabilirliğidir. Çalışma süresi ne kadar az olursa o sistemi kullanabilme o kadar iyidir. Kullanılabilirliği bozabilecek durumlar riskin en fazla olduğu tristör grupları, koruma ve kompanzasyon sistemleridir. Nadir arızalanan çevirici transformatörleri ve düzleme reaktörleri, yedek parça bulunmaması durumunda kullanılabilirlik açısından önemli bir dezavantajdır. %97 - %98 ' lik bir yüzeyde ile YGDA' da kullanılabilirlik söz konusudur. Geri kalan yüzde genel bakım için kesintilerdir. Kullanılabilirlik, kayıpları devre dışı durumlarına göre 5 grupta toplanabilir.

- Valfler
- D. akım tesisi
- İletim hattı
- Planlanmış devre dışı kalmalar

Bu durumlar devre dışı kalmasına neden olurlar. Bir iletim sisteminin işletme güvenilirliğini artırmak için dikkate alınacak nakto, sistemin genellikle çift devre olarak çalıştırılmasıdır. İletkenlerden biri arıza yapınca diğeri çalışmaya başlar. Bunu için sistem, arıza durumunda tek bir iletken tam gücü iletebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Bunun da dezavantajı kayıplar iki katına çıkar.Ancak sistem kesintisiz çalışmayı sürdürür. 1968 - 1974 yılları arası %100' lük güç iletimi kapasitesine sahip kullanılabilirlik kayıpları tabloda görüldüğü gibidir.



Şekil - 7.1. İşletme halindeki YGDA bağlantılarının 1968 - '74 yılları arasındaki kullanılabilirlik kayıpları

Bu tablodaki değerler civa buharlı valfler içindir. Tristör kullanılırsa 1.,2.,3., ve 5. garfiklerde azalmalar görülür. %100' lük iletim kapasitesinde takriben %98,3' lük bir kullanılabilirlik ideal bir durumdur.

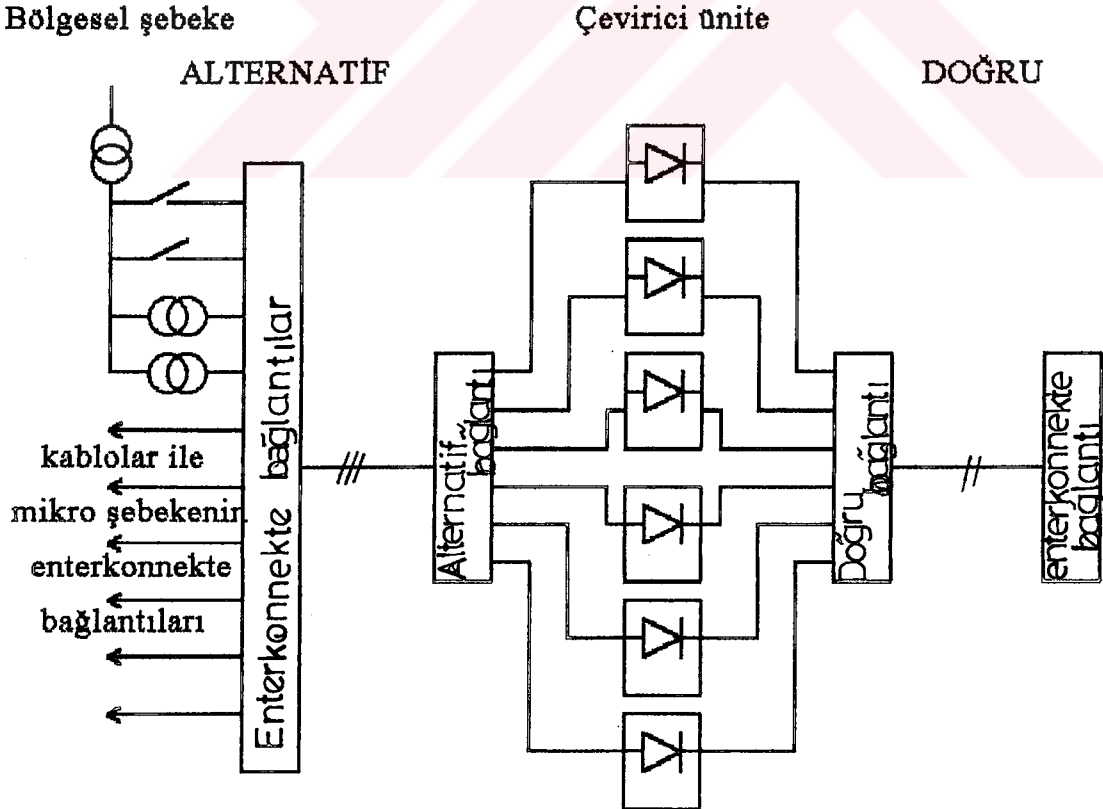
8. BÖLÜM

BİR DOĞRU AKIMDA İLETİM MODELİ :

Bu model birbirinden bağımsız 6 çevirici ünitesinden oluşmuştur. Fransız elektrik kurumunca 1963' te Paris'te hizmete sokulmuştur.

8.1. Kullanılan Elemanlar :

6 çevirici ünitesi merkezleştirilmiş kumanda masasının çevresinde yarım çember şeklinde gruplandırılmıştır. Bu masanın karşısında enterkonnekte bağlantı kutusu bulunmakta ve hatları ifade eden bloklarla çevrilmiştir. Ölçme panosu kontrol masası arasındadır. Kullanılan 4 alternatif besleme kaynağı vardır. Bunlardan ikisi oto trafodur.



Şekil - 8.1. Güç devresi şeması

8.2. Çevirici Ünite :

Farklı nominal güçlerden oluşmuş fakat aynı niteliklerden müteşekkildir (4ünite 0,5kW , 2ünite 1,5kW). Fark güç elemanlarının boyutlandırılması ile ilgilidir. Her ünite 2 panoda oluşur. Bunlar güç devreleri içindir. Şekil - 8.2.' de 500W' lık bir çevirici ünitesinin elektriksel şeması görülmektedir.

8.3. Güç Panosu :

8.3.1. Çevirici Köprü:

Bir köprünün nominal gücü trafolar ve enüktanslardaki kayıplar ile sınırlıdır. Doğru akım modelinin nominal gücü 0,5kW (400V , 1,25A) olan 4 köprü ve nominal gücü 1,5kW (400V , 1,25A) olan 2 tane köprüden oluşur. Bunlardan bazıları nominal güçlerinden 5 kat daha düşük güçlerde çalışabilmektedir. Her ünite de verim %93 civarındadır.

8.3.2. Besleme Trafosu :

Her bir besleme trafosu tek fazlı 3 trafodan oluşup kaçak reaktansları ayarlıdır. Trafoların nominal çevirme oranı (225 / 383V), trafonun boşta çalışması anında uçların değiştirilmesiyle ayarlanabilir. Oto trafolarla bu ayarlama yük altında iken de yapılabilir.

