

34742

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GELİŞEN TÜRKİYE ŞARTLARINDA ENERJİ
İHTİYACINA GÖRE GERİLİM KADEMESİNİN
BELİRLENMESİ VE BİLGİSAYAR
DESTEKLİ ANALİZİ

Elek. Müh. Mustafa UĞURTAN

F.B.E. Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalında

Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Selahattin DİNLER

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İSTANBUL, 1994

İÇİNDEKİLER

	Sayfo No:
SEMBOL LİSTESİ	III
TEŞEKKÜR	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
GİRİŞ	1
1 . TÜRKİYE `NİN ENERJİ İHTİYACI	3
1.1. Nufusa Göre Enerji İhtiyacı	3
1.2. Türkiye Elektrik Kurumu Enerji İhtiyaç Tahmin ve Talep Artışı	10
1.3. Türkiye`nin Elektrik Enerjisi İçin Yapması Gereken Ortalama Yatırım	11
2 . ENERJİ İLETİM HATLARI	14
2.1. Uzun İletim Hatları	14
2.2. Uzun İletim Hatlarını Eşdeğer Devresi	16
2.3. Orta ve Kısa İletim Hatlarının Eşdeğer Devreleri	18
2.4. EHV ve UHV iletim Hatlarının R, X_L ve B_C Parametreleri	19
2.5. Enerji İletim Hatlarının Reaktif Kompanzasyonu	20
3 . MAKSİMUM GÜÇ TRANSFERİ VE ÇALIŞMA ŞARTLARI	23
3.1. Enerji İletim Hatlarında Kapasite Artırma Yöntemleri	23
3.1.1. Üretim Artırmak	23
3.1.2. Çoklu Devre Kullanmak	23
3.1.3. Faz Sayısını Artırmak	23
3.1.4. Demet İletken Kullanmak	24
3.1.5. Seri Kompanzasyon Yapmak	24
3.1.6. Şönt Kompanzasyon Yapmak	24
3.1.7. Taşıma Gerilimini Artırmak	25
3.2. İletken Kesitlerinin Seçilmesi ve R, X_L ve X_C Değerlerinin Heseplanması	25
3.2.1. Reaktans İçin	26
3.2.2. Kapasitans İçin	27

3.3. Sistemde Kullanılan İletken Kesitlerinde R , X_L ve X_C Değerlerinin Hesaplanması	29
3.3.1. 954 ACSR 2'li Demet İletken İçin R , X_L ve X_C Parametreleri	29
3.3.2. 1351 ACSR 4'lü Demet İletken İçin R , X_L ve X_C Parametreleri	30
3.4. Karakteristik Empedansa Göre Yükleme Metodu	30
3.5. Maksimum Gücün iletileceği Mesafeye Göre Seçilecek Gerilim Kademesinin Önemi	31
3.6. Maksimum Güç Transferi İçin Hattın Direnciyle Reaktansı Arasındaki Bağını	32
3.7. Maksimum Güç Transferi İçin Güç Açısını Yükseltmesinin Önemi	33
3.8. Maksimum Güç Transferinde İşletme Tekniği Açısından Stabilitate	34
4 . KEBAN GÖLBAŞI SİSTEMİNDE 380 kV VE 765 kV GERİLİM KADEMELERİ İNCELEMESİ	36
4.1. Keban Gölbaşı Sisteminin Tanıtılması	36
4.2. Keban Gölbaşı İletim Sistemindeki Elemanların Per Unit Değerleri	37
4.2.1. 380 kV Hat Gerilimi İçin	37
4.2.2. 765 kV Hat Gerilimi İçin	38
4.3. Keban Gölbaşı Sisteminin Uzun Hat Modeliyle İncelenmesi	40
4.3.1. 380 kV Hat Gerilimi İçin	40
4.3.2. 765 kV Hat Gerilimi İçin	43
4.4. Keban Gölbaşı Sisteminde Taşınabilecek Maksimum Stabil Güç	45
4.5. Keban Gölbaşı Sisteminde Çalışma Açılarına Göre Yükleme Kapasiteleri	46
4.5.1. 380 kV Hat Gerilimi İçin	46
4.5.2. 765 kV Hat Gerilimi İçin	47
4.6. Keban Gölbaşı Sisteminde Çeşitli Modeller İçin Kısa Devre İncelemeleri	48
5. SONUÇLAR	52
KAYNAKLAR	56
EKLER	57
ÖZGEÇMİŞ	60

SEMBOL LİSTESİ :

- I : x mesafesindeki hattın geçen akım (A)
 V : Hattın x mesafesindeki gerilimi (V)
 Z : Hattın l mesafesindeki toplam direnci (Ω)
 CM : İletkenin toplam kapasitesi (F/m)
 D_{eq} : Fazların geometrik ortalaması (m)
 D_S : İletkenin geometrik ortalaması (ft)
 D_{SB} : Demet iletkenlerin geometrik ortalaması (m) (reaktif)
 D_{SC} : Demet iletkenlerin geometrik ortalaması (m) (kapasitif)
 I_R : Alıcı ucu akımı (A)
 I_S : Gönderici ucu akımı (A)
 LL : Üretim için kWh başına yatırım miktarı (\$ / kWh)
 P_0 : Kurulu güç miktarı (MW)
 P_{H0} : Yıllık enerji üretim miktarı (GWh)
 P_{K0} : Kişi başına düşen yıllık enerji tüketim miktarı (kWh / yıl)
 P_N : Karakteristik empedans yükü (MW)
 P_R : Hattın ve terminallin empedansından dolayı oluşan güç (MW)
 $P_{Stab.}$: Maksimum stabil güç (MW)
 P_{SR} : Çalışma açısına göre transfer edilebilecek maksimum güç .(MW)
 S_{SR} : π eşdeğer devresinin gücü (MVA)
 TL : Dönemsel yatırım miktarı (\$)
 TN_0 : 1990 yılı baz alınarak nüfus (kişi)
 TP : 10 yıllık dönem için kurulu güç farkı (MW)
 V_R : Alıcı ucu gerilimi (V)
 V_S : Gönderici ucu gerilimi (V)
 X_a : İletkenin yapısından dolayı oluşan reaktif direnç (Ω)
 $X_a^{'}$: İletkenin yapısından dolayı oluşan kapasitif direnç (Ω)
 X_d : Fazlardan dolayı oluşan reaktif direnç (Ω)
 $X_d^{'}$: Fazlardan dolayı oluşan kapasitif direnç (Ω)
 X_{G0} : Genaratörlerin sıfır dizi reaktansı
 X_{G1} : Genaratörlerin pozitif dizi reaktansı
 X_{G2} : Genaratörlerin negatif dizi reaktansı
 $Y\pi$: π model eşdeğer admitansı (Mho)
 Z_C : Karakteristik empedans (Ω / km)

Z_{π} : π model eşdeğer empedansı (Ω)
 Z_Y : Hat ve terminal empedansın toplamı (Ω)
 a : Yüzdesel nüfus artış oranı
 b : Yüzdesel yıllık büyüme
 c : Yüzdesel yıllık tüketim büyümesi
 d : Demet iletkendeki iletkenler arası mesafe (m)
 k : Alüminyum iletken için sabit katsayı
 r : İletkenin yarı çapı (m)
 y : Hattın birim admitansı (Mho / km)
 z : Hattın birim empedansı (Ω / km)
 td : Dönel (gün ,ay ,yıl ..vs.)
 t_0 : Baz alınan yıl (1990)
 t_1 : Baz alınan yılın dönemsel artımı (1995)
 v_r : Yüzde gerilim regülasyonu
 α : Attenuation (zayıflama) sabiti (neper)
 β : Faz sabiti (radyan)
 γ : Propagasyon sabiti
 δ_{RS} : Hattın alıcı ucu ile gönderici ucu arasındaki açı (derece)

TEŞEKKÜR

Bu tezi hazırlamamda bana yardımlarını esirgemeyen değerli tez danışmanım Doç. Dr. Selehattin DİNLER`e ve 1992 yılında dersini aldığı değerli bilgilerini bizden sakınmayan Prof. Doç.Dr. Kemal SATIR`a teşekkür ederim .

Elek. Müh. Mustafa UĞURTAN

ÖZET :

Dünyada enerji iletiminde, planlamada ve işletmede birçok gelişmeler olmaktadır. Türkiye ise gelişmekte olan bir ülkedir. Bu gelişme tabiki enerjinin tüketimini artırmaktadır. Enerjinin iletilmesinin yanında bunun sağlıklı ve en ekonomik biçimde yapılmalıdır. Tüketiciye elektrik enerjisinin güvenli, devamlı ve ucuz olarak ulaştırılmasının planlamasının iyi yapılması için gereklidir.

Planlama ise sağlıklı işletme ve gerekli yatırımların önceden yapılabilmesi için gereklidir. Planlama yapılırken planlama yapanların elektriğin üretildiği yerdek tüketildiği yere kadar çeşitli faktörleri göz önünde bulundurarak çok ayrıntılı, uzun geleceği de düşünerek planlama yapılması gereklidir.

Planlamacıların yaptığı planların işletme ve teknik yönden yeterli olması gereklidir. Planlamacıları en çok ilgilerinden faktörler, üretilecek gücün miktarı, bu gücü taşıyabilecek hat konfigürasyonu, işletme gerilimi ve eski sistemle uyumu gibi bir çok şeyi göz önünde bulundurmaları gerekir.

Burada bu çalışmada 380 kV Keban-Gölbaşı iletim sistemi baz alınarak, bu sisteme ek olabilecek sistemin yapısı hakkında çeşitli inceleme ve örnekler verdik. İlk bölümde Türkiye'nin nüfus artış hızını ve bu nüfus artışına göre üretilmesi gereken enerji miktarı üzerinde durduk. Bu konuda Türkiye Elektrik Kurumu'nun hedeflerini inceledik. İkinci bölümde enerji iletim hatları ve hesap yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde ise enerji iletim hatlarında kullanılan iletkenlerin parametre hesapları ve iletim hattının maksimum taşıyabileceği güç üzerinde durulmuştur. Ayrıca iletim hattının maksimum gücü hangi gerilim kademesinde ne kadar uzağa taşıyabileceği ve iletken parametreleri arasındaki bağıntılar hakkında çeşitli bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde ise Keban Gölbaşı sistemi baz alınarak burada kurulabilecek yeni sistemin taşıyabileceği maksimum güç ve bu gücü taşıyabilecek gerilim kademesi hakkında çalışmalar yapılmıştır. İletim hattının çeşitli parametreleri ve per unit değerleri hesaplanmıştır. Daha önce kısa devre hesapları yapılmış bu sistem hakkında arızaların tipleri ve yerleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Son bölümde ise sonuçların yanında yeni kurulacak sistemle, baz alınan sistem arasında önemli ekipmanlarla ilgili maliyet oranları da verilmiştir.

SUMMARY

A load study is the determination of the voltage, current, power and power factor or reactive power at various points in an electric network under existing or contemplated conditions of normal operation. Load studies are essential in planning the future development of the system because satisfactory operation of the system depends on knowing the effects of interconnections with other power systems, of new loads, new generating stations and new transmission lines before they are installed in chapter one for Turkey.

Generator voltage is stepped up to transmission in the range of 115 to 765 kV. The standard high voltages (HV) are 115, 138 and 230 kV. Extra-high voltages (EHV) are 345, 500 and 765 kV. Research is being conducted on lines in the ultra-high-voltage (UHV) levels of 1000 to 1500 kV. The advantage of higher levels of transmission-line voltage is apparent when consideration is given to the transmission capability in megavoltamperes (MVA) of a line in chapter two. Roughly, the capability of lines of the same length varies a rate somewhat greater than the square of the voltage. No definite capability can be specified for a line of any given voltage, however, because capability is dependent on the thermal limits of the conductor, allowable voltage drop, reliability and requirements for maintaining synchronism between the machines of the system, which is known as stability. Most of these factors are dependent on line length .

The current which flows in different parts of a power system immediately after the occurrence of a fault differs from that flowing a few cycles later just before circuit breakers are called upon to open the line on both sides of the fault and both these currents differ widely from the current which would flow under steady-state conditions if the fault were not isolated from the rest of the system by the operation of circuit breakers. Two of the factors upon which the proper selection of circuit breakers depends are the current flowing immediately after the fault occurs and the current which the breaker must interrupt. For the Keban Gölbaşı fault calculations consist in determining these currents for various types of faults at various locations in the system. The data obtained from fault calculations also serve to determine the settings of relays which control the circuit breakers.

For the study of the effects of the rated voltage increase, Keban-Gölbaşı power transmission system has been taken as an example.

A computer program is written to find short circuit currents in the system for four major types of short circuits both at 380 kV and 765 kV. Considering three different modes that is the configuration of the system given in following figure.

According to the different modes and different operating points, the short circuit currents are not the same as expected. Comparing these current values, it is found that maximum short circuit currents flows at operating point B, both at 380 kV and 765 kV.

Short circuit currents in 765 kV transmission system are 2/5,5 times larger than 380 kV voltage level. Although I / I values decreases about % 10 - % 50 at 765 kV level, when the rated voltage increases, design problems for equipment are more related to the extra high operating currents than to the extra high short circuit currents.



GİRİŞ :

Türkiye gelişmekte olan bir ülke olduğu için bu gelişmesinde paralel olarak enerji ihtiyacında da bir gelişme olmaktadır. Bu enerjinin büyük bir kısmını elektrik olmaktadır. Çünkü elektriğin iletimi, kullanılması, dönüşümü ve maliyeti oldukça düşüktür.

Türkiye elektrik enerjisi üretiminin en fazla olduğu yer ise (Hidroelektrik santral-lerden dolayı) Doğu ve Güney Doğu Anadolu'dur. Buna karşılık tüketimin yoğun olarak yapıldığı yer ise Türkiye'nin batısında yer alan sanayi merkezleri ve nüfusun yoğun olduğu şehirlerdir. Bu yüzden de iletim sorunları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca mevcut olan bu sistem enerji iletmekte yetersiz kalmaktadır. Enerji iletim kapasitesinin artırılması 3 değişik yöntemle mümkündür.

- 1-) İşletme geriliminin artırılması,
- 2-) İşletmede kullanılan iletkenin empedansını düşürmek;
 - a-) Seri kompanzasyon yaparak,
 - b-) Demet iletken kullanarak,
- 3-) Tüketilen gücün güç faktörünü düzelterek,

Bu üç yöntem aslında birbirinden bağımsızmış görünse de bu üç yöntemin birbirine bağlıdır yani birbirinin fonksiyonu gibidir. İletim sistemlerinde bu üç yöntemde çeşitli zorunluluklardan dolayı kullanılmak zorundadır.

Bu üç yöntemin yanında işletim sistemini de değiştirerek kapasite arttırımı yoluna gidebiliriz. Bu işletim sistemlerinden birisi 6 ve 12 faza çıkartmak diğeri ise doğru akımla iletim yapmaktır. Fakat bu iki sistemin maliyeti oldukça fazladır. Ayrıca dünyada kullanımı da oldukça sınırlıdır.

Enerji iletim sistemi yapmak ve işletebilmek o kadar kolay değildir. Bu sistemleri yapmak için çok iyi planlama yapılması ve ayrıca bu konuda tecrübeli planlamacılar ihtiyacı vardır. Bu planlamanın yapılmasının önemi ise sistemde, kullanılacak malzemenin tipinden sistemin yük büyümelerine cevap verebilmesine, sistem için gereken yatırım miktarına ve daha sonra işletmeye alındığında çalışma şartlarının belirlenmesine kadar hepsinin planlaması gereklidir.

Bu planlamacılar her kesimden gelmiş mühendislerden olmaktadır. Burada Keban-Gölbaşı sistemi baz alınarak mevcut olan 380 kV gerilim kademesiyle, yeni seçilen 765 kV gerilim kademesinin arasındaki incelemelerden olmaktadır. Burada araştırılan bu yeni gerilimin kademesinin uygunluğu bu gerilimin kademesiyle

taşıyabilecek maksimum stabil gücün bulunmasıdır. Ayrıca bu yeni gerilim kademesi için taşıyabilecek maksimum stabil gücün aktarılabileceği hat uzunluğu ve çalışma açılarının bulunmasıdır.

Hattın doğal empedansından dolayı meydana gelen sınırlayıcı güç aktarımının incelenmesidir. Bu sistemde yapılmış arıza analizinin her iki gerilim kademesi için çeşitli model devrelerde ve çeşitli arıza tiplerindeki davranışını inceleyeceğiz. Türkiye'nin nüfus artışına göre enerji ihtiyacı ve bu ihtiyacı nasıl karşılayacağı, ne gibi yatırımlar yapacağı ve bu yatırımların maliyetleri konusunda fikir vermesi açısından ne kadar olabileceğini inceleyeceğiz.



BÖLÜM 1

TÜRKİYE`NİN ENERJİ İHTİYACI

1.1. Nüfusa Göre Enerji İhtiyacı

Sanayisi gelişmekte olan ülkeler, sanayinin ve ülkenin refah düzeyine göre elektrik enerjisine olan ihtiyaçları da artmaktadır. Türkiye de ise elektrik enerjisine olan ihtiyaç diğer gelişmekte olan ülkelere farklı olarak gelişmektedir. Bu farklılık, Türk sanayisindeki ortalama % 5-10 ve büyümenin Türkiye`de nüfus artışının 2,5-2,6 olmasıdır. Bu iki büyüme hızı elektrik enerjisi ihtiyacının her geçen gün daha da artmasına, dolayısıyla kişi başına tüketilen elektrik enerjisinin de artmasına yol açmaktadır. Türkiye Elektrik Kurum`unun yaptırdığı araştırmalar sonucu kişi başına tüketilen enerji miktarı 1991 yılı itibarıyla ortalama 860 kWh/yıl`dır. Görülüyor ki Türkiye`deki büyüme hızlarından dolayı elektrik enerjisi üretimindeki büyüme en az % 2,5-2,6 dolayında olmalıdır. Bu yüzden üretimin yanında aynı oranda yatırım ve enerjinin tüketiciye ulaşmasındaki büyümenin de aynı oranda olması gereklidir.

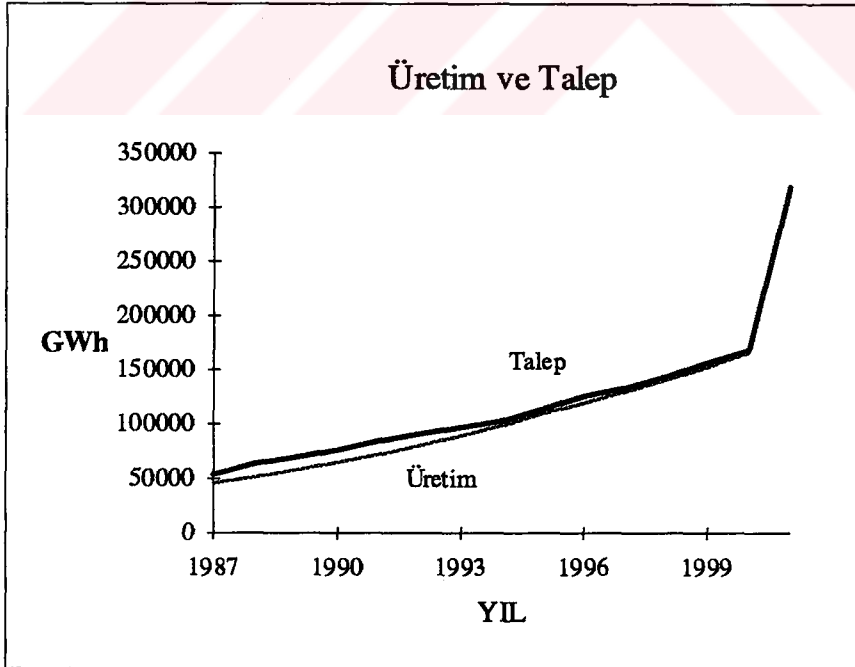
Şu anda Türkiye elektrik enerjisinde kendi ihtiyacını karşılayabilmekte ve enerji fazlasını ihraç etmektedir. Türkiye 1988`den önce diğer ülkelere elektrik enerjisi ithal etmekteydi. Fakat 1988`den sonra daha önce yaptığı yatırımların yardımıyla , yeni tesislerin devreye girmesiyle kendi ihtiyacından fazlasını üreten bir ülke konumuna gelmiştir. Bu gelişme Türkiye Elektrik Kurum`unun genel müdürlüğünden yayınlanan [ 8 ] bilgiler doğrultusunda 1986 ve 2010 yılları arasında Türkiye`nin elektrik enerjisi üretim ve talep irdelemesi (Tablo 1.1 ve Grafik 1.1) görülmektedir. Bu irdelemeye göre kurulu güç ve üretim hedefleri Türkiye Elektrik Kurumu tarafından yayınlanmıştır.

Bu hedefler (Tablo 1.2. ve Grafik 1.2,1.3) görülmektedir. Bu iki tablo incelenecek olursa Türkiye 2010 yılına kadar elektrik enerjisini kendi olanaklarıyla sağlayacak görülmektedir. Fakat bu hedefler 1992 yılı itibarıyla tutturulamamıştır. Bu hedeflerin tutturulamamasının nedeni araştırarak olursak şu anda hizmete sokulmuş olması gereken fakat daha proje aşamasında santrallerin olmasıdır .Bu santrallere örnek(Akkuyu 1 ve 2) [8] nükleer santrallerini gösterebiliriz. Bu santrallerin daha yapılıp yapılamayacağı kararları bile verilmemişken bu santrallerin hedeflerin içinde

yer alması ve hedeflenen tarihte bu santrallerden hiç birinin devreye girmemesi bu yapılan tahmin ve hedeflerin yanlışlığını

Yıl	Üretim		Talep	İthalat	Yedek	
	MW	GWh	GWh	GWh	GWh	%
1986	9559	38600	40600	2000	-	-
1987	11197	53533	46000	900	8439	15
1988	13402	64004	51620	-	12384	19
1989	14966	69449	57950	-	11499	16
1990	16395	76259	65000	-	11259	15
1991	18096	84429	72150	-	12279	15
1992	20126	91028	80100	-	10928	12
1993	22160	96917	88900	-	8017	8
1994	23618	102298	98675	-	3623	3
1995	25745	113774	109530	-	4244	4
1996	27999	125470	119060	-	6410	5
1997	29710	133227	129420	-	3807	3
1998	32878	143712	140675	-	3037	2
1999	36646	156680	152910	-	3770	2
2000	38853	168017	166220	-	1797	1
2010	64449	318424	317900	-	524	0.2

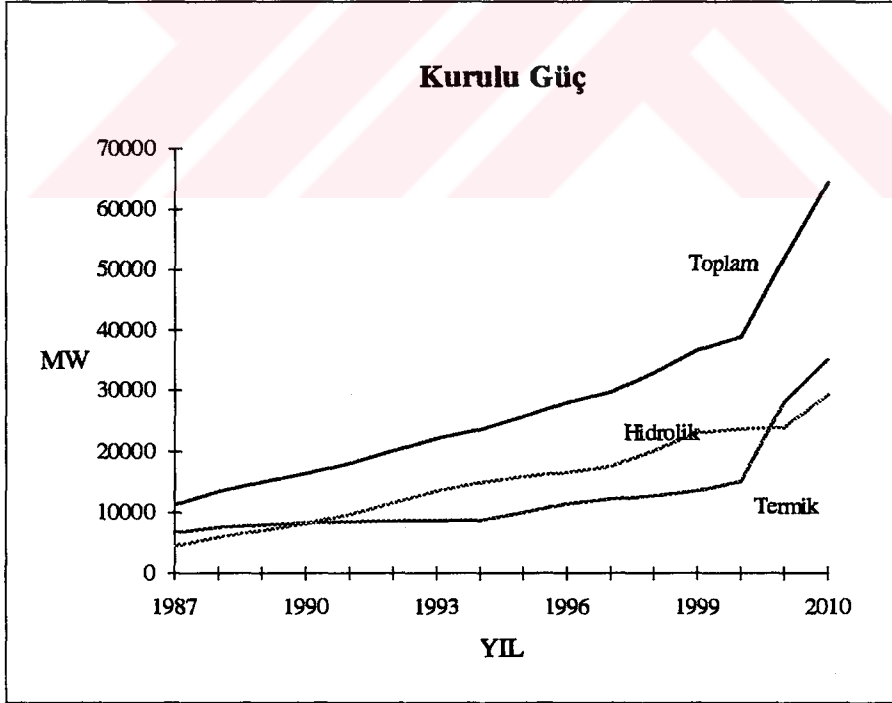
Tablo 1.1 Türkiye'nin elektrik enerjisi üretim-talep irdelemesi



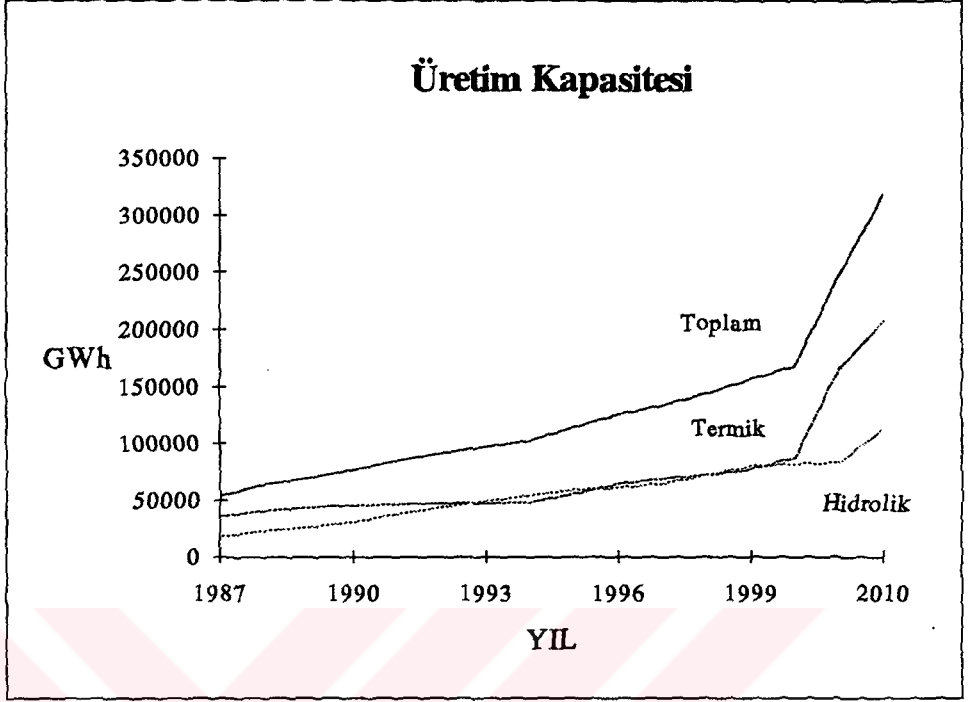
Grafik 1.1. Türkiye'nin elektrik enerjisi üretim - talep ilişkisi

YIL	Kurulu Güç (MW)			Üretim Kapasitesi (GWh)		
	Termik	Hidrolik	Toplam	Termik	Hidrolik	Toplam
1986	5673	3886	9559	25778	12822	38600
1987	6700	4498	11197	35756	17778	53533
1988	7482	5920	13402	40591	23413	64004
1989	7961	7005	14966	43467	25982	69449
1990	8296	8099	16395	45477	30783	76259
1991	8488	9608	18096	46627	37802	84429
1992	8593	11534	20126	47254	43774	91028
1993	8645	13515	22160	47568	49349	96917
1994	8708	14910	23618	47947	54351	102298
1995	9905	15840	25745	55128	58646	113774
1996	11448	16551	27999	64386	61084	125470
1997	12160	17550	29710	68661	64567	133227
1998	12700	20177	32878	71901	71811	143712
1999	13524	23122	36646	76842	79839	156680
2000	15145	23708	38853	86571	81446	168017
2005	28095	23948	52043	164269	82493	246761
2010	35095	29354	64449	206271	112153	318424

Tablo 1.2. Türkiye Elektrik Kurumu'nun kurulu güç ve üretim hedefleri



Grafik 1.2. Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu güç değişimi



Grafik 1.3. Türkiye'nin elektrik enerjisi üretim kapasitesi

ortaya komuştur. Enerji iletim hatlarının zamanında bitirilememesinden dolayı veya çevre faktörlerinden dolayı yapımı tamamlanan santrallerin hizmete alınamamasını gösterebiliriz.

Türkiye bu hedeflere ulaşmak için enerjiye olan yatırımlarını düzenli olarak yapmaz ise 2010 yılına enerji açığıyla gireceği açıkça görülmektedir. Türkiye'de kurulması planlanan hidroelektrik santrallerinin yeterli olmadığı ve bu santrallere ek olarak daha başka elektrik enerji kaynaklarının araştırılması gerektiğini biliyoruz. Ayrıca termik santrallerin yerine nükleer santraller tercih edilmelidir. Çünkü termik santraller çevreye nükleer santrallerin verdiklerinden daha fazla zarar vermekte ve bu Türkiye'ye daha fazla bir maliyet getirdiği açıkça ortadadır.[4]Batıda yapılan nükleer santraller ise son derece gelişmiş teknolojiyle ve çok sağlıklı çalıştırılmaktadır. Türkiye'de eninde sonunda nükleer enerjiye ihtiyacı vardır. Bu yüzden yatırımlarının kısa sürede yapılması gerekmektedir.

Tüm bu santrallerin kurulmalarının yanında üretilen enerjinin taşınmasında da çeşitli sorunlar yaşanmaktadır.Enerji taşınırken fazla miktarlarda kayıplara uğramakta, eski kurulan enerji iletim hatları yeterli gelmemektedir.Yedek olarak enerji iletim hatları yapılmadığı için bazı hatların arıza sonucu devreden çıkmasıyla enterkonnekte sistem aşırı yüklenip çökmektedir. Bu olumsuzlukları önlemek için yedek sistemler

kurulmalı ve doğuda belli bölgelerde üretilen enerji direkt olarak batıya taşınabilmesi için sistemde kullanılan gerilim kademesine ek olarak daha yüksek bir kademe seçilmelidir.

Türkiye'nin Elektrik Enerjisi İhtiyacını Belirleyelim:

Türkiye nüfusu 1990 yılında ortalama 53.000.000 olduğunu ve % 2,5 yıllık nüfus artışı kabul ederek;

$$TN_0 = 53,5.10^6 \quad TN_{n+1} = TN_n \cdot \exp(td.a) \quad (1.1)$$

$$a = \% 2,5 \quad td = t_1 - t_0 = 1995 - 1990 = 5$$

$$t_0 = 1990 \quad TN_1 = 53,5.10^6 \cdot \exp(5.0,025)$$

$$t_1 = 1995 \quad TN_1 = 60,62.10^6$$

tablo 1.3.'te bu nüfus artışı 2020 yılına kadar çıkarılmıştır.

Bu nüfus artışına paralel olarak enerji ihtiyacı artışı ve üretimdeki artış ise şu şekilde hesaplanabilir. 1990 yılı itibariyle üretim (ortalama) 16000 MW ve 56000 GWh'dır. Bu rakamlar baz alınarak kişi başına düşen güç miktarı ortalama 830 kWh/yıl;

$$P_0 = 16000 \text{ MW} \quad \text{üretim gücü; } P_1 = P_0 \cdot \exp(td.b) \quad (1.2)$$

$$P_{H0} = 56000 \text{ GWh} \quad P_1 = 16000 \cdot \exp(5.0,05)$$

$$P_{K0} = 830 \text{ kWh/yıl} \quad P_1 = 20544 \text{ MW}$$

$$td = 5 \text{ yıl} \quad \text{yıllık üretilen güç; } P_{H1} = P_{H0} \cdot \exp(td.b) \quad (1.3)$$

$$b = \% 5 \quad P_{H1} = 56000 \cdot \exp(5.0,05)$$

$$c = \% 3,5 \quad P_{H1} = 71905 \text{ GWh}$$

$$\text{kişi başına tüketilen enerji ; } P_{K1} = P_{K0} \cdot \exp(td.c) \quad (1.4)$$