8.3.3. Alternatif Filtreler ve Söndürme Reaktörü :

Her çevirici ünite de kullanılan a.a. filtreler 5. ve 7. harmonikleri yok etmeye göre ayarlanmıştır. Söndürme reaktörü ise akımın doşımı anında oluşacak kayıpları ve aşırı gerilimleri sınırlamak içindir ve bunlar bir kaç mH' den 1,5 H' ye kadar ayarlanabilir.

ALTERNATİF FİLTRELER

Harmonik 5 ve 7
Harmonik 11 ve 13
/220

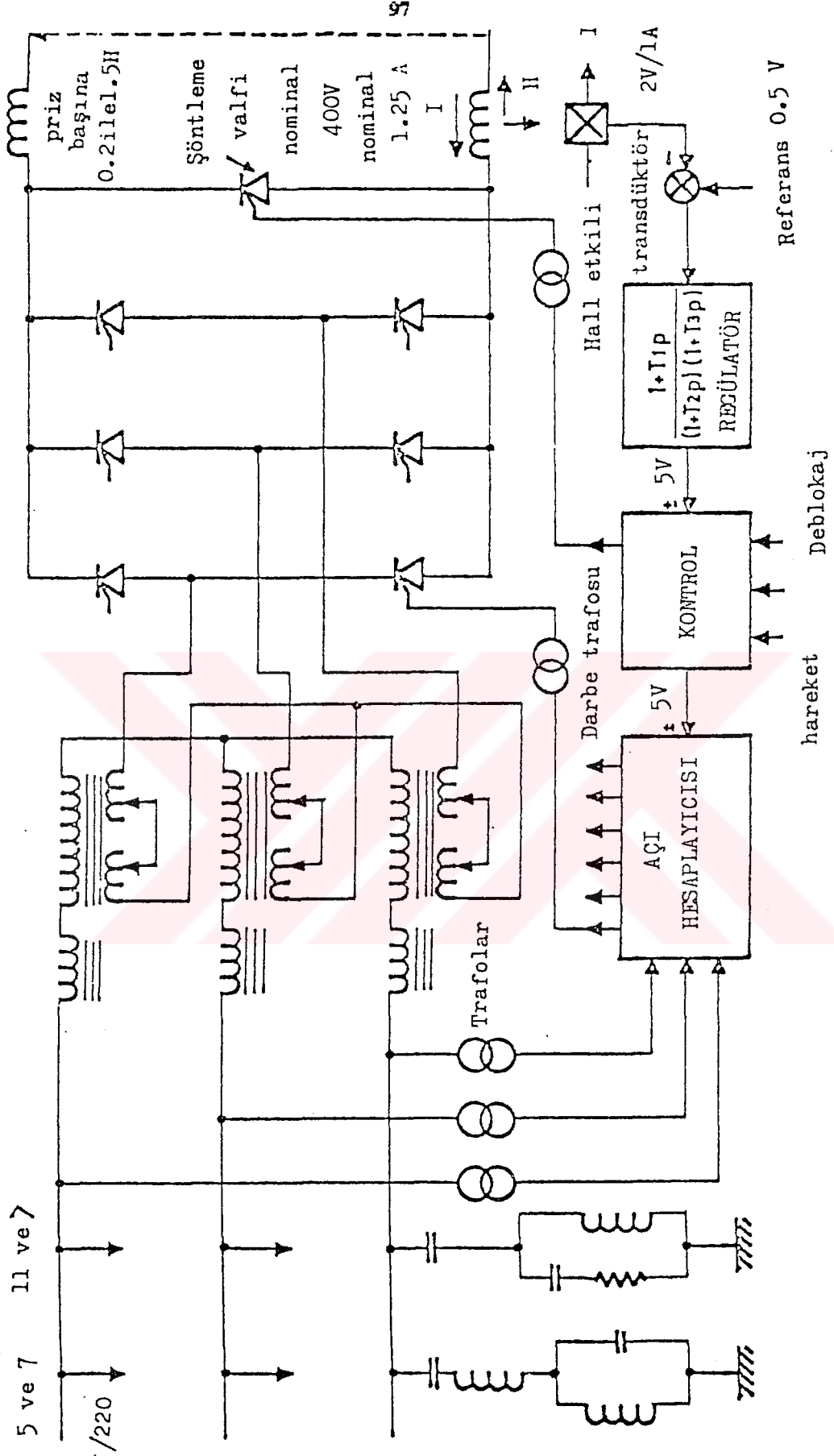
TRANSFORMATÖR

127/190 V

GREATZ KÖPRÜSÜ

Tristör 1200V-10A

SÖNDÜRME REAKTÖRÜ



Şekil - 8.2. 0,5 W' lık bir çevirici ünitesinin elektriksel şeması

8.4. Kumanda Panosu :

8.4.1. Ölçme Kısmı :

Köprüde kapalı çevrim kumandasının sağlamak için köprünün gerilim ve akımları ölçülmelidir. Panonun yüzeyinde bulunan 2 galvanometre ile köprüden ölçülen akım ve gerilim değerleri izlenebilir.

8.4.2. Regülatör - Kuvvetlendirici Kısmı :

Akım, gerilim ve güç ayarında, sistemin stabilitesi için gerekli şartlara uygun bir K kazancı elde edilmelidir. Ayarlanmış büyüklük ile olması gereken büyüklük arasında bir fark varsa açı hesaplayıcısına bir kumanda sinyali gönderilir. Bunun transfer fonksiyonunun ifadesi :

$$T(S) = K \cdot \frac{1 - \tau_1 \cdot S}{(1 - \tau_1 \cdot S)(1 - \tau_3 \cdot S)} \quad (8.1)$$

Kazanç ve zaman sabitleri potansiyometre ile ayarlanır. Pano yüzeyindeki iki galvanometre biri sürekli rejimde köprü üzerindeki doğru gerilim ile orantılı olan regülatör çıkış gerilimi diğeri referans değeri gösterir.

8.4.3. Kumanda Kısmı :

Kumanda kısmı iki bölümden oluşur. Bunlardan biri regülatör-kuvvetlendirici ile açı hesaplayıcı arasındaki ara devreyi, diğeri de köprünün bloke olması durumunda şöntleme valfine tetikleme darbeleri gönderen devredir.

2 tip hesaplayıcı söz konusudur.

-Her faza bir hesaplayıcının yerleştirilmesi. Valfin uçlarındaki gerilim ile orantılı değerin regülatörün uçlarındaki doğru gerilim arasında bir eşitlik olması durumunda kumanda darbelerini gönderir. Endüstriyel çevirici istasyonunda en fazla bu tip kullanılır.

-Diğer hesaplayıcı ise ; faz geriliminin bozulması durumunda a.akım şebekedeki senkronizasyonun daha geride olması durumunda çalışan hesaplayıcıdır. Bu hesaplayıcının bir avantajı eşit uzaklıktan tetikleme regülatör çıkış geriliminin geciktirilerek tam olarak yolanmasıdır.

8.4.4. Ölçme Sistemleri ve Deneme Araçları :

Her çevirici ünite de akım ve gerilim ölçü aletleri için ölçme sistemi kısmı bulunmaktadır. Burada ya 2 adet %1' lik galvanometre yada 2 numerik ölçü aleti bulunmaktadır. Fonksiyon generatörleri veya kontaktörlerle geçici rejim olayları meydana getirilerek incelenebilir. Tristörlü bir kontaktör ile arızalar taklit edilip bu arızaların kaç sn'de ulaşabileceği yaklaşık belirlenebilir. Yine entegre devreli bir programlayıcı ile şebekedeki geçici olaylar tanımlanabilir.