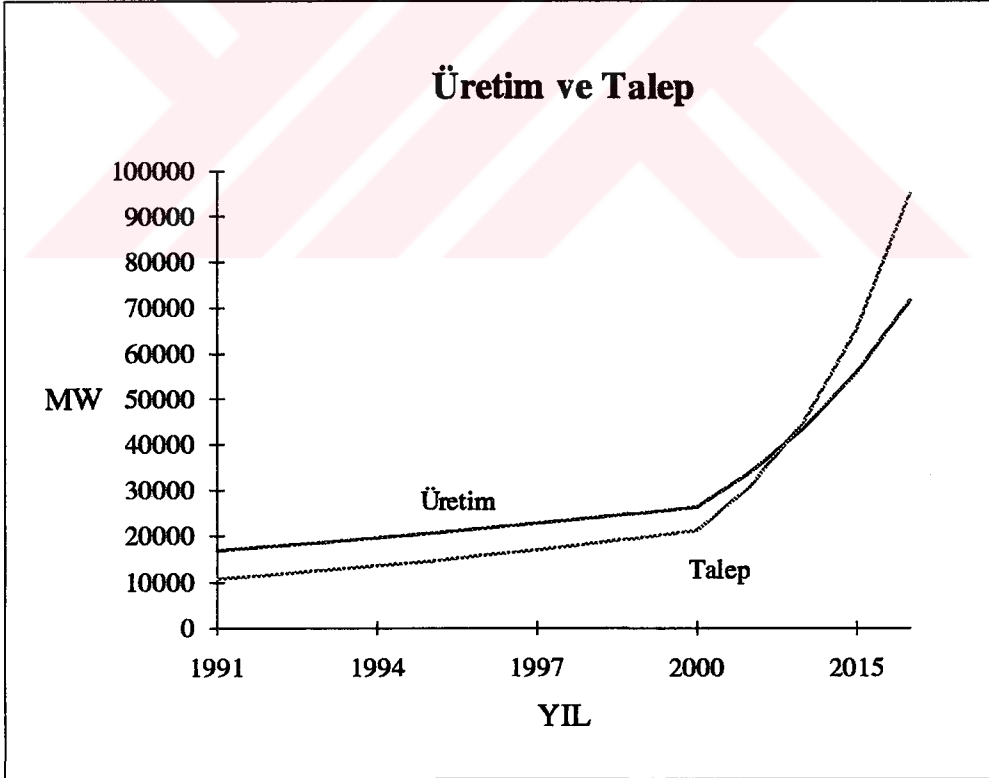
$$P_{K1} = 830 \cdot \exp(5.0,035)$$

$$P_{K1} = 1050 \text{ kWh/yıl}$$

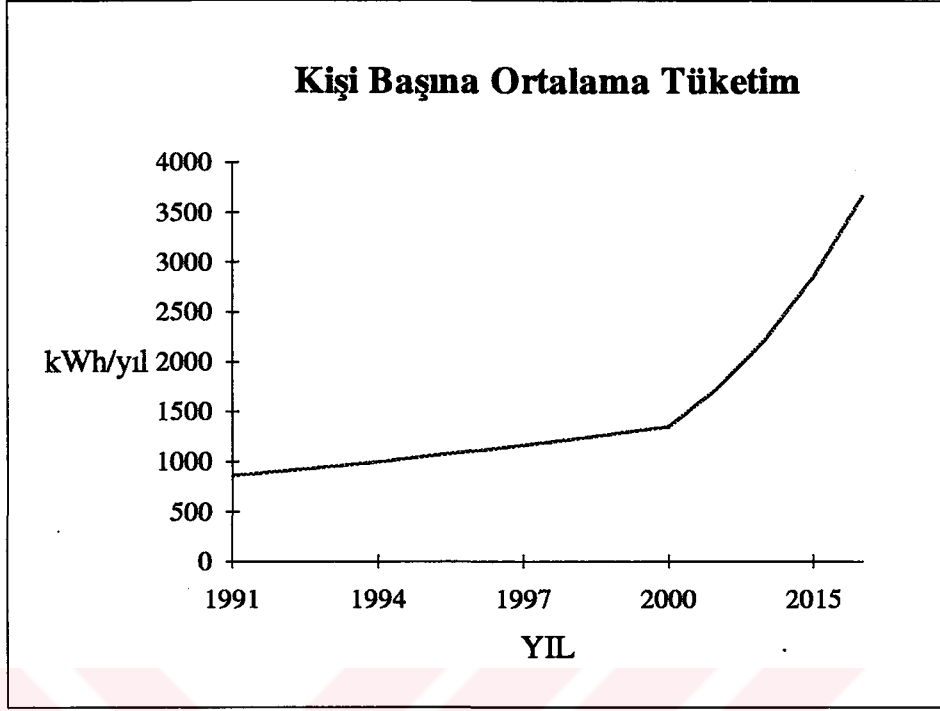
1990 yılından 2020 yılına kadar olan artışlar (Tablo 1.3 ve Grafik 1.4,1.5,1.6) gösterilmiştir.

Yıl	Birim Tüketim	Nüfus Artışı	Üretim		Talep	
	kWh		MW	GWh	MW	GWh
1990	830	53	16000	56000	10175	35612
1991	860	55	16820	58871	10804	37815
1992	904	56	17683	61890	11646	40760
1993	950	57	18589	65063	12553	43934
1994	999	59	19542	68399	13530	47356
1995	1050	60	20544	71905	14584	51044
1996	1104	62	21598	75592	15720	55020
1997	1160	63	22705	79468	16944	59305
1998	1220	65	23869	83542	18264	63924
1999	1282	67	25093	87825	19686	68903
2000	1348	68	26380	92328	21220	74269
2005	1731	78	33872	118552	30875	108061
2010	2223	88	43493	152224	44922	157227
2015	2854	100	55845	195459	65361	228765
2020	3664	113	71707	250975	95100	332851

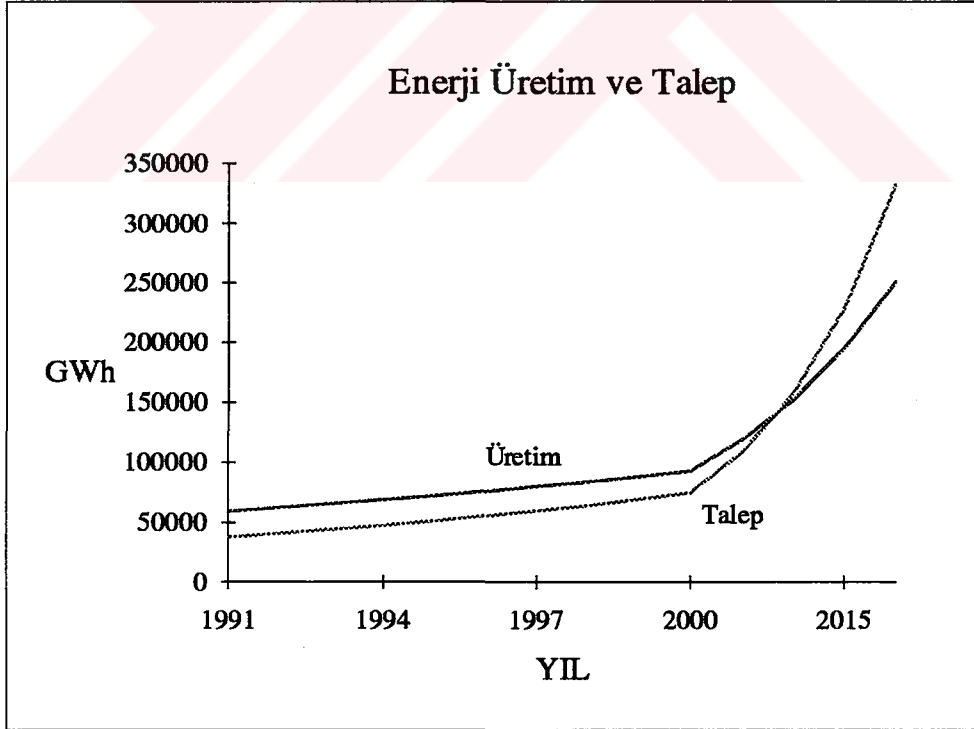
Tablo 1.3. Türkiye'nin tahmini nüfus artışı ve enerji üretim talep ilişkisi



Grafik 1.4. Türkiye'nin Elektrik gücü üretim-talep ilişkisi



Grafik 1.5. Türkiye`de kişi başına enerji tüketim



Grafik 1.6. Türkiye`nin yıllık enerji tüketimi ve talebi

1.2. TEK Enerji İhtiyaç Tahmini ve Talep Artışı :

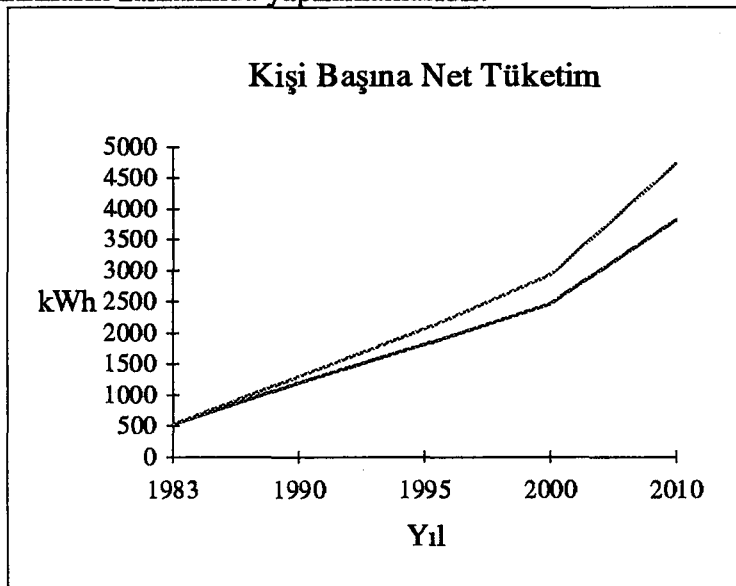
Türkiye Elektrik Kurum'unun enerji talebiyle ilgili olarak orta ve yüksek diye iki adet senaryo hazırlamıştır. Bu senaryolara göre yatırımlar yapılmaktadır. Bu senaryolarla göre enerji talepleri (Tablo 1.4. ve Grafik 1.7.) gösterilmiştir.[8]

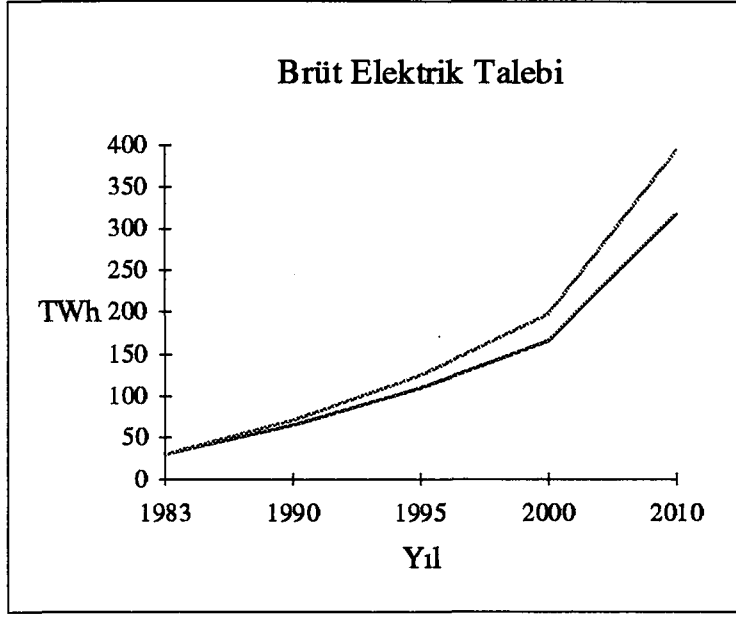
	Senaryolar	YIL				
		1983	1990	1995	2000	2010
Brüt Elektrik Talebi (TWh)	Orta	30	65	110	166	318
	Yüksek	30	71	125	197	394
Kişi Başına Net Tüketim (kWh)	Orta	522	1189	1814	2467	3826
	Yüksek	522	1299	2061	2928	4741
Yıllık Ortalama Artış (%)	Orta	11.7	11.1	8.6	6.7	
	Yüksek	13.1	12.0	9.5	7.2	

Tablo 1.4. TEK elektrik enerjisi talebi senaryoları

Tablo 1.4.ve Grafik1.7. görüldüğü bu enerji talebi senaryoları değerleri oldukça yüksektir. Çünkü 1991 yılı itibariyle yaklaşık kişi başına enerji tüketimi 860 W olarak gerçekleşmiş olduğunu TEK kendisi açıklamıştır. Ayrıca yine 1990 yılı sonu itibariyle enerji üretimi 56000 GWh olarak gerçekleşmiş fakat TEK bu senaryolarda bu rakkamı orta senaryoya göre 65000 GWh, yüksek senaryoya göre ise 71000 GWh olacağı ifade edilmiştir.

TEK kurumu bu üretim kapasitesine gerçekte ulaşabilirdi fakat ulaşamadı. Bunun sebebi yatırımların zamanında yapılamamasıdır.





Grafik 1.7. TEK elektrik enerjisi talebi senaryoları

1.3. Türkiye'nin Elektrik Enerjisi İçin Yapması Gereken Ortalama Yatırım :

Türkiye Elektrik Kurumu öncelikle hayalci ve vizyona yönelik olmayan milli bir planlama grubu oluşturmalıdır. Uzun vadede enerji ihtiyacımız ve kaynaklarımızı iyi tespit etmeli, israfa kaçmadan, gösteriş için değil daha kullanışlı metodlarla ve çevre faktörlerinin de göz önüne alınmalıdır. Çünkü gelecekte sadece çevreyi temizleyebilmek için enerji üretmemiz gerekecek. Kurulmasına milyonlarca dolar harcadığımız termik santrallerin Türkiye'mizin en güzel yerlerine kurulmasına izin vermemeliyiz, daha önceden önlemler almalıyız.

Dünyada enerji üretmek için yapılacak minimum yatırım belirlenmiştir. Bu belirlenen rakam diğer ülkelerde pek az bir değişikliğe uğramaktadır. Bu değişiklikler genelde işçilik ve projelendirme yatırımlarında ortaya çıkmaktadır.[4]

1993 senesi itibarıyla dünyada enerjinin birim maliyeti yaklaşık 2,8 \$/Wh olarak çıkarılmıştır. Bu birim maliyet USA doları üzerinden hesaplandığı için enflasyondan fazla etkilenmemektedir. Birim maliyet sadece üretim ve iletim için geçerlidir. (Bu maliyetin % 45'i enerji üretimi % 25'i iletim ve % 30'u ise dönüşümdür). Bu nedenle her yıl yapılması gereken yatırım miktarı sabittir. Buna göre Türkiye'nin yapması gereken yıllık yatırım miktarını yaklaşık olarak bulalım:

Yıllık üretim artışı % 5 olarak kabul edelim. (Bilindiği gibi 1980'den beri Türkiye'de büyüme hızı ortalama % 5'tir.) 1990 yılında ,

$$\begin{aligned}
 P_0 &= 16 \text{ GW} & t_b &= t_2 - t_0 = 2000 - 1990 \\
 LL &= 2,8 \$ / \text{Wh} & t_d &= 10 \text{ yıl} \\
 b &= \% 5 & P_2 &= P_0 \cdot \exp(t_d \cdot b) \\
 t_0 &= 1990 & P_2 &= P_0 \cdot \exp(t_d \cdot b) \\
 t_2 &= 2000 \text{ yıl} & P_2 &= 26,38 \text{ GW}
 \end{aligned}$$

$$TP = P_2 - P_0 \quad (1.5)$$

$$TP = 26,38 - 16$$

$$TP = 10,38 \text{ Mw} \quad 10 \text{ yıl için}$$

$$\text{Toplam yatırım miktarı} \quad TL = TP \cdot LL \quad (1.6)$$

$$TL = 2,8 \cdot 10,38 \cdot 10^9$$

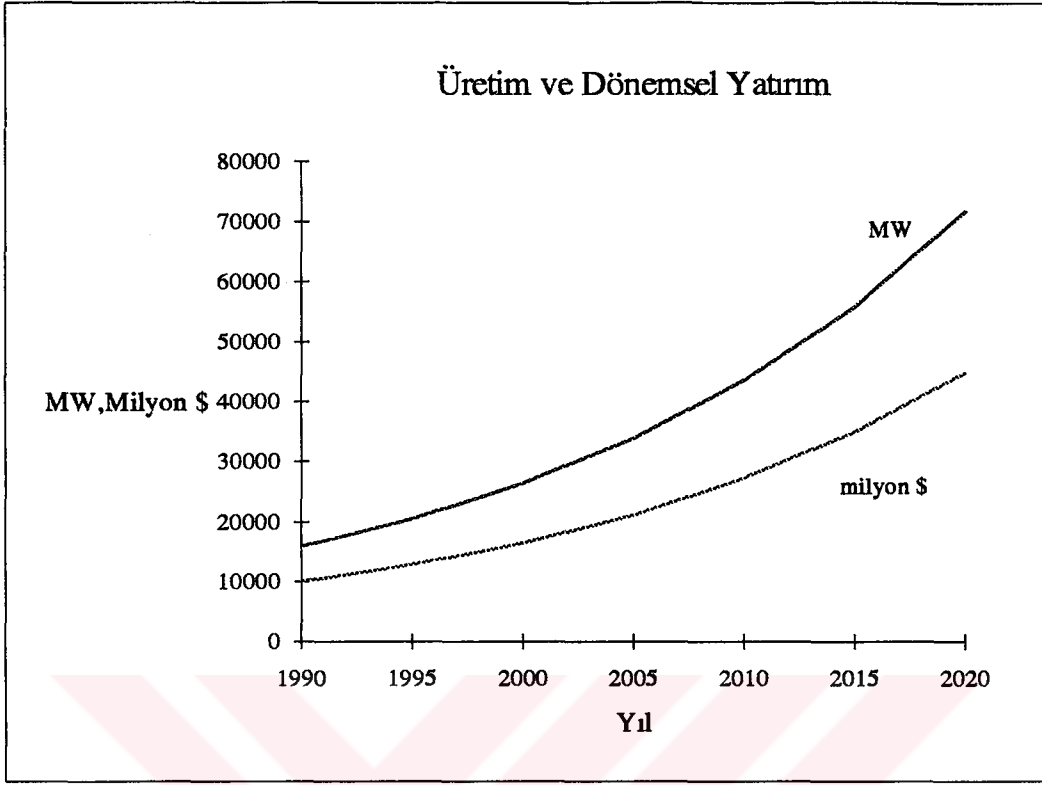
$$TL = 29,064 \cdot 10^9 \$ \quad 10 \text{ yıl için}$$

Buna göre yıllık yapılması gereken yatırım miktarı yaklaşık olarak 2.9064 milyar dolardır. Bununla ilgili grafik incelenecek olursa 2020 yılına kadar minum yapılması gereken yatırım miktarı yaklaşık olarak hesapları bilmektedir. Bu yatırım sadece üretim ve iletim için geçerlidir. Dolayısıyla dağıtım ve diğer yatırımlar için geçerlidir.

Burada alınan rakam (2,8 mills / Wh) 1992 yılı itibariyle ortalama bir rakamdır. Kaynak [4]'den alınmıştır. 1990 ile 2020 yılına kadar yapılması gereken yatırım miktarları yaklaşık olarak çıkarılmıştır. Tablo 1.5'e ve Grafik 1.8'te görüldüğü gibidir.

Yıl	Dönem	Üretim	Üretim Farkı	Dönem Yatırımı
		MW		milyon \$
1990	1990-1985	16000	3540	10011,6
1995	1995-1990	20544	4544	12852,2
2000	2000-1995	26380	5835	16502,6
2005	2005-2000	33872	7492	21189,7
2010	2010-2005	43493	9621	27208,2
2015	2015-2010	55845	12353	34936
2020	2020-2015	71707	15862	44858,7

Tablo 1.5.Sadece üretim için dönemsel yatırım



Grafik 1.8. Dönemsel yatırım ve üretim

Not :

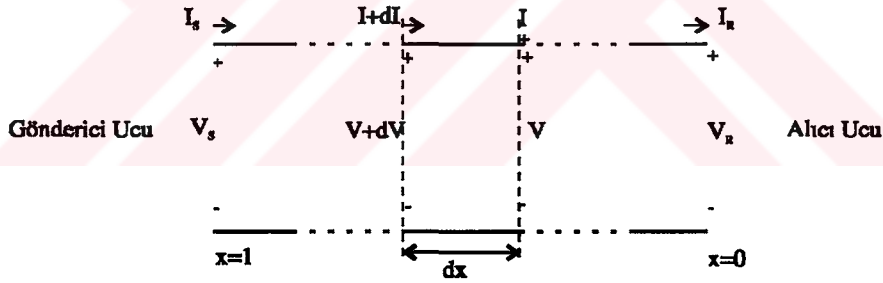
Bu bölümdeki ve diğer tüm bölümlerdeki analizler , grafikler ve tablolar Excel programında hazırlanmıştır.[9]

BÖLÜM 2

ENERJİ İLETİM HATLARI

2.1. Uzun İletim Hatları

Bir iletim hattının uzunluğu boyunca düzgün dağılmış direnç, endüktans, kapasitans ve kaçak kondüktansı vardır. Pratikte toprağa kaçak kondüktans ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Genellikle iletim hattının gönderici uç ve alıcı uç olarak adlandırılan iki ucu arasındaki akım ve gerilim bağıntıları ile ilgilenilir. Mesafeler alıcı uçtan itibaren ölçülür. Hat boyunca yayılmış seri empedanslar ve şönt admitanslar sonucu hem akım hemde gerilim hattın her noktasında değişir. Şekil 2.1 de alıcı ucu uzaklığında dx boyunda bir hat elemanı gözönüne alınmıştır. Hattın bu elemanı için



Şekil 2.1 İletim hattının dx boyunda akım-gerilim ilişkisi

$$dV = I \cdot z \cdot dx$$

yazılabilir, veya

$$dV/dx = I \cdot z \quad (2.1)$$

ve

$$\begin{aligned} dI &= V \cdot y \cdot dx \\ dI/dx &= V \cdot y \end{aligned} \quad (2.2)$$

yazılabilir. Burada z birim uzunluk ve bir faz için seri empedans, y birim uzunluk ve bir faz için şönt admitansdır. 2.1 ve 2.2 denklemlerinin türevini alarak

$$d^2 V / dx^2 = z.dI / dx \quad (2.3)$$

$$d^2 I / dx^2 = y.dV / dx \quad (2.4)$$

eşitlikleri elde edilir. 2.3 , 2.4 , 2.1 , ve 2.2 eşitlikleri kullanılarak

$$d^2 V / dx^2 = z.y.V \quad (2.5)$$

$$d^2 I / dx^2 = z.y.I \quad (2.6)$$

eşitlikleri elde edilir. 2.5 denkleminin çözümü şu şekildedir.

$$V = A.exp ((z.y)^{0.5}.x) + B.exp (-(z.y)^{0.5}.x) \quad (2.7)$$

Bu eşitliğin x' e göre türevi alınır ve 2.1 eşitliğinde yerini yazılır ise akım için aşağıdaki denklem bulunur.

$$I = 1/(z/y)^{0.5}. (A.exp ((z.y)^{0.5}.x) - B.exp (-(z.y)^{0.5}.x)) \quad (2.8)$$

A ve B sabitleri sınır koşulları gözönüne alındığında çözülebilir. Bu koşullar $x = 0$ da $V = V_R$ ve $I = I_R$ dir. Bu işlem yapıldığında

$$A = (V_R + (z/y)^{0.5}. I_R) / 2$$

$$B = (V_R - (z/y)^{0.5}. I_R) / 2$$

değerleri bulunur. Bu eşitliklerde görülen $(z/y)^{0.5}$ değerine hattın karakteristik empedansı denir ve Z_c ile gösterilir. $(z/y)^{0.5}$ değeride propogasyon sabiti olarak adlandırılır ve γ ile gösterilir.

Bu bilgiler ışığında 2.7 ve 2.8 denklemleri yeniden yazılırsa;

$$V(x) = [(V_R + I_R \cdot Z_C) / 2] \cdot \exp(\gamma \cdot x) + [(V_R - I_R \cdot Z_C) / 2] \cdot \exp(-\gamma \cdot x)$$

$$I(x) = [((V_R / Z_C) + I_R) / 2] \cdot \exp(\gamma \cdot x) + [((V_R / Z_C) - I_R) / 2] \cdot \exp(-\gamma \cdot x)$$

ve hiperbolik olarak

$$V(x) = V_R \cdot \cosh(\gamma \cdot x) + I_R \cdot Z_C \cdot \sinh(\gamma \cdot x)$$

$$I(x) = V_R / Z_C \cdot \sinh(\gamma \cdot x) + I_R \cdot \cosh(\gamma \cdot x)$$

şeklinde yazılabilir. Eşitlikler hattın alıcı ucundan x uzaklığındaki bir noktada akım ve gerilim değerlerini verir. Hattın gönderici ucundaki akım ve gerilim değerleri $x = l$ koyarak bulunur.

$$V_S = V_R \cdot \cosh(\gamma \cdot l) + I_R \cdot Z_C \cdot \sinh(\gamma \cdot l) \quad (2.9)$$

$$I_S = V_R / Z_C \cdot \sinh(\gamma \cdot l) + I_R \cdot \cosh(\gamma \cdot l) \quad (2.10)$$

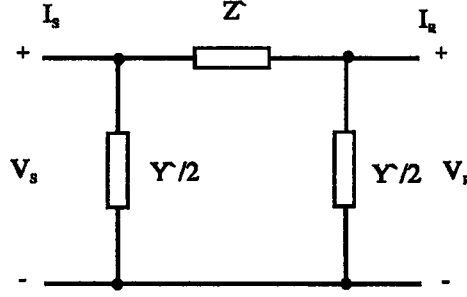
γ ve Z_C 'nin ikisinde komplekstir. Propogasyon sabiti γ 'nın reel kısmına zayıflama sabiti, imajiner kısmına ise faz sabiti adı verilir. ($\gamma = \alpha + j\beta$) Hattın karakteristik empedansı olan Z_C 'nin tek hat için tipik değeri 400 ohm dur. Eğer iki paralel hat söz konusu ise bu değer 200 ohm dur. Z_C 'nin faz açısı genellikle 0 ile 15 derece arasındadır. Güç sistemleri çalışmalarında karakteristik empedansa bazen dalga empedansı da denir.

Bu terim genellikle kayıpsız hatlar için kullanılır. Kayıpsız bir hatta direnç ve kondüktans sıfır değerindedir. Bu durumda karakteristik empedans $Z_C = (L/C)^{0.5}$ değerini alır. Yüksek frekanslarda ve yıldırım dalgalarında kayıplar ihmal edilir ve dalga empedansı önem kazanır. [1] , [3] , [4]

2.2. Uzun İletim Hatlarının Eşdeğer Devresi

Nominal T ve π devreleri iletim hattını, hattın üniform olarak dağılmış parametreleri için hesaplanmadığından tam olarak temsil etmezler. Nominal T ve π devreleri ile gerçek devreler arasındaki fark hat uzunluğu arttıkça büyür. Uzun hatlarda,

hattın eşdeğer devresini bulmak ve hattın uçlarındaki akım ve gerilimler ile ilgilenildiğinde, hattı toplu devre parametreleri ile göstermek mümkündür. Şekil 2.2’de π devresinde seri kolu Z' ve şönt kolları $Y'/2$ olan elemanlar bulunduğu alıcı ucu ve gönderici uç gerilimleri ile akımları



Şekil 2.2. İletken hattını eşdeğer π devresi

arasındaki bağıntılar yazılabilir.

$$V_s = (1 + Z' \cdot Y'/2) V_r + Z' \cdot I_r$$

$$I_s = (Y' + Z' \cdot Y'^2/4) V_r + (1 + Z' \cdot Y'/2) V_r \cdot I_r \quad (2.11)$$

Uzun bir iletim hattının uçları arasındaki akım ve gerilim bağıntıları 2.9 ve 2.10 denklemleriyle daha önce elde edilmiştir. π devresindeki Z' ve Y' elemanları 2.9, 2.10 ve 2.11 eşitliklerinin birbirinin aynı olması düşüncesinden bulunabilir. Z' için

$$Z' = Z_c \cdot \sinh(\gamma l) \quad (2.12)$$

$$Z' = (z/y)^{0.5} \cdot \sinh(\gamma l)$$

$$Z' = (z \cdot l \cdot \sinh(\gamma l)) / (\gamma l)$$

$$Z' = (Z \cdot \sinh(\gamma l)) / (\gamma l) \quad (2.13)$$

bulunur. Burada $Z = z \cdot l$ hattın toplam seri empedansıdır. $(\sinh(\gamma l)) / (\gamma l)$, nominal 'nin seri empedansı ile çarpılarak nominal π 'yi eşdeğer bir π 'ye çeviren bir

parametredir. $\gamma.l$ 'nin küçük değerlerinde $\sinh(\gamma.l)$ ile $\gamma.l$ değerleri hemen hemen aynıdır. Y' için gene aynı eşitlikten

$$1 + Z'.Y'/2 = \cosh(\gamma.l)$$

elde edilir. Z' yerine yukarıda bulunan değer konur ve düzenlenirse

$$Y'/2 = (1/Z_c) \cdot \tanh(\gamma.l/2)$$

$$Y'/2 = (y \cdot (l/2) \cdot \tanh(\gamma.l/2)) / (\gamma.l/2)$$

$$Y'/2 = (Y/2 \cdot \tanh(\gamma.l/2)) / (\gamma.l/2) \quad (2.14)$$

bulunur. Burada $Y = y.l$ hattın toplam şönt admitansdır. Orta uzunluktaki hatlarda ; $\tanh(\gamma.l/2) / (\gamma.l/2)$ değeri bire çok yakındır ve bu nedenle nominal π orta uzunluktaki hatlarda rahatça kullanılır.

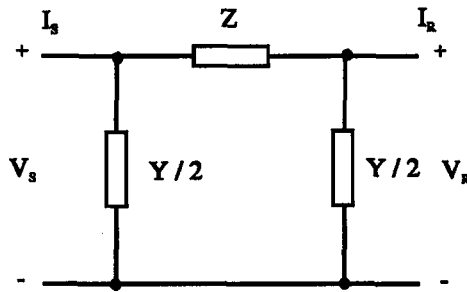
2.3. Orta ve Kısa İletim Hatlarının Eşdeğer Devreleri

$\gamma.l$ 'nin 1'den küçük olduğu durumlarda, yani orta uzunluktaki hatlarda

$$Z' = z.l = Z$$

$$Y'/2 = y.l/2 = Y/2 \quad (2.15)$$

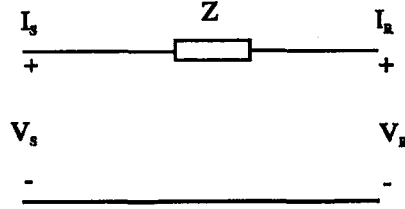
yazılabilir. Bu şekildeki bir yaklaşımla elde edilen π devresine nominal π devresi denir. (Şekil 2.3)



Şekil 2.3. İletim hattının nominal π devresi

Aynı düşünce izlenerek nominal T devresi içinde benzer eşitlikler elde edilir. Bilgisayar incelemelerinde nominal T devresinin kullanılması sisteme fazladan düğümler ekleyeceğinden pek uygun değildir.

Çok kısa hatlarda ($l < 80$ km.) şönt admitanslar ihmal edilir ve hattın eşdeğeri Şekil 2.4'deki gibi basitleştirilir.



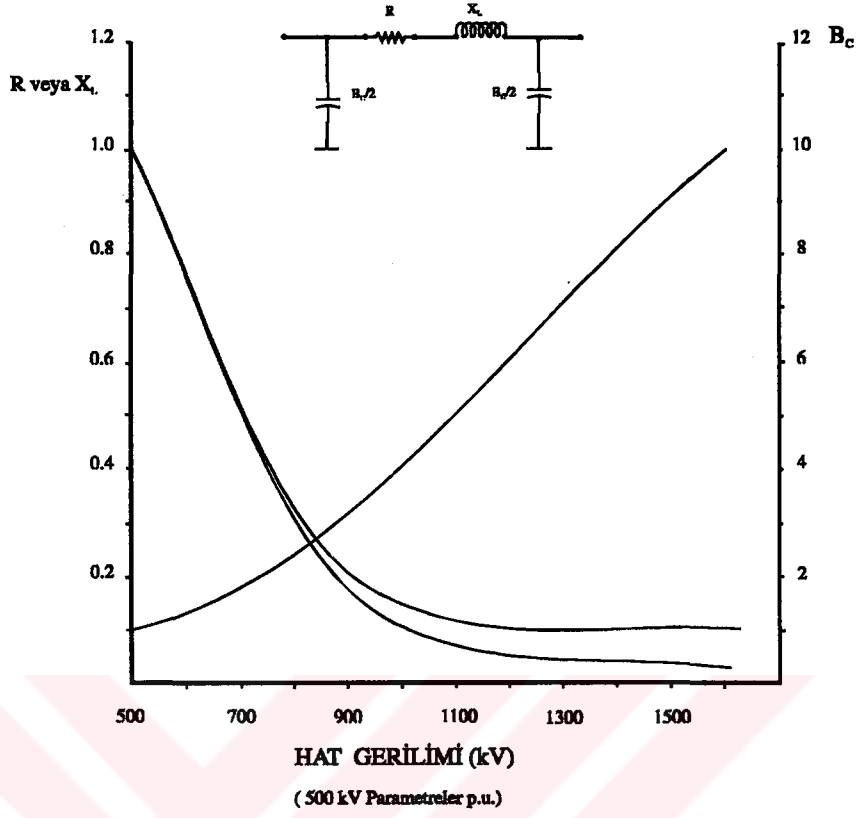
Şekil 2.4 Kısa iletim hatlarının gösterimi

2.4. EHV ve UHV İletim Hatlarının R , X_L ve B_C Parametreleri

Tüm EHV ve UHV ac iletim hatları üç fazlıdır ve birçok analiz için bu hatlar R , X_L ve B_C bir hattın parametreleri olmak üzere tek hat eşdeğeriyle gösterilebilir. Daha iyi hesaplamalar istenirse tüm parametrelerin hat boyunca düzgün dağılmış olarak alınması gerekir.

Şekil 2.5'de tipik EHV ve UHV hat parametreleri karşılaştırılmaktadır. Şekilde elektriki parametreler per-ünit veya seçilen baz veya referansın yüzdesi olarak ifade edilmiştir. Herhangi bir büyüklüğün per-ünit değerinin 100 katıdır. Elektrik mühendisleri bu oranı işlemleri basitleştirdiği ve karşılaştırma olanağı nedeniyle sıkça kullanırlar.