8.5. Netice :

D.akım ile iletim modelin işletilmesindeki kolaylık, gerçek bağlantılarda kullanılan malzemelerin kullanılmasındaki uygunluk, mikro şebekelerin iletim hattına yakın oluşu gibi şartlar çevirici istasyonların iç davranışları ile noktadan noktaya bağlantının tüm işleyişini, çoklu terminal veya alternatif ve d.akımda etüd şansı sağlanmıştır.

9. BÖLÜM

BİR ÇEVİRİCİYE AİT MATEMATİKSEL İFADELER:

Bu konuda iletilen güç hakkında yapılacak sayısal örneklerden önce kullanılacak sembollerin ne anlama geldiği ve buna bağlı olarak formülleri görmemiz gerekir.

V_{dN} : Nominal doğru gerilim

V_{LN} : Alternatif akım barasındaki faz arası gerilimin efektif değeri

α : Doğrultucunun gecikme açısı

d_N : Trafo tarafından bakıldığında görülen % doğru gerilim düşümü.

I_d : Doğru akım (ortalama değer)

I_{dN} : Nominal doğru akım bileşeni

I_L : Alternatif akımın efektif değeri

I_{LN} : Alternatif akımın nominal efektif değeri

m : Transformatorün çevirme oranı

S_t : Toplam kısa devre gücü

V_{ON} : Nominal boşa çalışma değeri

$$V_{dN} = V_{ON} \cdot \left(\cos \alpha - d_N \cdot \frac{I_d}{I_{dN}} \cdot \frac{V_{dN}}{V_{ON}} \right) \quad (9.1)$$

$$V_{ON} = 1,35 \cdot s \cdot m \cdot U_{LN} \quad (9.2)$$

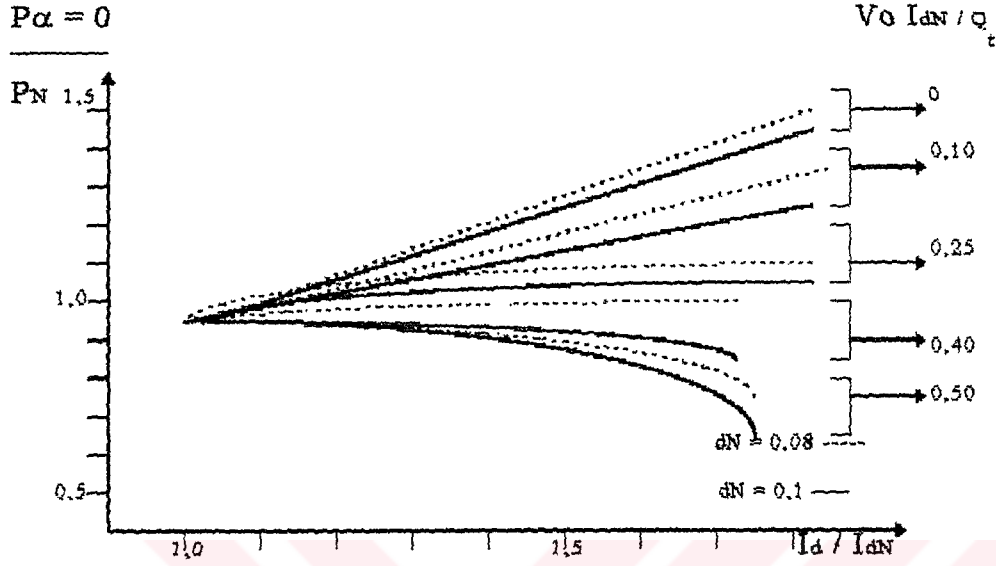
$$I_{LN} = 1,35 \cdot m \cdot I_{dN} / \sqrt{3} \quad (9.3)$$

$$P_{N \text{ evirici}} = V_{dN} - R_d \cdot I_{dN}^2 \cdot 10^{-6} \quad (9.4)$$

R_d : Doğru akım iletim hattı direnci

Geçici güç :

$$P_{\text{geçici}} = P_{\alpha} - R_d \cdot I^2 \quad (9.5)$$



Şekil - 9.1. Akımın aniden artması halinde geçici güç.

Geçici maximum güce ait örnek ;

Doğrultucu devre ve bağlandığı alternatif akım şebekesi için şu bilgiler verilmiştir.

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

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

$$d_N = \%10$$

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

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

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

$$I_d = 1132 \text{ A}$$

$$\alpha_N = 15^\circ$$

(9.1) denkleminde hareketle ;

$$V_{dN} = V_{ON} \cdot \left(\cos \alpha - d_N \cdot \frac{I_d}{I_{dN}} \cdot \frac{V_{dN}}{V_{ON}} \right)$$

$$400 = V_{ON} \cdot \left(\cos 15 - 0,1 \cdot \frac{1132}{1000} \cdot \frac{400}{V_{ON}} \right)$$

$$V_{ON} = 461 \text{ kV}$$

(9.2) denkleminde ;

$$V_{ON} = 1,35 \cdot s \cdot m \cdot U_{LN} = 461 = 1,35 \cdot 1 \cdot m \cdot 350$$

$$m = 0,976$$

$$I_{LN} = 1,35 \cdot m \cdot \frac{I_{dN}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{LN} = 1,35 \cdot 0,976 \cdot 1000 / \sqrt{3} = 761 \text{ A.}$$

$$V_{ON} \cdot I_{dN} / St = 461 \cdot 1 / 1850 = 0,25$$

Şekil - 9.1' den ;

$$\frac{P_{\alpha} = 0}{P_L} = 1.32$$

Buna karşılık gelen güç 528 MW ve yaklaşık 1700 A d.akım bulunur.

Bu iletilen max. güç (528 MW) ; doğru akım hat kayıplarının göz önüne alınmasıyla örneklendirmek istersek ;

İletilen max. güç 528 MW, doğrultucunun uzunluğu 700 km. ve direnci 15 Ω olan bir doğru akım iletim hattının eviriciye bağlanması kabulü ile, nominal akımda evirici tarafından alınan güç (9.5) ten;

$$P_{Nevirici} = P_N - R_d \cdot I_{dN}^2 \cdot 10^{-6}$$

$$= 400 - 15 \cdot 1000^2 \cdot 10^{-6} = 385 \text{ MW}$$

Akımı 1000 A'den 1700 A'e çıkarılması durumunda geçici güç;

$$P_{\text{geçici}} = P_{\alpha} = 0 - R \cdot I^2 = 528 - 15 \cdot 1,7^2 = 472 \text{ MW}$$

%20 'lik akım (200 A) artışı sonunda doğrultucu 472 MW verir.

O halde;

$$P_{\text{geçici}} = 472 - 15 \cdot 1,2^2 = 450 \text{ MW}$$

O halde diyebiliriz ki akımdaki %20 'lik geçici artışa karşılık güçte %17'lik bir geçici yükselme söz konusudur.