Şekil 2.5'de gösterilen UHV seviyesindeki parametreler mümkün olan UHV hat dizaynları temel alınarak verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi R ve X_L hat geriliminin artmasıyla hızla düşmektedir. Bu daha çok yüksek gerilimli hatların elektriksiz uzaklığının hızla düştüğünü açıklar. Diğer taraftan hat kapasitesinin, gerilimle hızla yükselmesi yüksek gerilim sistem dizaynında daha dikkatli davranılmasını gerektirir.



Parametre	Gerilim (kV)			
	500	765	1100	1500
İletkenlerin Boyut ve Tipi	2-2049 MCM	4-1351 MCM	8-1781 MCM	12-1351 MCM
Bundle Çap (cm)	45,7	64,8	106,9	127
Faz uzaklığı (m)	9,2	13,9	22	23,8
R (pozitif)	0,0011 [1.0]	0,00033 [0.3]	0,00007 [0.0636]	0,00003 [0.0282]
X (pozitif)	0,0237 [1.0]	0,00918 [0.3873]	0,00389 [0.1642]	0,00212 [0.0896]
B (pozitif)	1,8103 [1.0]	4,6592 [2.5737]	10,87423 [6.0069]	20,19633 [11.1563]

100 mil uzunluğundaki hat için 100 MVA baz olmak üzere per-unit değerleri.

Parantez içindeki değerler 500 kV hat parametreleri baz alınarak verilmiştir.

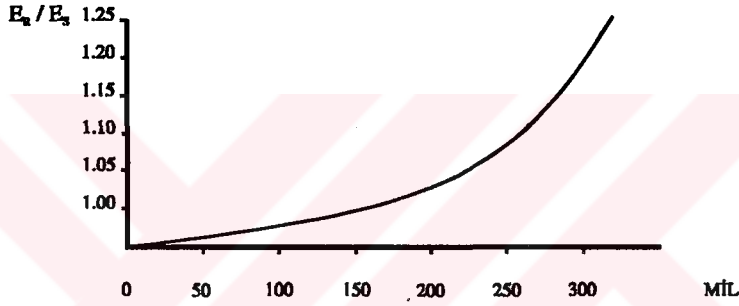
Şekil 2.5 Yüksekgerilim iletim hatlarının R , X_L ve B_C parametrelerinin değişimi

2.5. Enerji İletim Hatlarının Reaktif Kompanzasyonu

İletim hatlarının etkinliği seri ve paralel reaktif kompanzasyon ile artırılabilir. Bu uygulama genellikle orta ve uzun iletim hatlarında yapılır. Seri kompanzasyon, hattın bir fazına seri olarak konan kapasitör bankları ile oluşturulur.

Şönt kompanzasyon, yüksek gerilim iletim hatlarının alıcı uçlarında düşük güçlerin bulunması halinde hatların şönt süseptansı nedeniyle hat sonu gerilimin nominal gerilimin üstüne çıkmasını engellemek için yapılır. Hatların kapasitif etkileri şönt kompanzasyon ile ya tamamen yada kısmen ortadan kaldırılabilir.

Şekil 2.6' da bir enerji iletim hattının alıcı ucunda yük yokken kapasitif akımlardan dolayı uzunluğa bağlı olarak hat sonu geriliminin hat başı gerilimine oranının değişimi verilmiştir. [4]. Şekildende görüldüğü gibi alıcı ucdaki gerilimin gönderici ucdaki gerilime oranı hat uzunluğunun artmasıyla daha büyük değerlere çıkmakta ve özellikle çok yüksek gerilimli enerji iletim hatlarında sistemin güvenli ve kararlı çalışmasında dikkat edilmesi gereken önemli bir etken olmaktadır.



Şekil 2.6 Yüklü bir iletim hattında hat sonu geriliminin hat başı gerilimine oranının uzunlukla değişimi

Enerji iletim hatlarında gerilim % 10'dan daha büyük değerlerde değişmesi işletme şartları açısından istenmez. Şönt kompanzasyon ile hat sonu gerilimin kapasitif akımlar sonucu büyük değerlere çıkması önlenmiş olur. Kısa enerji iletim hatlarında kapasitif akımların büyük olmaması nedeniyle şönt kompanzasyon kullanılmaz.

Seri kompanzasyon, gerilim düşümüne neden olan ve hattın iletilebileceği maksimum gücün hesaplamasında en önemli faktör olan hattın seri empedansını azaltır.

Kapasitörlerin reaktansı hattın endüktif reaktansının bir bölümünü komanze edecek şekilde saptanır. X_C seri kapasitör banklarının kapasitif reaktansı, X_L hattın bir fazının toplam endüktif reaktansı olmak üzere X_C / X_L oranına "kompanzasyon faktörü" denir. 380KV.'luk Keban-Gölbaşı hattı için kompanzasyon faktörü % 20'dir.

Hat ve kapasitör bankını göstermek üzere nominal π devresi kullanıldığı zaman, kapasitörlerin hat boyunca konulduğu yer önemli değildir. Eğer hattın alıcı ve verici uçları ile ilgileniliyorsa bu herhangi bir hata doğurmaz. Bununla birlikte

eğer hat boyunca işletme koşullarıyla ilgileniliyorsa kapasitör banklarının fiziksel yeri gözönüne alınmalıdır.

Seri kompanzasyon çok uzun mesafelere büyük miktarlarda enerji iletimi söz konusu olduğunda daha da önem kazanır. Seri kapasitörler aynı zamanda paralel iki hatta gerilim düşümünün dengelenmesi için kullanışlıdır. Hattın kapasitif akımı özellikle yüksek ve ultra yüksek gerilimlerde düşünülmesi gereken önemli bir faktördür ve hattın tam yükteki akımını aşmasına izin verilmemelidir. Uzun iletim hatlarına seri ve şönt kompanzasyonu birlikte uygulayarak etkin biçimde büyük miktarlardaki güç iletimi ve hat geriliminin istenen sınırlar arasında kalması sağlanır.



BÖLÜM 3

MAKSİMUM GÜÇ TRANSFERİ VE ÇALIŞMA ŞARTLARI

3.1. Enerji İletim Hatlarında Kapasite Arttırma Yöntemleri;

Enerji talep miktarındaki yıllık büyümeye kadar enerji iletim hatlarında büyüme olmamıştır. Enerji talep miktarı bazı durumlarda hattın kapasitesinin üzerine çıkabilir. Talep miktarı günlük olarak da bazı beklenmeyen durumlarda veya günün belli zamanlarında hatların kapasitelerinin üzerinde olabilir. İşte bu gibi durumlarda enterkonnekte sistemlerde sistemdeki kararlılığın (stabilitenin) kaybolmaması için sistemin kapasitesini artırmak gerekir. Kapasite artırma yöntemlerinin bazıları kalıcı bazıları da geçicidir.

3.1.1. Üretimi Artırmak:

Üretimi artırmadıktan sonra iletim hattının kapasitesini artırmak bir yarar sağlamaz. Sadece hattın kayıplarını azaltıp bu kayıplar kadar bir güç artışı olur. Bu yöntem geçicidir. Çünkü üretimi artırıp azaltarak istediğimiz gibi bir denge oluşturabiliriz.

3.1.2. Çoklu Devre Kullanmak:

Bu yöntem kalıcı bir yöntemdir. Çoklu devre kullanmak bilindiği gibi iki ayrı 3 fazlı hattın yan yana çekilmesiyle olmaktadır. Fakat bu donanım bakımından bazı zorluklar getirmektedir. Bu zorlukları örnek olarak daha büyük dayanma gücüne sahip taşıyıcı direklere (Özel tip) gereksinim olmasıdır. Bu yöntem genel olarak dağıtım hatlarında ,154 kV gerilim kademesinin altında daha çok kullanılmaktadır..

3.1.3. Faz Sayısının Artırılması:

Enerji iletim hattında faz sayısının arttırılması kalıcı bir yöntem olup (3 fazın

6 faza çıkarılması) hattın kapasitesini 1,73 kadar arttırmaktadır. Bu yöntem fazla kullanılmayan bir yöntemdir. Bunun nedeni ise yine çoklu devre kullanmakta olduğu gibi ek ve özel donanımları gerektirmesidir. Ayrıca sistem mevcut sistemlerden farklı olduğu için çalışma zorlukları ortaya çıkabilmektedir.

3.1.4. Demet İletken Kullanmak:

Enerji iletim hatlarında yüksek gerilimlerden dolayı (korona kayıpları, kaçak elektrikten dolatı oluşan kayıplar) kayıplar ortaya çıkmaktadır. Bu kayıpları önlemek için ve hattın reaktansını düşürerek daha fazla güç aktarabilmek için bu yöntem oldukça sık kullanılır. Demet iletken kullanılması kalıcı bir yöntemdir. Yüksek gerilim kademelerine göre demet iletkenindeki iletken sayısı artmaktadır. Gerilim kademesine göre demet iletkenindeki iletken sayısı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.[4]

Gerilim Kademesi	Demet İletken Sayısı				
	2'li	3'lü	4'lü	8'li	12'li
220 kV	x	-	-	-	-
345 kV	x	x	-	-	-
500 kV	-	x	x	-	-
765 kV	-	-	x	x	-
1100 kV	-	-	-	x	x
1500 kV	-	-	-	-	x

Şekil 3.1. Gerilim kademelerine göre demet iletkenindeki iletken sayıları

3.1.5. Seri Kompanzasyon Yapmak :

Enerji iletim hattının çok uzun olması bazı problemleri ortaya çıkarmaktadır. Hattın mesafesinden dolayı ortaya çıkan problemi ortadan kaldırmak için ve hattın endiktüf reaktansını azaltarak hattın kapasitesini artırmak için kullanılır. Kalıcı bir yöntemdir.

3.1.6. Şönt Kampanzasyon Kullanmak :

Yüksek gerilim iletim hattında bu yöntemi kullanmak oldukça zordur. Çünkü çok yüksek gerilimli kapasiteler imal etmek zordur. Bunun yerine alıcı uçlarında kampanzasyon yaparak bu yöntem kullanılır. Devreye belli zamanlarda reaktif yükler girip çıktığı için kampanzasyon miktarı da değişmektedir. Bu nedenle bu yöntem geçici bir yöntemdir.

3.1.7 Taşıma Geriliminin Artırılması :

Her ülke kendi oluşturdukları enterkonnekte sistemlerde belli gerilim kademeleri kullanırlar. Fakat bazen uzun mesafelere büyük güçler aktarabilmek için bu gerilim kademeleri yeterli gelmez. Bu yüzden enterkonnekte sistemde normal kullanılan gerilim kademesine ek olarak bir veya iki kademe daha yüksek bir gerilim kullanılarak sistem daha güvenilir hale getirilmiştir.

3.2. İletken Kesitlerinin Seçilmesi ve R , X_L , X_C Değerlerinin Hesaplanması

Yüksek gerilim iletim hatlarında kullanılan iletkenler yapılan diğer iletim hatlarında kullanılan iletkenlerden farklıdır. Çok uzak mesafelere çok büyük güçler taşınmaları ve bu taşınan enerjinin güvenli ve sürekli olmasının istenmesi iletken yapılarının farklı olmasına yol açmaktadır. Ayrıca çalışılan gerilim kademesi ve taşınan güçlerin getirdiği ek sorumluluklarda iletkenin seçilmesine büyük etkindir. Bunlara ek olarak tabiki en büyük etken elektriksel teknik özelliklerin getirdiği zorunluluklardır. Elektriksel özelliklerin başında iletilecek güce göre akım taşıma kapasitesidir. Planlamada ileride oluşacak güç artışı da göz önünde tutularak ve asıl bu etkenlerde gözönünde bulundurularak çok toleranslı iletkenler seçilmektedir. Yüksek gerilimde özellikle 230 kV'ın üzeri için en önemli olaylardan biri olan korona kayıplarının önlenmesi ve en aza indirilmesi amacıyla demet iletkenlerin kullanılmasıdır. Demet iletken kullanılmasına; karakteristik empedans yüklemesi de (Surge impedance loading or Naturel loading metod) neden olmaktadır. Karakteristik empedans yüklemesi iletkenin kendi yapısından ve çoklu iletken kullanılmasından dolayı oluşan empedanstır. Karakteristik empedans; hatların akım kapasiteleri kadar yüklenmelerine izin vermez. Çünkü hatlardaki kararlılığın sürekli olması için karakteristik empedans yüklemesinin limitlediği güç kadar bir güç iletimi yapılabilir.

$$\text{Karakteristik empedans } Z_0 = ((WL) \cdot (1/WC))^{0.5} \quad (3.1)$$

$$Z_0 = (L / C)^{0.5} \quad \text{dır.} \quad Z_0 = (X_L \cdot X_C)^{0.5} \quad (3.2)$$

Formüldende anlaşıldığı gibi iletkenin reaktansı ve kapasitesine bağlıdır. Bu yüzden iletkenin empedansını bulabilmek için reaktansını ve kapasitesini de hesaplamalıyız.

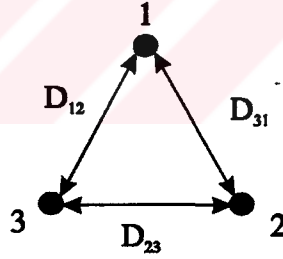
Reaktansı ve kapasitesi tek iletken için tablolardan hesaplayabiliriz fakat 2,3 ,4'lü demet iletkenler için durum farklıdır.

3.2.1. Reaktans İçin :

Faz başına ortalama indüktans (Tek iletken için)

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln (D_{eq} / D_s) \quad \text{H/m} \quad (3.3)$$

Bu formülde D_s iletkenin geometrik ortalaması belli olmasına karşılık D_{eq} hattın düzenine göre simetrik olmayabilmektedir.



3 fazlı hat dizilişi için ; $D_{eq} = (D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31})^{1/3}$ bulunur. D_s ise Tablo 1'den bulunur.

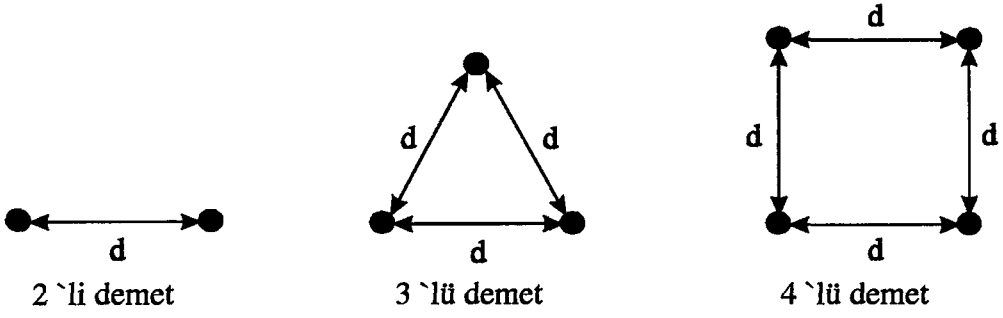
$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ 'den hesaplanabildiği gibi bu konuda hazırlanmış tablolardan yararlanılarak da bulunabilir.

Tablo 1'den kullanılan iletkenin tipine göre X_a ve Tablo 2'den D_{eq} görede X_d veya

$$X_d = 0,2328 \cdot \log_{10} D_{eq} \quad (\Omega / \text{mills}) \quad \text{olarak bulunarak da} \quad (3.4)$$

$$X_L = X_a + X_d \quad \text{faz başına} \quad (\Omega / \text{mills}) \quad (3.5)$$

Bu formüller sadece tek iletken için verilmiştir. Demet iletkende ise sadece iletken sayısına göre D_s değişmektedir.



$$2'li \text{ demet iletken için} \quad D_{SB} = (D_s \cdot d)^{0,5} \quad (3.6)$$

$$3'lü \text{ demet iletken için} \quad D_{SB} = (D_s \cdot (d)^2)^{1/3} \quad (3.7)$$

$$4'lü \text{ demet iletken için} \quad D_{SB} = 1.09 \cdot (D_s \cdot (d)^3)^{1/4} \quad (3.8)$$

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln (D_{eq} / D_{SB}) \quad H/m$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (\Omega) \quad (3.9)$$

3.2.2 Kapasitans İçin :

Faz başına ortalama kapasite

$$C_M = 2 \cdot \pi \cdot k / \ln (D_{eq} / D_{SC}) \quad F/m \text{ dir.} \quad (3.10)$$

(k = 8,85 sabit Al. için)

Burada reaktansta olduğu gibi D_{eq} faz dizilisine göre hesaplanmakta,

$$D_{eq} = (D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31})^{1/3} \quad 3 \text{ fazlı hat dizilişi için bulunur.} \quad (3.11)$$

$$X_c = 1 / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_M) \quad (3.12)$$

D_{SC} Tablo 1'den bulunarak formülde yerine konur ve C_M hesaplanır, daha sonra (3.12)'de yerine konarak kapasitansı bulunur. Reaktansta olduğu gibi tek iletken için Tablo 1'de olduğu gibi X_a ($M \Omega$ /mills) ve Tablo 3'den ise D_{eq} 'e göre X_d bulunur veya formül olarak da

$$X_d = 0,08198 \cdot \log_{10} D_{eq} \text{ bulunabilir.} \quad (3.13)$$

$$X_c = X_a + X_d \text{ (} M \Omega \text{ /mills) hesaplanır.} \quad (3.14)$$

Demet iletken için ise yine reaktansta olduğu gibi 2,3,4'lü iletken için D_{SC} hesaplanır.

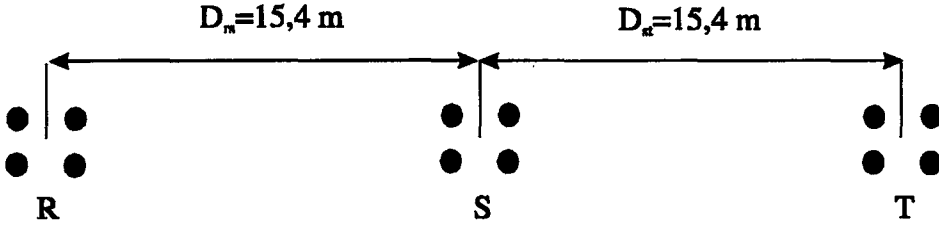
$$2'li \text{ demet iletken için} \quad D_{SC} = (r \cdot d)^{0,5} \quad (3.15)$$

$$3'lü \text{ demet iletken için} \quad D_{SC} = (r \cdot (d)^2)^{1/3} \quad (3.16)$$

4'lü demet iletken için $D_{SC} = 1,09.(r. (d)^3)^{1/4}$ (3.17)

Tablo 1'den iletken (2r) çapı okunur ve yarıçapı bulunarak metrik sisteme çevrilir.

Örnek : 765 kV'ta kullanılan ACSR 1,351 (54/19) için 4'lü demet iletken için $d = 45$ cm iletken dizilişi şekilde verildiği gibidir. Bu verilere göre R, X_L, X_C ;



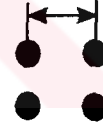
$$D_{eq} = (15,4 \cdot 15,4 \cdot 2 \cdot 15,4)^{1/3}$$

$$D_{eq} = 19,4 \text{ m bulunur.}$$

Hattın faz başına direnci Tablo 1'den 50 Hz için (25 derece)

$$R' = 0,0694 \text{ } \Omega / \text{mils/iletken 4'lü demet iletken için ise ;}$$

$$R = R' / 4 = 0,0694 / (4 \cdot 1,61) = 0,0107 \text{ } \Omega / \text{km / demet bulunur. } D_s \text{ Tablo } d=45 \text{ cm}$$



1'den GMR değerlerini ;

$$D_s = 0,0479 \text{ ft.}$$

$$1 \text{ ft} = 30,48 \text{ cm}$$

$$D_{SB} = 1,09.(D_s. (d)^3)^{1/4}$$

$$D_{SB} = 1,09.(0,0479 \cdot 0,3048 (0,45)^3)^{1/4} = 1,09 \cdot 0,19$$

$$D_{SB} = 0,208 \text{ m}$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln (D_{eq} / D_{SB})$$

$$\Omega / \text{km}$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln (19,4 / 0,208)$$

$$X_L = 0,208$$

$$\Omega / \text{km /faz olur.}$$

Tablo 1'den iletken kesitine göre çapı bulunur .

$$r = (1,424 \cdot 0,3048) / (2 \cdot 12) = 0,018 \text{ m}$$

$$12" = 1' \text{ ft}$$

$$D_{SC} = 1,09.(0,018. (0,45)^3)^{1/4} = 0,219 \text{ m}$$

$$C_M = 2 \cdot \pi \cdot k \cdot 10^{-12} / \ln (D_{eq} / D_{SC}) = 2 \cdot \pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} / \ln (19,4 / 0,219)$$

$$C_M = 12,4 \cdot 10^{-12} \quad \text{F/m}$$

$$X_C = 10^{-3} / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_M) = 10^{12} \cdot 10^{-3} / (2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 12,4) = 0,256 \cdot 10^6 \quad \Omega / \text{km}$$

3.3. Sistemde Kullanılan İletken Kesitlerinde R , X_L , X_C Değerlerinin Hesaplanması

Türkiye’de kullandığımız Keban-Gölbaşı sistemi ile aynı güzergah üzerinde kurulmasını düşündüğümüz sistem arasında bir karşılaştırmaya gitmek için iki sistemde kullanılacak iletkenlerin R , X_L , X_C parametrelerini bularak başlayalım. Keban-Gölbaşı sisteminde 954 ACSR kesitinde 2’li demet iletken kullanılmıştır. Bu sistem ilk kurulan sistemlerden olduğu için örnek alınmıştır.

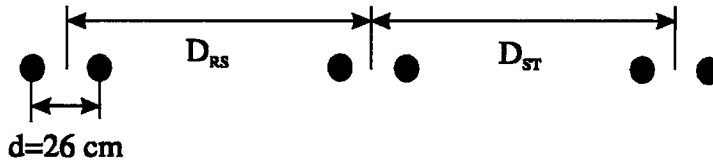
Bu sistem iki bölümdür. Keban-Kapasitör 275 Km, Kapasitör-Gölbaşı arası 271 Km olmak üzere iki bölümdür. Toplam uzunluğu 546 Km’dir

3.3.1. 954 ACSR 2’li Demet İletken İçin R , X_L , X_C Parametreleri ;

Bu iletken kesiti için TEK’in yayınlarında R , X_L , X_C parametreleri verilmişse de; kullanılacak direk tipine göre bu parametreler değişmektedir. Bu yüzden standart bir demet iletken dizilişi ve mesafe almak gerekmektedir. İki sistemi karşılaştırmak için bu bize kolaylık sağlayacaktır.

954 ACSR (Cardinal) için Tablo 1’den tek iletken için $R' = 0,0981 \Omega / \text{mils}(50 \text{ Hz})$

$$2 \text{ iletken için } R = R' / 4 = 0,0981 / (2 \cdot 1,6) = 0,03065 \quad \Omega / \text{km /faz}$$



$$(D_{RS} = D_{ST} = 9 - 12 \text{ m}) \quad D_{RS} = D_{ST} = 10 \text{ m} \quad D_{RT} = 20 \text{ m}$$

$$D_{eq} = (10 \cdot 10 \cdot 20)^{1/3} = 12,6 \text{ m} \quad \text{Tablo 1'den } D_S \text{ GMR bulunur ;}$$

$$D_S = 0,0403 \text{ ft} \quad D_{SB} = (D_S \cdot d)^{0,5} \text{ ikili demet iletken için}$$

$$D_{SB} = (0,0403 \cdot 0,3048 \cdot 0,26)^{1/2} = 0,0565 \text{ m}$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln (D_{eq} / D_{SB}) \quad \Omega / \text{km}$$

$$X_L = 4 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 10^{-7} \cdot \ln (12,6 / 0,0565) = 0,0628 \cdot 5,407 = 0,339 \quad \Omega / \text{km}$$

Tablo 1`den iletken kesitine göre çapı bulunur; 954 ACSR $2r = 1,196$,

$$r = (1,196 \cdot 0,3048) / (2.12) = 0,0152 \text{ m}$$

$$D_{SC} = (r \cdot d)^{1/2} = (0,0152 \cdot 0,26)^{1/2} = 0,0628 \text{ m}$$

$$C_M = 2 \cdot \pi \cdot k \cdot 10^{-12} / \ln (D_{eq} / D_{SC}) = 2 \cdot \pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} / \ln (12,6 / 0,0628)$$

$$C_M = 10,48 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$X_C = 10^{-3} / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_M) = 10^{12} \cdot 10^{-3} / (2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 10,48) = 0,304 \cdot 10^6 \Omega / \text{km}$$

3.3.2. 1351 ACSR 4`lü Demet İletken İçin R , X_L , X_C Parametreleri ;

Bu iletken kesiti için daha önceki konu olan iletken kesitlerinin seçilmesi ve R , X_L , X_C parametrelerin hesaplanması konusundaki örnekte hesapladığımız için bu R , X_L , X_C değerlerini kullanacağız.

$$R = 0,0107 \Omega / \text{km} / \text{faz} \quad X_L = 0,208 \Omega / \text{km} / \text{faz} \quad X_C = 0,256 \cdot 10^6 \Omega / \text{km} / \text{faz}$$

3.4. Karakteristik Empedansa Göre Yükleme Metodu

Bu yükleme metodu iletkenin doğal özelliklerinden dolayı iletkenin yüklenebileceği değerdir. Bu enerji iletim hatlarında stabil çalışabilmesi için sistemin önemli bir yükleme kriteridir. Enerji iletim hattının kapasitif ve reaktif gücünün hattın endüktif gücüne eşit olmasıdır. Bu güce Natural Loadin SIL (Surge Impedence Loading) denir.

$$P_N = U / I \Rightarrow P_N = I^2 \cdot X_L = U^2 / X_C \Rightarrow (P_N / U)^2 \cdot X_L = U^2 / X_C$$

$$P_N = U^2 / (X_C \cdot X_L)^{1/2} \text{ bir başka fadeyle } P_N = U^2 / (L/C)^{1/2} \quad (3.18)$$

$$Z_0 = (X_C \cdot X_L)^{1/2} = (L/C)^{1/2} \Omega \quad (3.19)$$

Z_0 empedansına doğal yada karakteristik empedans denir. Buradan yola çıkılarak 380 kV ve 765 kV sistemleri için karakteristik empedans ve P_N yükünü bulursak;

- 954 ACSR 380 kV iletken için;

$$Z_0 = (X_C \cdot X_L)^{1/2} = (0,339 \cdot 0,304 \cdot 10^6)^{1/2} = 321,02 \Omega$$

$$P_N = U^2 / Z_0 = 380^2 / 321,02 = 449,8 \text{ MVA}$$

- 1351 ACSR 765 kV iletken için;

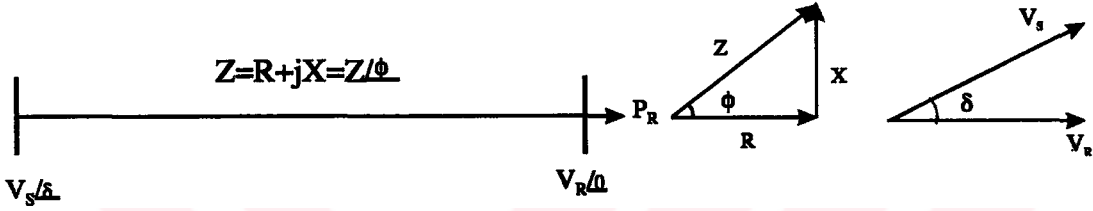
$$Z_0 = (X_C \cdot X_L)^{1/2} = (0,285 \cdot 0,256 \cdot 10^6)^{1/2} = 270,1 \Omega$$

$$P_N = U^2 / Z_0 = 765^2 / 270,1 = 2166,6 \text{ MVA}$$

İki sistem arasındaki farkı incelersek gerilimin 2 kat artmasına (iletken kesitinin 1,4 kat artmasına) karşılık doğal yüklemde ise 4,8 kat bir artış söz konusudur.

3.5. Maksimum Gücün İleteleceği Mesafeye Göre Seçilecek Gerilim Kademesinin Önemi

Sistemde kullanılan iletken ve terminal yapısına göre mutlaka maksimum güç taşımada bir limit vardır. Hattın güvenli ve kararlı çalışabilmesi ve ani değişikliklere cevap verebilmesi için hattın yüklenebilirliğinin bilinmesi gereklidir. Burada genelde olması gereken ve tahmini terminal yükleride söz konusudur.[4]



$$I = (V_S \angle \delta - V_R \angle \theta) / Z \angle \phi = (V_S / Z) \angle \delta - \phi + (V_R / Z) \angle -\phi \quad (3.20)$$

$$P_R = \text{Re} [V_R \cdot I^*] = \text{Re} [V_R \cdot ((V_S / Z) \angle \delta - \phi + (V_R / Z) \angle -\phi)] \quad (3.21)$$

$$P_R = (V_R \cdot V_S / Z) \cos (\phi - \delta_{SR}) - (V_R^2 / Z) \cos \phi \quad V_S = V_R = U \quad (\text{yaklaşık})$$

$$P_R = (U^2 / Z) \cos (\phi - \delta_{SR}) - (U^2 / Z) \cos \phi \quad \cos \phi = R / Z$$

$$P_R = (U^2 / Z) \cos (\phi - \delta_{SR}) - (U^2 / Z) \cdot (R / Z) \quad (3.22)$$

Maksimum güç transferi için $\cos (\phi - \delta_{SR}) = 1$ veya $\phi = \delta_{SR}$ olmalıdır. Formül 3.22 de yerine konursa ;

$$P_R = (U^2 / Z \cdot 1) \cdot (1 - (R / Z)) \quad (3.23)$$

Fakat bu 3.23 formüldeki P_R gücünde hiçbir güvenlik payı yoktur, dolayısıyla gerçek maksimum gücün bunun altında olması gerekir. Bu konudaki araştırmalar

sonucunda güvenlik marjının % 30 hata oranı verilerek formül de bir düzenleme yapılarak,

$$P_{stab.}=P_R = 0,7. (U^2 / Z.l).(1 - (R / Z)) \quad (3.24)$$

Buradaki Z empedans değerinin içinde hattın ucundaki yük empedansı ve arada kullanılan transformatörlerinki hattın empedansının % 20-40 arası değiştiği ortaya çıkmıştır.

$$R = 0,03065 \quad \Omega \quad Z = 0,03065 + j 0,339 = 0,34 \angle 84,4 \quad \Omega$$

$$X_L = 0,339 \quad \Omega$$

Maksimum güç transferinde terminal empedansı hattın empedansına eşit olmalıdır. Fakat terminal empedansı % 20-40

$$Z_y = Z . 1,35 = 0,34 . 1,35 = 0,59 \quad \Omega$$

Buradaki P_R gücünü P_N doğal yüke eşitlersek formül 3.24` dü 3.18`e eşitlersek

$$P_R = P_N \implies 0,7. (U^2 / Z.l).(1 - (R / Z)) = U^2 / Z_c$$

$$l = (0,7. Z_c.(1 - (R / Z))) / Z$$

- 380 kV hat gerilimi için l mesafesi ; $l = 440,58 \text{ km}$ (% 35 terminal empedansı)
- 765 kV hat gerilimi için l mesafesi ; $l = 4574,7 \text{ km}$ (% 40 terminal empedansı)

Yukarıdaki sonuçlardanda görüldüğü ki gerilimin 2 kat artmasına rağmen stabil güç 4,8 kat artmış. Buradan da yola çıkarak 765 kV`luk sistemde sıl gücünden daha az bir güç taşımak istenirse daha uzun mesafelere stabil bir güç taşınabilmektedir.

3.6. Maksimum Güç Transferi İçin Hattın Direnci ve Arasındaki Bağntı

Enerji iletim hatlarında maksimum kapasiteyle hattı kullanmak ve hattın kararlı ve güvenli çalışabilmesi için hattın direnci ve endüktansı arasında bir bağıntı vardır. Hattın direnci oldukça düşüktür fakat endüktansı yüksektir. Endüktansı düşürmek için

çeşitli yöntemlerde geliştirilmiştir. Fakat bunlardan en çok kullanılanı hatta seri kapasitörler bağlamaktır. Fakat seri kapasitör miktarında da bir limit vardır.