10. BÖLÜM

MALİYET AÇISINDAN ENERJİ İLETİMİNDE DOĞRU AKIM İLE ALTERNATİF AKIMIN KARŞILAŞTIRILMASI

10.1.Genel Olarak Maliyet Mukayesesi Konusu

Enerji iletim hatlarının maliyetleri , sabit maliyet bileşeni ve değişken maliyet bileşeni olmak üzere iki kısımdan oluşur. Buna göre l uzunluğundaki bir hat parçasının toplam maliyeti ;

$$M_k = M_s + M_d \quad (10.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada ;

M_k : Hat parçasının toplam maliyeti

M_s : Sabit maliyet

M_d : Değişken maliyet

Sistemdeki hat ve kutup sayısı N ise $k=1,2,3,\dots,n$ olarak yazılabilir. O zaman en genel anlamda tüm sisteme ait toplam maliyet ;

$$M = \sum_{k=1}^N M_k \quad (10.2)$$

şeklinde olur.

Sabit Maliyet Analizi

Enerji iletim hatlarında belli bir U gerilimi , q iletken kesiti , devre sayısı , direk tipi , buz bölgesi gibi kriterler doğrultusunda birim (1km) uzunluk için sabit maliyet ifadesi ;

$$M_s = M_{iz} + M_{as} + M_{il} + M_{dir} + M_{kor} + M_{\text{çeki}} + M_{\text{çekk}} + M_{ist} \quad (10.3)$$

şeklinde olur. Burada

M_{iz} : İzolatör Maliyeti

M_{as} : Hırdavat - askı maliyeti

M_{il} : İletken maliyeti

M_{dir} : Direk maliyeti

M_{kor} : Koruma teli maliyeti

$M_{\text{çeki}}$: Faz iletkeni çekim maliyeti

$M_{\text{çekk}}$: Koruma teli çekim maliyeti

M_{ist} : İstimlak maliyeti

Bu maliyet terimleri belirli bir direk açıklığı için (a_{ref}) fiyat cetvellerine geçirilmiştir. Bu referans açıklığı dışında a_x gibi başka bir açıklık için ;

$$M_x = \frac{a_{ref}}{a_x} M_{ref} \quad (10.4)$$

dönüşümü kullanılabilir. M_x ile M_{ref} sırasıyla a_x ve a_{ref} açıklıklarına ilişkin maliyetleri gösterir.

Yine aynı coğrafi bölgede olduğu kabul edilerek birim uzunluktaki güzergah boyunca direklerin maliyetleri ayrı ayrı toplanacaktır. Buna göre ;

$$M = M_T' n_T + M_D' n_D + M_{kT}' n_{kT} + M_{kD}' n_{kD} + M_s' n_s \quad (10.5)$$

ifadesi yazılabilir. Burada M' komple bir adet direğin fiyatını , n' ler ise birim (1km) uzunluktaki güzergah boyunca aynı türden direk sayısını göstermektedir.

- T : Taşıyıcı direk
 D : Durdurucu direk
 kT : Köşede taşıyıcı direk
 kD : Köşede durdurucu direk
 s : Son direk

İletim hatlarında taşıyıcı direk sayısı diğer tip direklere göre daha fazla olduğundan tam güzergah boyunca taşıyıcı direk maliyetinin göz önüne alınması pratik anlamda kabul edilebilir. O zaman ;

$$M \cong M_T \cdot n_T \quad (10.6)$$

yazılabilir.

Değişken Maliyetin Analizi .

Değişken maliyet , sistemdeki kayıplardan dolayı ortaya çıkmaktadır. Bu kayıpların en önemli kısmı , hat kayıplarıdır. Değişken kayıplar ;

$$M_d = jI^2R \quad (10.7)$$

olur. Burada

j : Yıllık yüklenme süresi

Bu ifadede hat direnci , faiz , amortisman v.b. büyüklüklere bağlıdır. Bunun dışında değişken maliyete etki eden izolatör kaçak kayıpları , koruma teli kayıpları , korona kayıpları da söz kousudur. Y.G.D.A. ile enerji iletimi toplam maliyet hesabı genel olarak Y.G.A.A. ile benzer durumdadır.

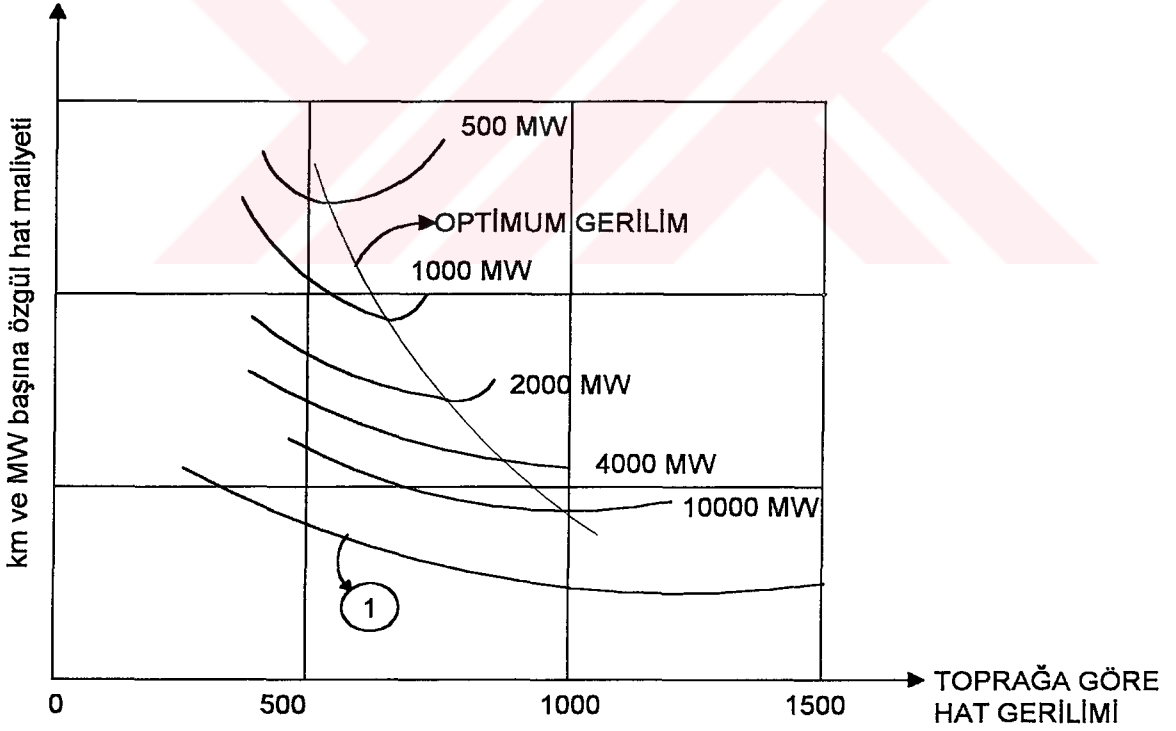
10.2.Doğru Akım Sistemlerinde Maliyetler

YGDA iletim sisteminin maliyeti bir çok faktörlere bağlıdır. Bunlardan biri sitemdeki doğru akım gerilim seviyesidir.

10.2.1.Doğru Gerilim Seviyesi

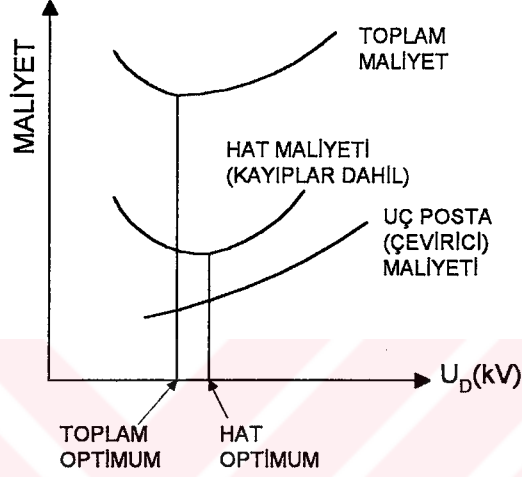
Verilen nominal gücü iletmek için optimum gerilim seviyesini bulmak gerekir. Bunun içinde çevirici istasyon maliyetleri , hat maliyetleri ve toplam kayıp maliyetlerini düşünerek hesaplanmalıdır.

Eğrilerden , verilen nominal yük için toprağa göre hat gerilimine karşı hat maliyetleri ve kayıp maliyetleri ana parada hesap edilerek Şekil 10.1' de gösterilmiştir.



Şekil 10.1 : Farklı gerilim çıkışları için bipolar hat maliyeti

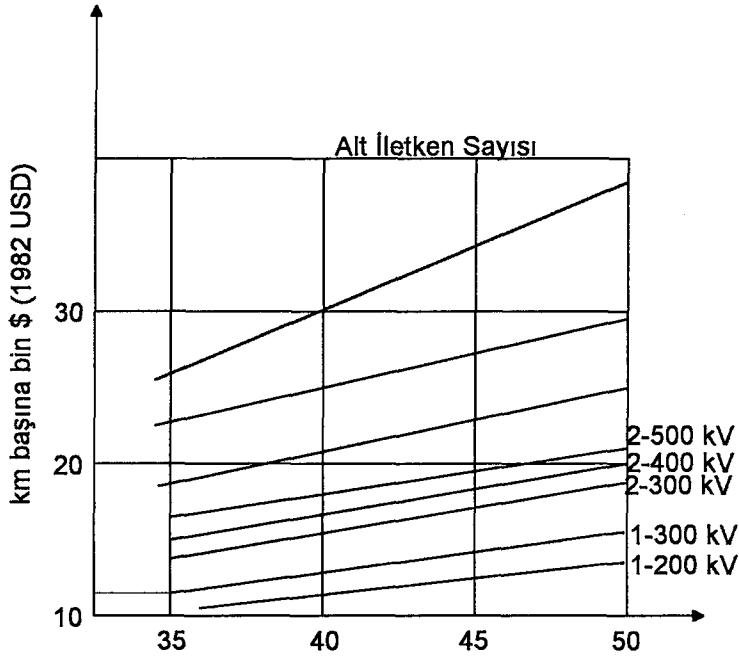
Belli bir güç çıkışı için daima optimum doğru akım iletim hat gerilimi vardır. Eğer iletim hatları için gerilim eğrisine karşı maliyet , çevirici istasyonlar için uygun değer ile birleştirilirse ikisinin bileşimi için optimum değer bulunabilir. Bu durum Şekil 10.2' de gösterilmiştir.



Şekil 10.2 : YGDA iletiminde gerilime karşı maliyetin değişimi

10.2.2.İletim Hatlarının Maliyetleri :

Doğru gerilim iletim hatları için maliyetler , hatların inşa edildiği yere, çevresel koşullara, arazi , inşaat çalışmaları gibi durumlara bağlı olarak değişebilir. Maliyetler hakkında fikir edinmek amacı ile Şekil 10.3 aşağıda gösterilmiştir.

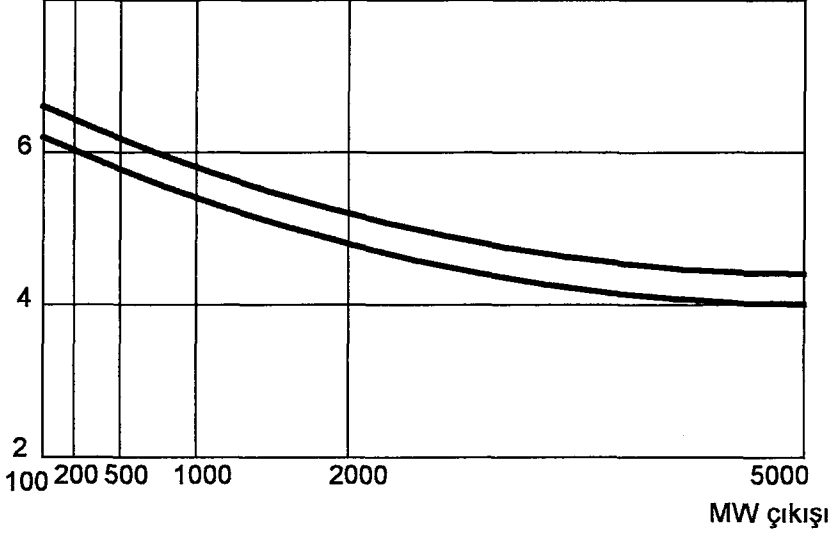


Şekil 10.3 : Güney California koşullarında tüm endirekt maliyetleri içeren doğru akım hat maliyet grafiği

GERİLİM	KUTUP BAŞINA AL HAT MALİYETİ	MALİYET (100\$/km)
± 200	1500	80
± 400	1500	90
± 600	2500	125
	1800	120
± 800	2900	205
	4100	250

Tablo 10.1 : İsveç' te inşa esnasında faiz dışındaki tüm endirekt hat maliyetleri