Formül 3.18`de Z empedansını açık olarak yerine yazalım.Buradan yola çıkarak direnci sabit, endüktansı da değişken olarak kabul edersek ve gerilimin de sabit olduğunu kabul edilirse (stabilite açısından) stabil güç formülünü türevini alıp sıfıra eşitlersek sonucu bize bu konuda bir fikir verir.[4]

$$P_R = (U^2 / Z.l).(1 - (R / Z)) = (U^2 / (R^2 + X^2)^{1/2}).(1 - (R / (R^2 + X^2)^{1/2})) \quad (3.25)$$

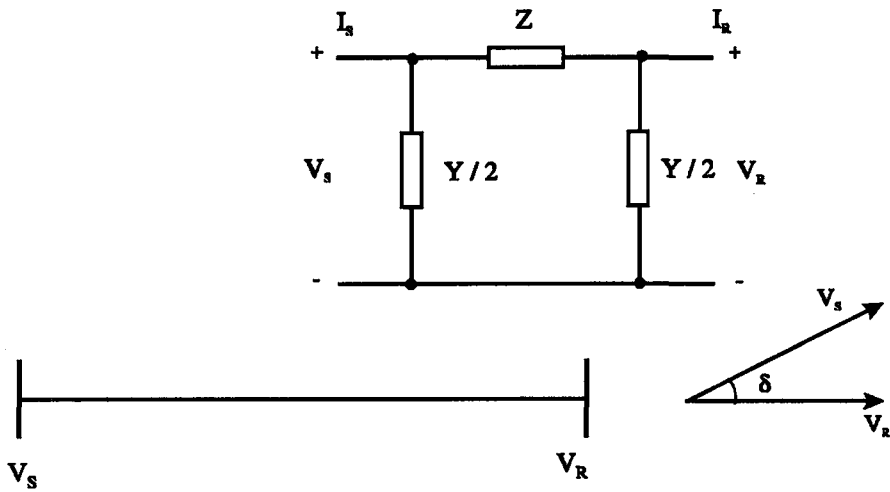
maksimum güç transferi için formül 3.25` reaktansa göre türevini alırsak ;

$$d / dx P_{RMAX} = 0 = (U^2.X / (R^2 + X^2)^{3/2}) + (2.U^2.X.r / (R^2 + X^2)^2)$$

$$d / dx P_{RMAX} = -X. (R^2 + X^2)^{1/2} + 2.R.X = 0 \implies X = 1,73.R$$

Burada bulduğumuz bağıntıdan yola çıkarak yüksek gerilim hatlarında endüktans miktarını bu bağıntıdaki gibi çok düşürmek çok tehlikeli olabilir. Çünkü ani yük azalmalarında alıcı uçlarında bir gerilim yükselmesine yol açacaktır. Bu da hattın kararlılığını bozabilir ve aşırı yükselmelerde kullanılan ekipmanlarda tahribatlara yol açmaktadır. Fakat $X = 1,73. R$ bağıntısı bir fikir vermesi açısından oldukça önemlidir.

3.7. Maksimum Güç Transferi İçin Güç Açısının Yükseltilmesinin Önemi



Maksimum güç transferinde gücün taşınmasına etki eden bir çok faktör yanında güç açısının hem stabilite hem de yüklenme açısından büyük önemi vardır. Uzun hat modeliyle π modeli hattının sabitleri (A,B,C,D) arasında bir bağıntı vardır. Bu bağıntıları ele alırsak,[1],[3],[4]

$$Y\pi = (Y \cdot \tanh(\gamma \cdot l / 2)) / (\gamma \cdot l / 2) \quad Z\pi = Z_C \cdot \sinh \gamma \cdot l \quad (3.26)$$

$$Z_C = Z_0 = (X_C \cdot X_L)^{1/2} = (L/C)^{1/2} \quad \Omega \Rightarrow \gamma = \alpha + j\beta = j\beta \quad (\alpha \ll 1)$$

α çok küçüktür bu yüzden analizlerde dikkate alınmaz formül 3.26 tekrar düzenlenirse

$$Y\pi = j(\omega C \cdot \tanh(\beta \cdot l / 2)) / (\beta \cdot l / 2) \quad Z\pi = j Z_C \cdot \sinh \beta \cdot l$$

orta uzunluktaki π modeli güç bağıntısını yazarsak

$$S_{SR} = (Y\pi/2) \cdot |V_S|^2 + |V_S|^2 / Z\pi - (|V_S| \cdot |V_R| / Z\pi) \cdot \exp j \delta_{SR} \quad (3.27)$$

buradan P_{SR} 'yi ise ;

$$P_{SR} = (|V_S|^2 / Z_C) \cdot \sin \delta_{SR} / \sin \beta \cdot l \quad (P_{SR} / P_N) = \sin \delta_{SR} / \sin \beta \cdot l \quad (3.28)$$

Bu bağıntıyı inceleyecek olursak öncelikle görülmüştür ki hattın transfer olan güç daima P_N doğal (SIL) yükten daha azdır. δ_{SR} açısı en uygun durumda olduğunu varsayalım. Buna göre $\beta \cdot l$ miktarı arttıkça hat uzunluğu artacak bununla birlikte güç transferi ise azalacaktır. Bu yüzden olduğunda $\beta \cdot l = \pi/2$ $P_{SR} = P_N$ eşit olur.

δ_{SR} 'nin değeri ise genelde 20 - 45 derece arasında değişmektedir. Bu δ_{SR} değerleri genelde hatların stabil bir şekilde çalışabilmesi çok önemlidir. Özellikle analiz yapanlar hatlardaki δ_{SR} açısı ve $\beta \cdot l$ değişimlerini çok incelemek zorundadırlar.

3.8. Maksimum Güç Transferinde İşletme Tekniği Açısından Stabilite

Enerji iletim hatlarının, kararlı, sürekli, güvenli ve her türlü ihtiyaca cevap verebilmesi için sistem stabil bir şekilde çalışmalıdır. Hiçbir zaman sistem maksimum güçte çalıştırılmaz. Genel olarak hatlar maksimum taşıdıkları güçlerin % 65-75 arasında yüklenir ve 40 - 60 derece bir yük açısıyla çalıştırılırlar.[3],[4]

$$P_R = (V_R \cdot V_S / Z) \cos (\phi - \delta_{SR}) - (V_R^2 / Z) \cos \phi \quad (3.29)$$

$$Z = |Z| \angle 90$$

$$Q_R = (V_R \cdot V_S / Z) \sin (\phi - \delta_{SR}) - (V_R^2 / Z) \sin \phi \quad (3.30)$$

$\cos \phi = 0$ $R = 0$ için formül 3.29 ve 3.30`da yerine konursa

$$P_R = (V_R \cdot V_S / X) \sin \delta_{SR} \quad (3.31)$$

$$Q_R = (V_R \cdot V_S / X) \cos \delta_{SR} - (V_R^2 / X) \quad (3.32)$$

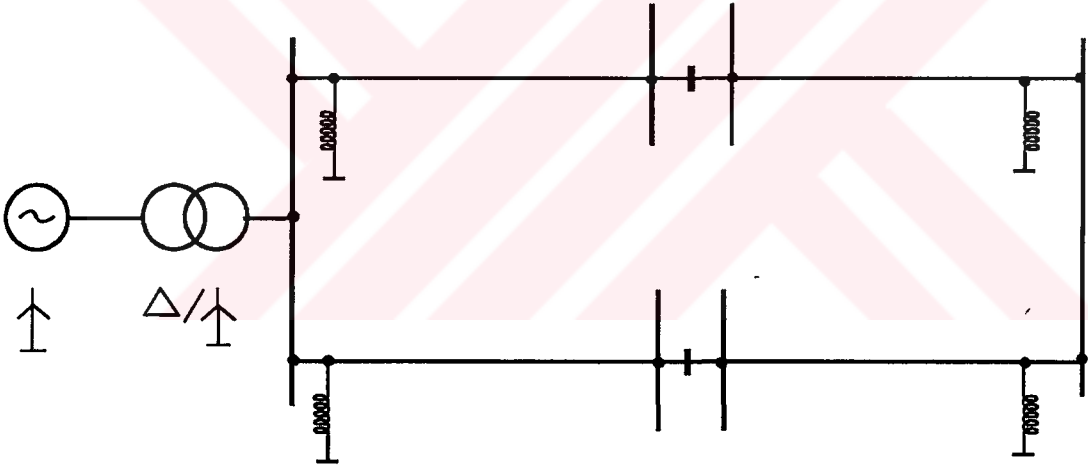
Bu formül 3.31 ve 3.32`de P_R ve Q_R değerlerini inceleyecek olursak $R = 0$ yapsak bile (X) endüktansını hattın sıfır yapamıyoruz. Formülden anlaşılacağı gibi endüktansın sıfır olmasıyla güç akışı durmaktadır. Buradan da anlaşılacağı gibi iletim hattının giriş gerilimi ve çıkış gerilimi arasında her zaman bir fark olmalı ve aralarında δ_{SR} açısı olması hattın stabil çalışması açısından bu şarttır. δ_{SR} çalışma açısı 30-60 derece arasında lineer bir artış olur ve $\delta_{SR} = \pi/2$ maksimum güç transferi olur. $\delta_{SR} = \pi/2$ olduğundan P_R maksimum olur fakat Q_R `de ise negatif bir güç oluşur. $\delta_{SR} \ll 1$ olursa yani $V_S = V_R$ olursa reaktif güç transferi olmaz. Bu yüzden δ_{SR} açısı stabilite açısından çok büyük önem göstermektedir.

BÖLÜM 4

KEBAN GÖLBAŞI SİSTEMİNDE 380 kV VE 765 kV GERİLİM KADEMELERİ İNCELEMELERİ

4.1. Keban-Gölbaşı Sisteminin Tanıtılması

Keban-Gölbaşı iletim sistemi paralel iki hattan oluşmaktadır. Hatların yaklaşık olarak ortasında Kayseri’de yerleştirilmiş kapasite bankları vardır. İletim hatlarının toplam uzun-luğu 546 km’dir. Şekil 4.1’deki gibidir.



Şekil 4.1.Keban Gölbaşı tek hat diyagramı

Keban hidroelektrik santralinde generatörler iki gruptur ilk gruptaki generatörlerden herbiri 175 MVA gücünde ikinci gruptakiler ise 201,25 MVA gücündedirler. Her grupta dörder generatör vardır.

Kapasite banklarının yerleştirildiği Kayseri, Keban-Gölbaşı hattının yaklaşık ortasındadır. (Keban-Kayseri 275 km, Kayseri-Gölbaşı 271 km). Seri kapasitelerin reaktansları X_C 35 ohm ve nominal akımları 1050A’dır.

Hattın her iki ucunda şönt reaktörler mevcuttur. Gölbaşı’ndaki reaktörlerin gücü 100 MVar, Keban’daki reaktörlerin gücü ise 120 MVar’dır.

Bu çalışmada Gölbaşı barası işlemlerin basitleşmesi nedeniyle sonsuz bara olarak alınmıştır. Keban-Gölbaşı sisteminde bulunan generatörler, transformatörler ve iletim hatları ile ilgili veriler [7] nolu kaynaktan alınmıştır.

4.2. Keban-Gölbaşı İletim Sistemindeki Elemanların Per Unit Değerleri

4.2.1. 380 kV Hat Gerilimi İçin;

Bu sistem halen Keban-Gölbaşı'nda çalışır durumdadır. Sistemdeki elemanların tümü 100 MVA baz ve 380 kV baz gerilim olmak üzere, per unit değerleri bulunacaktır.[7],[4],[6]

• Kayseri-Gölbaşı hattı :

$R = 9,4 \, \Omega$	$R_y = R_e \cdot S_b / (V_b)^2$	
$X = 85,3 \, \Omega$	$R = 9,4 \cdot 100 / (380^2) = 0,00651$	p.u.
$B = 937 \cdot 10^{-6} \, \text{Mho}$	$X = 85,3 \cdot 100 / (380^2) = 0,05907$	p.u.
$R_0 = 49,6 \, \Omega$	$B = 937 \cdot 10^{-6} \cdot (380^2) / 100 = 1,35303$	p.u.
$X_0 = 312,1 \, \Omega$	$R_0 = 49,6 \cdot 100 / (380^2) = 0,00651$	p.u.
$B_0 = 481,2 \cdot 10^{-6} \, \text{Mho}$	$X_0 = 312,1 \cdot 100 / (380^2) = 0,05907$	p.u.
	$B_0 = 481,2 \cdot 10^{-6} \cdot (380^2) / 100 = 1,35303$	p.u.

• Keban-Kayseri hattı :

$R = 9,5 \, \Omega$	$R_y = R_e \cdot S_b / (V_b)^2$	
$X = 86,5 \, \Omega$	$R = 9,5 \cdot 100 / (380^2) = 0,00658$	p.u.
$B = 950 \cdot 10^{-6} \, \text{Mho}$	$X = 86,5 \cdot 100 / (380^2) = 0,05990$	p.u.
$R_0 = 50,3 \, \Omega$	$B = 950 \cdot 10^{-6} \cdot (380^2) / 100 = 1,37180$	p.u.
$X_0 = 316,7 \, \Omega$	$R_0 = 50,3 \cdot 100 / (380^2) = 0,03483$	p.u.
$B_0 = 488,3 \cdot 10^{-6} \, \text{Mho}$	$X_0 = 316,7 \cdot 100 / (380^2) = 0,21932$	p.u.
	$B_0 = 488,3 \cdot 10^{-6} \cdot (380^2) / 100 = 0,70511$	p.u.

• Keban generatörlerinin per-unit değerlerinin bulunması :

1. ile 4. üniteleri için

$X_1 = 0,19 \, \Omega$	$X_y = X_e \cdot S_b / S_e$	
$X_2 = 0,205 \, \Omega$	$X_1 = 0,19 \cdot 100 / 175 = 0,10857$	p.u.
$X_0 = 0,12 \, \Omega$	$X_2 = 0,205 \cdot 100 / 175 = 0,10857$	p.u.

$$\begin{array}{lll}
S_b = 175 \text{ MVA} & X_0 = 0,12.100 / 175 = 0,10857 & \text{p.u} \\
5. \text{ ile } 8. \text{ Üniteler İçin :} & & \\
X_1 = 0,19 \, \Omega & X_y = X_e. S_b / S_e & \\
X_2 = 0,205 \, \Omega & X_1 = 0,19.100 / 201,5 = 0,10932 & \text{p.u} \\
X_0 = 0,12 \, \Omega & X_2 = 0,205.100 / 201,5 = 0,11429 & \text{p.u} \\
S_b = 201,5 \text{ MVA} & X_0 = 0,12.100 / 201,5 = 0,04224 & \text{p.u}
\end{array}$$

• Transformatörler İçin $Z_0 = Z_1 = Z_2$

Bir fazlı tranformatörlerden üç fazlı grup oluşturulmuştur.

$$\begin{array}{lll}
X_0 = X_1 = X_2 = 0,11 \, \Omega & X_0 = X_1 = X_2 = 0,11.100 / (3.60,3) & \\
& X_0 = X_1 = X_2 = 0,06081 & \text{p.u.}
\end{array}$$

• Reaktörler :

$$\begin{array}{lll}
S_{120} = 120 \text{ MVA} & X_b = (U_b)^2 / S_b & \\
S_{100} = 100 \text{ MVA} & X_b = 380^2 / 100 = 1444 \, \Omega & X_b = 1444 \, \Omega \\
& X_{100} = 1 \text{ p.u.} & \\
& X_{120} = 1.100 / 120 = 0,8333 \text{ p.u.} & \\
& X_{120} = 0,8333 \text{ p.u.} &
\end{array}$$

• Seri Kapasiteler :

$$X_C = 35 \, \Omega \quad X_C = 35 / 1444 = 0,02424 \text{ p.u}$$

Hesaplanan bütün bu değerler Tablo 4.1 'de verilmiştir.

4.2.2. 765 kV Hat Gerilimi İçin :

Keban-Gölbaşı sistemi baz alınarak; 380 kV gerilim baz olmak üzere hat parametrelerinin bulunması ve ayrıca 765 kV ile 380 kV'lı iki sistemi karşılaştırmada, inceleme ve analizlere oldukça kolaylık sağlar.[4],[5]

• 765 kV Hatparametreleri :

$$\begin{array}{ll}
R = 0,0107 \, \Omega / \text{km} & \text{Bir baz değerden başka bir baz değere geçmek için} \\
X_L = 0,285 \, \Omega / \text{km} & \text{kullanılan formül;} \\
B_C = 3,906.10^{-6} \text{ Mho/km} & Z_y = Z_e . (U_e^2 / S_e) . (S_y / U_y^2)
\end{array}$$

bu formül kullanılarak per-unit değerler hesaplayalım. Burada verilen değerler 1 km için verilmiştir. Bu yüzden bu değerlerde de Keban-Kayseri (275 km) ve Kayseri-Gölbaşı (271 km) hesaplarda kullanılır.

• Keban-Kayseri Hattı İçin :

$$R = 0,0107.275.100 / 380^2 = 0,00204 \quad \text{p.u.}$$

$$X_L = 0,285.275.100 / 380^2 = 0,05427 \quad \text{p.u.}$$

$$B_C = 3,906.10^{-6}.275.380^2 / 100 = 1,5512 \quad \text{p.u.}$$

• Kayseri-Gölbaşı Hattı İçin :

$$R = 0,0107.271.100 / 380^2 = 0,002 \quad \text{p.u.}$$

$$X_L = 0,285.271.100 / 380^2 = 0,05348 \quad \text{p.u.}$$

$$B_C = 3,906.10^{-6}.271.380^2 / 100 = 1,5286 \quad \text{p.u.}$$

değerleri bulunur.