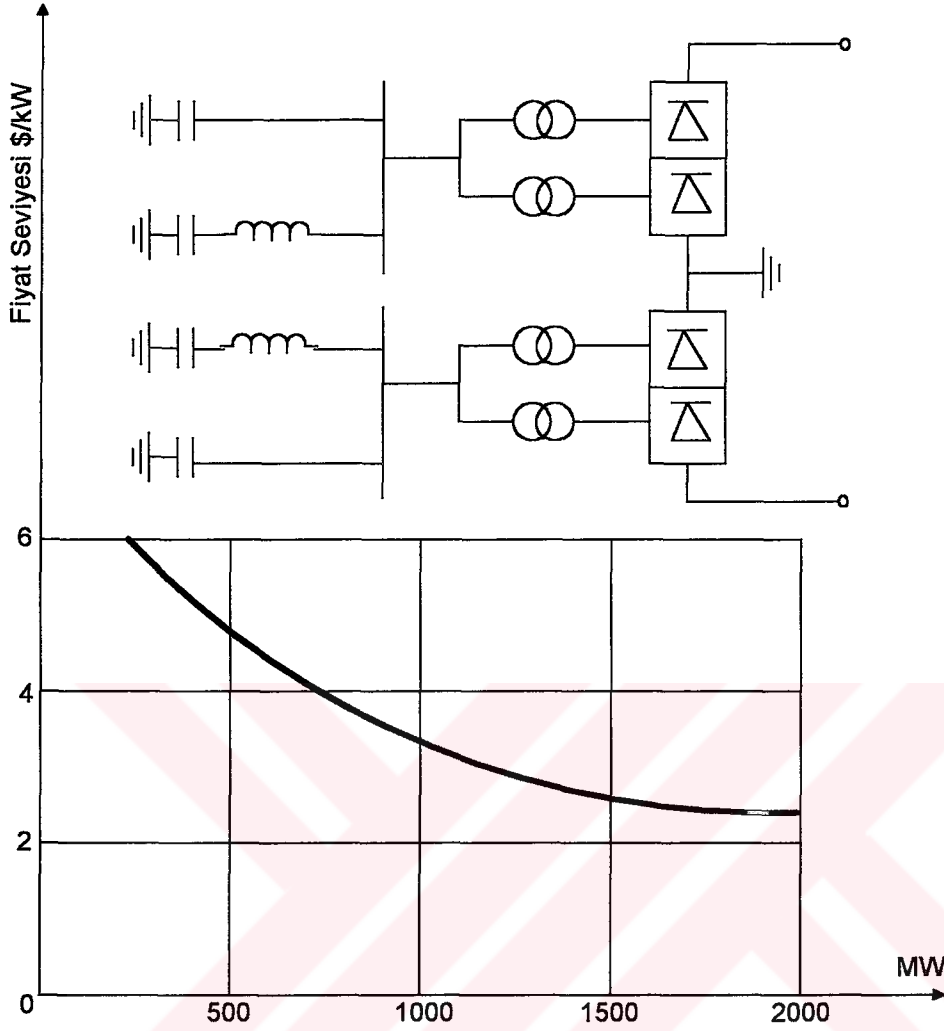
USD/kW uç posta başına



Şekil 10.4 : AC ve DC filtreleri , açma anahtarı , şönt kapasitörler , bina ve inşaat işleri , uzaktan kumandalı elektrod ve hattı , yöneticiler , mühendislik ve proje yönetimini içeren tüm çevirici uç postasının maliyeti.

10.2.3.Doğru Gerilim Çevirici Uç Postalarının Maliyeti :

Şu anda kullanılan çevirici istasyonların maliyetinin belirlenmesi için standart tek kutuplu bir istasyon tasarımı daha önceki bölümlerde anlatılmıştır. Burada tam gerilim için oranlanmış kutup başına bir 12-darbeli çevirici olduğu varsayılır. Bu tip iki çevirici için yaklaşık nahtar teslimi \$/kW fiyat grafiği Şekil 10.5' te gösterilmiştir. Bu eğri özgül çevirici uç postalarının maliyeti , kutup başına 12 darbeli ile bipolar çevirici istasyonuna aittir.

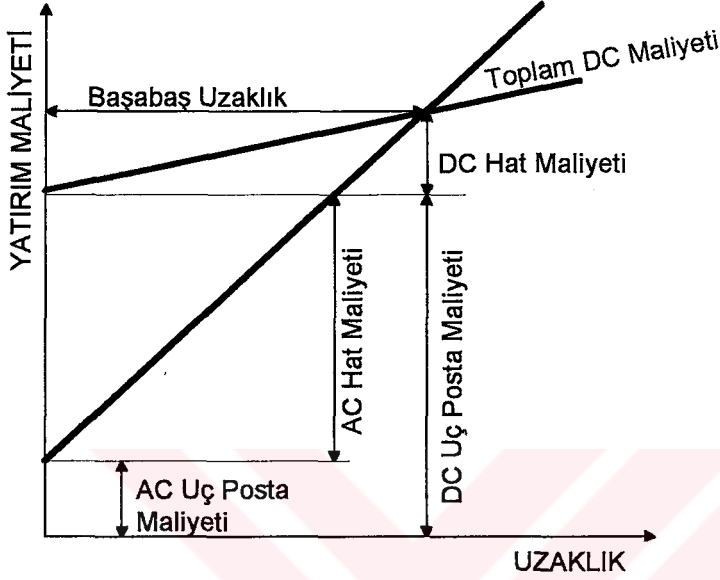


Şekil 10.5 : 2 kutuplu çıkışa karşı özgül çevirici istasyon maliyeti

10.3.Uzun Mesafeli Enerji İletiminde Doğru Gerilim İle Alternatif Gerilimin Maliyet Mukayesesi :

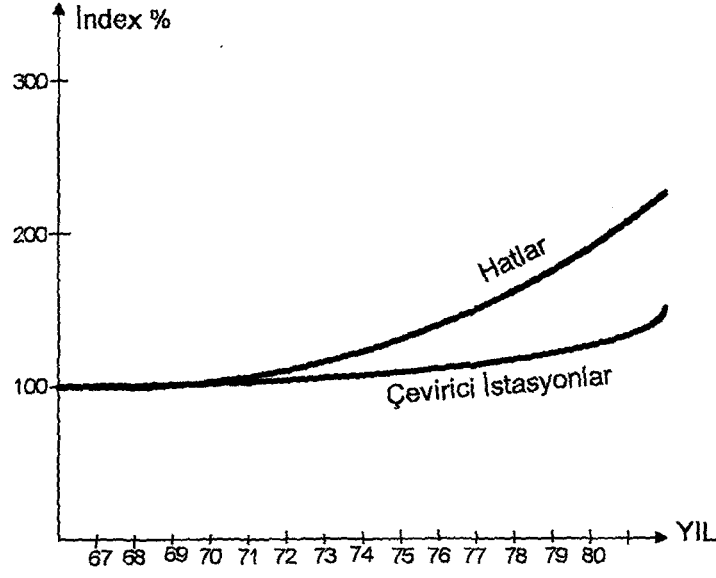
Uzun mesafeli AC ile DC iletim sistemleri için maliyet dağılışı farklıdır. AC iletim sisteminde maliyetin büyük bir bölümü havai hatlarda diğer bir bölümünde bağlantı gereçlerinde bulunmaktadır. Yine doğru akım iletim sisteminde DC den AC ye veya AC den DC ye dönüşümlerin yapıldığı uç postaların maliyetleri AC iletim sistemlerine göre oldukça yüksektir. Ancak DC iletim sisteminde hat maliyetleri AC hat maliyetlerinden daha düşüktür.

Belirli bir hat uzunluğunda DC ve AC iletiminin maliyetleri birbirine eşit olmaktadır. AC iletiminin toplam maliyeti DC iletiminin toplam maliyetine eşit olduğu yere kadar olan mesafeye başabaş uzunluk denir. Şekil 10.6' da bu durum görülebilir.



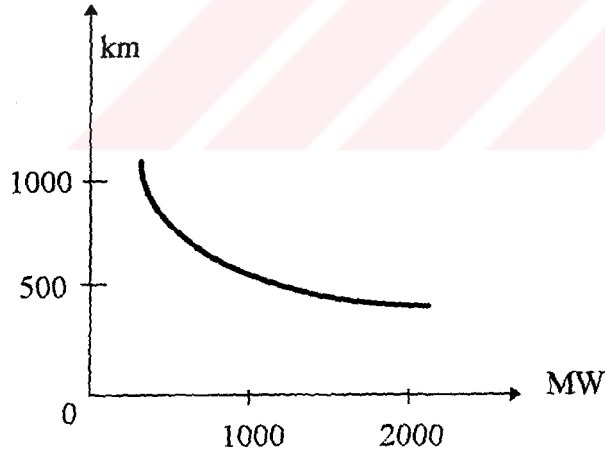
Şekil 10.6 : YGDA ile YGAA iletimi için uzaklığa karşılık yatırım maliyet grafiği

Yine dönüştürme için donanım , şalter , kompanzasyon ve çevirici gibi ünitelerin sürekli gelişimi sayesinde enflasyona karşı maliyet düşmektedir. Şekil 10.7' de geçen yıllarda iletim hatları ve çevirici istasyonlar için maliyet gelişimini göstermektedir.



Şekil 10.7 : İletim hatları ve YGDA çevirici istasyonları için maliyet değişimi

Başabaş uzaklığın üstünde DC ile iletim daha ekonomik , altında ise AC daha ekonomiktir. Başabaş uzaklığın iletilen güçle bağlantısı Şekil 10.8' de gösterilmiştir.



Şekil 10.8 : Başabaş uzaklığına karşı iletilen güç

Örnek : 500 MW gücünde , 154 kV geriliminde , 155 km uzunluğundaki bir hattın AC ve DC ile iletiminde maliyeti mukayese edilecektir.

Bu Hattın AC yaklaşık Maliyeti :

Giderin Cinsi	Miktar	Birim Fiyatı	Toplam(TL/km)
Demir İmalat +Montaj	13500 kg	68000 TL/kg	918000000
İzolatör: 3 Dir/km 3 ASKITK/Dir 11İZOLATÖRASKITK	109 adet	410000 TL/adet	44690000
HİRDAVAT : ZincirTK.DAMPERve EKLER	10 askıTK	4800000 TL/askıTK	48000000
İLETKEN %2MARJ*3 iletken*1829 kg	5596 kg	83500 TL/kg	467266000
Toprak Teli %2 MARJ*2*580 kg	1168 kg	32000 TL/kg	37376000
İletken Çekimi	5596 kg	33000 TL/kg	184668000
Toprak Teli Çekimi	1168 kg	31000 TL/kg	36208000
Etüd			18000000
Projelendirme+ Tevziat			9000000
İstimlak, zarar, ziyan vs.			38000000
Toplam			1801208000
Transfer Fideri			2127130000
Trafo Fideri			3082700000
Reaktör ve Fideri			8917420000
Çıkış Fideri			45666100000
Toplam			18693350000

155 km lik ileim hattının toplam maliyeti

$$M_T = l * M_s + M_y$$

M_T : Toplam Maliyet

l : Uzunluk

$$M_T = 155 * 1801208000 + 18693350000$$

$$= 2987880590000 \text{ TL}$$

Bu Hattın DC yaklaşık Maliyeti :

Çevirici istasyon maliyeti hesabı Şekil 10.5' den 500 MW güç karşılığı için ;

birim değer 5\$/kW

çevirici istasyon maliyeti :

$$M_{\text{ç}}=500000\text{kW}\cdot 5\$/\text{kW}=2500000 \$$$

$$M_{\text{ç}}=2500000\cdot 85000=212500000000 \text{ TL}$$

olur. Hatbaşı ve hat sonu çevirici istasyon maliyeti için ;

$$M_{\text{tç}}=212500000000\cdot 2=425 \text{ milyar TL}$$

Hattın Maliyeti :

Yine Şekil 10.3' ten 35 mm çaplı iletkenin 154 kV karşılığı km başına maliyeti 1200 \$' dır. Dolayısı ile ;

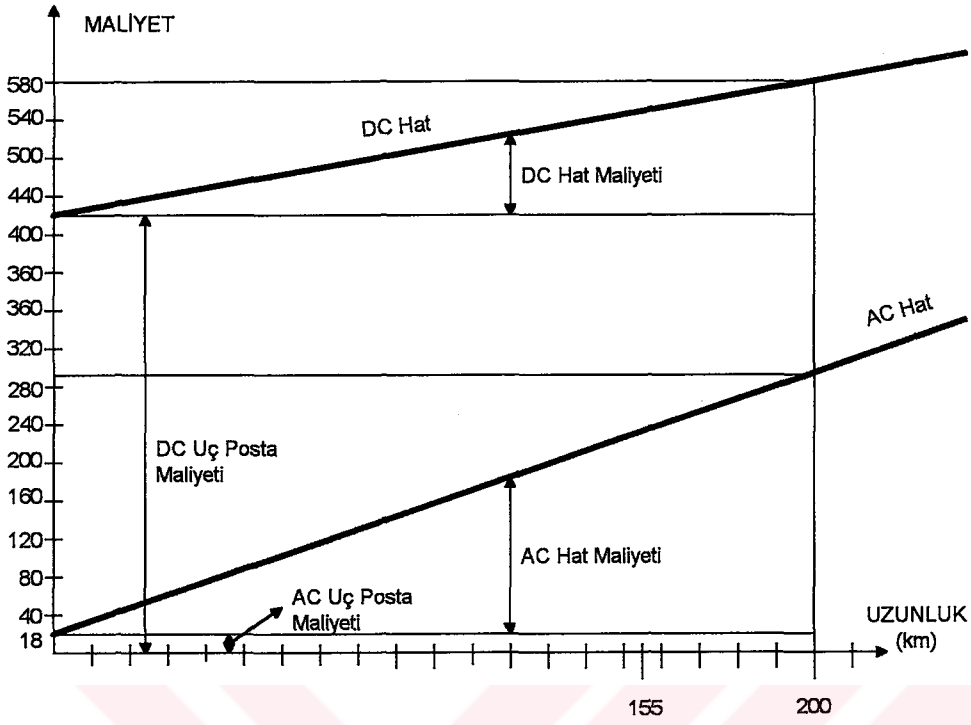
$$M_{\text{İL}}=1200\$/\text{km}\cdot 155\text{km}=1860000\$$$

$$M_{\text{İL}}=1860000\cdot 85000\text{TL}/\$=158100000000 \text{ TL}$$

olur.

$$M_{\text{TM}}=M_{\text{ç}}+M_{\text{İL}}=425000000000+158100000000=583100000000 \text{ TL}$$

olur. Buna göre



Şekil 10.8 : YGDA ile YGAA iletimi için uzaklığa karşılık yatırım maliyeti

İki noktası bilinen bir grafiğin denklem formülü:

$$\frac{x - x_0}{x_1 - x_0} = \frac{y - y_0}{y_1 - y_0} \quad (10.7)$$

AC doğru denklemine göre;

$$y(x) = 1,75x + 18$$

DC doğru denklemine göre;

$$y(x) = x + 425$$

500 MW güç için;

$$\text{AC } y(500) = 895 \text{ km}$$

$$\text{DC } y(500) = 925 \text{ km}$$

Başbaşa uzaklık noktası;

$$y(P) = 45 \sqrt{P80} \quad (10.8)$$

$$y(500) = 45 \sqrt{500 - 80}$$

$$y(500) \cong 1000 \text{ km}$$

SONUÇ

Günlük hayatımızın en önemli parçalarından olan elektrik enerjisinin üretim merkezinden tüketim merkezine ulaştırılmasında kullanılan YGDA ile enerji iletimi alternatif akımda bir bütünlük moluşturmaktadır. Bir anlamda biri diğerinin tamamlayıcısıdır. Bu iki enerji durumları çeşitli yönlerden mukayese edilmiştir.

Doğru akım sistemlerinde hat ve korona kayıpları daha azdır ve yalıtım-akım taşıma bakımından daha elverişli olduğu Bölüm-9'DA örnekle tespit edilmiştir.

Doğru akım ile enerji iletim sistemlerinde harmonik sorunu söz konusudur. Bunun için filtreleme ihtiyacı vardır. Bu ayrı bir maliyet gerektirir.

Doğru akımda valflerin oldukça pahalı olması yine ayrı bir maliyet gerektirir.

Uzun vadede hat ve korona kayıpları alternatif akım sistemine göre daha azalacağından tesis masrafları bakımından cazip gelebilir. Ancak dünyada yapılan mukayeselerde farklı değerler vermesi söz konusudur.

Doğru akımın alternatif akım sistemine göre avantajlı olmaya başladığı mesafe 1000 km üstü mesafedir. Çünkü bu mesafeden sonra alternatif akım için ek tesislere ihtiyaç vardır. Denizaltı mesafelerde ise bu 40 km'dir.

İleriye yönelik ve aynı verim için doğru akımla iletimde daha küçük bir gerilimde iletim söz konusudur. Böylece aynı kesitte daha fazla güç iletimi yapılabilir. Buna bağlı olarak hat kayıpları daha azalır.

Doğru akım sisteminin kararlılığını artırıcı yönde olmakta ve sistemin salınımlarını çok çabuk statik güç çeviricileri tarafından söndürülebilir.

Çevirici istasyonlarının maliyetleri düşürülüp verimleri artırılabilir. İleride çok yaygın bir şekilde kullanım alanı bulunacaktır.

Doğru akım sistemiyle güç iletimi yöntemlerinden en uygun olanı çift kutuplu iletim düzeni ve kutup başına 12-darbeli çift kutuplu bir çevirici istasyonudur. Güvenilirlik, bakım kolaylığı ve kontrol edilebilirlik nitelikleri doğru akım sistemlerinin vazgeçilmez özellikleridir.

Gelişen teknoloji, doğru akım sistemlerindeki donanımların maliyetlerinde sürekli bir düşüş meydana getirmektedir. Buna karşın, alternatif akım sistemlerinin donanımlarında maliyetler sürekli artmaktadır. Doğru akım bazı durumlarda zorunlu olarak kullanılması gerektiği ve aynı zamanda alternatif akım sistemine göre söz konusu olan üstünlükleri nedeniyle tercih edilen bir iletim sistemi durumundadır.

Bir enerji iletim sisteminin maliyetlerinin bir kısmını, iletim hattı maliyetlerinin oluşturduğu bilinmektedir. İletim hatlarındaki maliyetin sürekli artmasıyla, alternatif akım sistemindeki maliyette buna paralel olarak artmaktadır. Çünkü alternatif akım sisteminde esas maliyeti iletim hatlarındaki maliyet oluşturmaktadır. Doğru akım sisteminde çevirici istasyonları daha pahalıdır. Bu durumdan dolayı iletim hatlarındaki maliyetin artması doğru akım sistemlerinin maliyetlerini çok daha az etkilemektedir. Doğru akım sistemiyle, alternatif akım sisteminin ekonomik oldukları durumlar başabaş uzaklığı ile saptanmaktadır ve bu uzaklık genel bir hesapla 500 MW için yaklaşık 1000 km olduğu görülmüştür.

Ülkemiz açısından;

1996 yılı itibarıyla Enerji Bakanlığı'na yapılan açıklamalara göre; son yıllardaki enerji ihtiyacının artışı ve bununla beraber yatırım (enerji) hacminin %0'lara kadar düşmesi sorununa karşılık özel sanayi sektörünün kendi enerjisini üretmesi gerektiği sonucu ortaya çıkar ki özel sektörde kurulacak enerji üretim tesisleri, kendi tesislerine (Fabrika, atelye v.b.) yakın olacağından Doğru akımla iletim pek cazip değildir. Ancak kamu teşebbüsü açısından Devlet yatırımı tesislerin çoğunun doğuda tesis edildiği yer ve enerjinin en yoğun kullanıldığı (İZMİR, İSTANBUL v.b.) sanayi mahalleri arası mesafenin uzun (yaklaşık 800 km) olması doğru akım ile enerji iletimini cazip hale getirmektedir. Doğuda örnek santraller; Fırat üzerinde Karakaya (1800 MW, D.Bakır), ATATÜRK (2400 MW Urfa), Dicle üzerinde (ILISU 1200 MW Mardin)

Gelişen teknoloji ile dünya ülkelerinin doğru akım sistemine yönelmesi, pek yakında ülkemizde de bu alandaki çalışmalarına ilgileneceği ve yine yakın bir gelecekte ilk uygulamaların gerçekleşeceği kanaatini uyandırmaktadır.

Adalar arası 40 km üstü mesafelerde doğru akım ile iletim daha cazip olması nedeniyle ileride Mersin-K.K.T.C. arasında enerji nakli düşünülebilir.

Neticede ; özellikle maliyet bakımından doğru akım ile enerji iletiminin ciddi bir fizibilite çalışmasından sonra yatırıma dönüştürülmesinde fayda vardır.



KAYNAKLAR

- 1) Güç Sistemleri Sempozyum Notları, IEEE, Minnesota Ekim, 1974
- 2) ÇELTEKLİGİL, U., Güç Elektroniği Devreleri Ders Notları
- 3) GÜNGÖR B. R., Power Systems, Harcourt Brace , Jovanowich,1988
- 4) ASEA JOURNAL, Vol.3, 1975
- 5)IEEE,Contribution to the Electrical Design of HVDC Overhead Lines
- 6) IEEE, Transactions on Energy Conversion, Vol.4, No.3,September,1989
- 7) GÜLGÜN Remzi, Güç Elektroniğine Giriş Ders Notları
- 8)YÜKSELER Nusret, YGDA Enerji İletimi ve Ekonomisi, Kaynak Yay.
- 9) WEEDY,B., Electric Power Systems
- 10) KIMBARK E. WILSON,Sc.D.Fellow IEEE-1971
- 11) Uhlman,Erich, Power Transmission by Direct Current-1975
- 12)TEDAŞ ELK. PROJE ve TESİS BİRİM FİYAT KİTABI-1996
- 13)TEAŞ Faaliyet Raporu-1995

ÖZGEÇMİŞ

1970 yılı Mardin doğumluyum. İlk-orta ve lise eğitimimi Mardin'de tamamladım. 1990 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik - Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nü kazandım. 1994 yılında aynı bölümden mezun oldum. Mutakiben 1994 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Programı yüksek lisansını kazandım. Halen bu bölümde öğrenciyim.