765 kV gerilimde transformatör empedans değerleri elimizde baz alabileceğimiz değerler olmadığı için yaklaşık değerler kullanıyoruz. Tabiki bu yaklaşık değerlerde beraberinde bir hata payı da doğurmaktadır. Fakat bu yapılan hesaplar kesin değildir ve sadece bir genelleme yapabilmek, bir fikir kazandırmak amaçlıdır.

Buna göre transformatörün empedansı 0,1275 pu'dur.(Bu verilen değer 765 kV 200 MVA baz alınmıştır.)[6]

$$X_T = 0,1275 \cdot (765^2 / 200) \cdot (100 / 380^2) = 0,2584 \quad \text{p.u.}$$

Generatör ve transformatör toplam seri reaktansı;

$$X_{GT} = X_T + X_G = 0,2584 + 0,10932 = 0,36768 \quad \text{p.u.}$$

X_G 'nin değeri Keban'daki 5. ile 8. grub generatörlerden gelmektedir.

765 kV gerilimde iki paralel hattın toplam iletim kapasitesi 5000 MVA olarak verilmiştir. Hesaplamalarda 5000 MVA daha yüksek güçlerde bu sisteme çalıştırılabilir. Fakat bu stabil gücün üstüne çıkmak olur. Bu konu ileriki konularda daha geniş incelenecektir.

$$X_{G1} = 200/5000.0,36768 = 0,0147 \quad \text{p.u.}$$

negatif dizi reaktansı;

$$X_{GT} = X_T + X_G = 0,2584 + 0,11429 = 0,37269 \quad \text{p.u.}$$

$$X_{G2} = 200/5000.0,37269 = 0,0149 \quad \text{p.u.}$$

sıfır dizi eşdeğer reaktansı;

$$X_{GT} = X_T + X_G = 0,2584 + 0,04224 = 0,30064 \quad \text{p.u.}$$

$$X_{G0} = 200/5000.0,30064 = 0.012 \quad \text{pu}$$

Enerji iletim hatlarında iki paralel hat için ;

$Z_0 = 5,5$. Z_1 eşitliğinden sıfır dizi R ve X_L değerleri bulunabilir.

Hat sonlarında konacak şönt reaktansı, hattın kapasite akımını % 90 kompanze edecek şekilde seçildiğinde ;

$$X_{\text{ş}} = 2/B_C \cdot 0,9 = (2/1,5512) \cdot 0,9 = 1,1604 \quad \text{p.u.}$$

değeri yaklaşık olarak bulunabilir.

Seri kompanzasyon ile hattın toplam reaktansının % 20'sinin kompanze edilmesi için konacak kapasite reaktansı per-unit olarak,

$$X_C = 0,2 \cdot (0,05427 + 0,05348) = 0,0216 \quad \text{p.u.}$$

Bulunan bütün değerlere Tablo 4.2'de verilmiştir.

4.3. Keban-Gölbaşı Sisteminin Uzun Hat Modeliyle İncelenmesi

Keban-Gölbaşı sisteminde uzun hat modelini bazı veriler elde etmek amacıyla kullanıyoruz. Bu verileri sonuç bölümünde kullanacağız. Uzun hat modeli kullanırken şönt reaktansının olmadığını ve hatta % 20 seri kompanzasyon yapıldığını kabul ediyoruz. Bu kabuller işlemlerin kolaylaşması ve özellikle şönt reaktansın sistemde olmaması durumunda sistemdeki etkilerini göreceğiz.

4.3.1. 380 kV Hat Gerilimi İçin :

Bu gerilim kademesi şu anda sistemde kullanılıyor. Bu yüzden sistem parametrelerinin gerçeğe uygunluğu bakımından [7] nolu kaynaktan alınmıştır. Bizim daha önce 954 ACSR (KCM) iletkeni için hesapladığımız R, X_L , X_C parametreleri de

			Pozitif	Negatif	Sıfır
Kayseri - Gölbaşı Hattı	R		0,00651	0,00651	0,03435
	X		0,05907	0,05907	0,21614
	B		1,37353	1,37353	0,69485
Keban - Kayseri Hattı	R		0,00658	0,00658	0,3483
	X		0,0599	0,0599	0,21932
	B		1,3718	1,3718	0,70511
Keban Generatörleri	1-4	X	0,10857	0,11714	0,06286
	5-8	X	0,10932	0,11429	0,4224
Keban Transformatörleri	Xt		0,06081	0,06081	0,06081
Reaktörler	100 MVar	X	1	1	1
	120 MVar	X	0,8333	0,8333	0,8333
Seri Kapasiteler	Xc		0,02424	0,02424	0,02424

Tablo 4.1 380 kV sistem geriliminde elemanların parametreleri

			Pozitif	Negatif	Sıfır
Kayseri - Gölbaşı Hattı	R		0,002	0,002	0,011
	X		0,05348	0,05348	0,29414
	B		1,5286	1,5286	0,7643
Keban - Kayseri Hattı	R		0,00204	0,00204	0,01122
	X		0,05427	-0,05427	0,298485
	B		1,5512	1,5512	0,7756
Keban Generatörleri	X		0,0147	0,0147	0,08085
Keban Transformatörleri	Xt		0,2584	0,2584	0,2584
Reaktörler	100 MVar	X	1,1604	1,1604	1,1604
Seri Kapasiteler	Xc		0,0216	0,0216	0,0216

Tablo 4.2 765 kV sistem geriliminde elemanların parametreleri

doğrudur. Fakat bizim hesaplarımızda kullandığımız hat konfigürasyonu (demet iletkenler arası mesafe gibi) aynı olmayabilir.

Sistem parametrelerini çıkaralım;

$$R = (9,5 + 9,4) / (275 + 271) = 0,0346 \, \Omega / \text{km}$$

$$X_L = (86,5 + 85,3) / 546 = 0,3146 \, \Omega / \text{km}$$

$$X_C = 275 / 950 \cdot 10^{-6} = 0,2894 \cdot 10^{-6} \, \Omega / \text{km} \quad Y = j \, 3,455 \cdot 10^{-6} \, \Omega / \text{km}$$

Sistemin tek hattının ortalama 350 MVA yüklendiğini , hat sonu geriliminin 345 kV ve güç faktörünün % 90 olduğunu kabul edelim.

$$I_R = S_R / (1,73 \cdot U_R) = 350 \cdot 10^6 / 1,73 \cdot 345 \cdot 10^3 = 586,4 \angle -25,84 \, \text{A}$$

Burada % 20 seri kompanzasyon yapıldığı için,

$$X_L = 0,3146 \cdot 0,8 = 0,252 \, \Omega / \text{km}$$

Hattın empedansı ise;

$$Z = R + j X_L = 0,0346 + j 0,252 = 0,254 \angle 82,2 \, \Omega / \text{km}$$

Hattın karakteristik empedansı

$$Z_C = (Z / Y)^{0,5} = (0,254 \angle 82,2 / 3,455 \cdot 10^{-6} \angle 90) Z_C = 271 \angle -3,9 \, \Omega / \text{km}$$

olarak bulunur.

Propagasyon sabiti hattın uzunluğuna bağlı olarak

$$\gamma \cdot l = (Z \cdot Y)^{0,5} \cdot l = (0,254 \angle 82,2 \cdot 3,455 \cdot 10^{-6} \angle 90)^{0,5} \cdot 546$$

$$\gamma \cdot l = \alpha \cdot l + j \beta \cdot l = 0,5115 \angle 86,1 = 0,0348 + j 0,5103 \text{ bulunur.}$$

$$\beta \cdot l = 0,5103 \text{ rad.} = 29,24 \text{ deg. faz sabitidir.}$$

$$\cosh \gamma \cdot l = \cosh (\alpha \cdot l + j \beta \cdot l) = 0,873 \angle 1,12$$

$$V_R = U_R / 1,73$$

$$\sinh \gamma \cdot l = \sinh (\alpha \cdot l + j \beta \cdot l) = 0,489 \angle 86,4$$

$$V_R = 199185 \angle 0 \, \text{V}$$

$$V_S = \cosh \gamma \cdot l \cdot V_R + Z_C \cdot \sinh \gamma \cdot l \cdot I_R$$

$$V_S = 0,873 \angle 1,12 \cdot 199185 \angle 0 + 271 \angle -3,9 \cdot 0,489 \angle 86,4 \cdot 586,4 \angle -25,84$$

$$V_S = 173889 \angle 1,12 + 77709,14 \angle 56,66$$

$$V_S = 173855,78 + j 3398,9 + 42709,4 + j 64920,1$$

$$V_S = 216565,18 + j 68318,97$$

$$V_S = 227085,8 \angle 17,5 \, \text{V faz gerilimi bulunur.}$$

Hat gerilimi ise ;

$$U_S = 392858,43 \angle 17,5^\circ \text{ V}$$

Hat başı akımını bulmak istersek;

$$I_S = (V_R \cdot \sinh \gamma \cdot l / Z_C) + \cosh \gamma \cdot l \cdot I_R$$

$$I_S = (199185 \angle 0^\circ - 0,489 \angle 86,4^\circ / 271 \angle -3,9^\circ) + 0,873 \angle 1,12^\circ \cdot 586,4 \angle -25,84^\circ$$

$$I_S = 359,4 \angle 90,3^\circ + 511,9 \angle -24,72^\circ$$

$$I_S = -1,89 + j 359,3 + 465 - j 214,1$$

$$I_S = 463,11 + j 145,23$$

$$I_S = 485,34 \angle 17,4^\circ \text{ A}$$

Hat başı ve sonu gerilimlerine bakarak gerilim regülasyonunun incelersek;

$$\% vr = [(V_S - V_R) / V_S] \cdot 100 \quad (4.1)$$

$$\% vr = [(227058,8 - 173855,78) / 227058,8] \cdot 100 = \% 23,4$$

$\% vr$ gerilim regülasyonu $\% 23,4$ olarak buluruz. Bu gerilim regülasyonu değeri hatla seri kompanzasyon yapıldığı halde bile çok büyüktür.

Enerji iletim hatlarında gerilimlerin hat başı ve sonunda $\pm \% 10$ dolayında bir değişime izin verilebilir. Hat geriliminde aşırı artışı önlemek için şönt reaktörler kullanılır. Ayrıca hatta ani ve aşırı gerilim sıçramalarından dolayı hattın kararsız çalışması da önlenmiş olur.

Bu hesapladığımız hat başı geriliminin 380 kV olduğunu düşünersek hat sonundan 292,6 kV gerilimini alacaktık, fakat bu seferde hattan çekilen akım artacak akım arttıkça gerilim düşümü, hattın kapasitif akımı artacak. Burada düşündürücü bir nokta ise hat sonu gerilimi baz alındığında hat sonu akımı kapastiftir. Hat başı gerilimiyle hat başı akımı arasında faz farkı çok azdır. Fakat burada hattın kapasitif akımını kompanze edecek elemanları hesaba katmadığımız içindir.

4.3.2. 765 kV Hat Gerilimi İçin :

Bu gerilim kademesiyle ilgili gerçek parametreler elimizde yoktur. Bu yüzden hesap ettiğimiz ve tahmini olabilecek veriler kullanılmıştır. Bu sistemdede $\% 20$ seri kompanzasyon kullanıldığı ve şönt reaktansında olmadığı kabul etmekteyiz.

Sistem parametreleri

$$R = 0,0107 \Omega / \text{km}$$

$$X_L = 0,285 \Omega / \text{km}$$

$$B_C = 3,906 \cdot 10^{-6} \text{ Mho / km}$$

Sistemin tek hattının ortalama 2000 MVA yüklendiğini, hat sonu geriliminin 700 kV ve güç faktörünün % 90 olduğunu kabul edelim. Hat sonu gerilimi ise,

$I_R = S_R / (1,73 \cdot U_R) = 2000 \cdot 10^3 / (1,73 \cdot 700) = 1651,5 \angle -25,84$ A olarak bulunur.

% 20 seri kompanzasyon sonunda hattın endüktansı

$$X_L = 0,285 \cdot 0,8 = 0,228 \Omega / \text{km}$$

Hattın empedansı ise;

$$Z = R + j X_L = 0,0107 + j0,228 = 0,228 \angle 87,3 \Omega / \text{km/faz}$$

Hattın karakteristik empedansı;

$$Y = j (1 / X_C) = j 3,906 \cdot 10^{-6} \text{ Mho /km}$$

$$Z_C = (Z / Y)^{0,5} = (0,228 \angle 87,3 / 3,906 \cdot 10^{-6} \angle 90)^{0,5}$$

$$Z_C = 242 \angle -1,35 \Omega / \text{km/faz} \quad \text{bulunur.}$$

Hattın uzunluğuna bağlı olarak propagasyon sabiti;

$$\gamma \cdot l = (Z \cdot Y)^{0,5} \cdot l = (0,228 \angle 87,3 / 3,906 \cdot 10^{-6} \angle 90)^{0,5} \cdot 546$$

$$\gamma \cdot l = \alpha \cdot l + j \beta \cdot l = 0,5148 \angle 88,65 = 0,0121 + j 0,5146$$

$$\beta \cdot l = 0,5148 \text{ rad.} = 29,5 \text{ deg. faz sabitidir.}$$

$$\cosh \gamma \cdot l = \cosh (\alpha \cdot l + j \beta \cdot l) = 0,87 \angle 0,39$$

$$\sinh \gamma \cdot l = \sinh (\alpha \cdot l + j \beta \cdot l) = 0,493 \angle 88,8$$

Sistemin faz nötr gerilimi ise;

$$V_R = 404,6 \text{ kV}$$

Bu değerlerden sonra hat başı gerilimi ve akımı ise

$$V_S = 445,706 + j 175,717 \text{ kV}$$

$$V_S = 479,1 \angle 21,5 \text{ kV}$$

$$U_S = 828,8 \text{ kV}$$

$$I_S = 1295,3 + j 206,6 \text{ A}$$

$$I_S = 1311,6 \angle 9,06 \text{ A}$$

% vr gerilim regülasyonu % vr = % 15,5 dir.

Bu sonuçlardan da anlaşıldığı gibi gerilim regülasyonu % 15,5'dir. 765 kV'lık sistem 380 kV'lık sisteme göre gerilim regülasyonu daha iyidir. Hattın başında bir gerilim artışı söz konusudur. Fakat diğer sistemde olduğu gibi burada da hattın kapasitif etkisi söz konusudur. İki sistem karşılaştırıldığında gerilim 380 kV'a göre iki kat artırıldığında sistemden iletilen güç 5,7 kat artmıştır ve gerilim regülasyonundan da anlaşılabileceği üzere daha az kayıp söz konusudur.

4.4. Keban-Gölbaşı Sisteminde Taşınabilecek Maksimum Stabil Güç

Keban-Gölbaşı sisteminin her iki gerilim kademesi içinde maksimum taşıyabileceği stabil gücün bulunması önemlidir. Çünkü, Türkiye'nin doğusunda inşa edilen büyük baraj- lar vardır. Bu barajlardan üretilen enerjinin ise batıya iletimi sözkonusudur. Bu iletimin ise en ekonomik, en güvenilir ve işletme açısından da en kullanışlı olması gerekir. İşte bu yüz-den planlama yapılırken, tüm bu etkenler göz önünde tutularak kurulacak sistemin maksimum taşıyabileceği gücü bulunur.

Maksimum stabil güç hesaplanırken; sistemin toplam empedansı göz önüne alınır. Toplam empedansdan kastımız ise, terminal empedansı ve hatta kullanılan diğer ekipman-ların empedansları da vardır.

Hattın empedansına ek olan empedanslar Amerika'da yapılan araştırmalar sonucunda çıkarılmış ve pratik olarak çeşitli gerilim kademeleri için farklı farklı kullanılmaktadır.[4]

154 kV için % 20, 220 kV için % 30, 380 kV için % 35 ve 765 kV % 40 olarak gerilim kademeleri için saptanmıştır.

- 380 kV hat gerilimi için % 20'lik seri kompanzonda dahil olmak üzere,

$$R = 0,0346 \, \Omega / \text{km/faz}$$

$$Z = 0,0346 + j0,252 \, \Omega / \text{km/faz}$$

$$X = 0,3146 \cdot 0,8 = 0,252 \, \Omega / \text{km/faz} \quad Z = 0,254 \angle 82,2 \, \Omega / \text{km/faz}$$

diğer empedansların katkısıyla

$$Z = 0,254 \angle 82,2 \cdot 1,35 = 0,343 \angle 82,2 \, \Omega / \text{km/faz}$$

$$Z = 0,0465 + j 0,339 \, \Omega / \text{km/faz}$$

$$P_{\text{stab}} = 0,7 \cdot (U^2 / (Z \cdot l)) \cdot (1 - (R/Z))$$

$$P_{\text{stab}} = 0,7 (380^2 / (0,343 \cdot 546)) \cdot (1 - (0,0465 / 0,343))$$

$$P_{\text{stab}} = 466,6 \, \text{MW}$$

- 765 Kv hat gerilimi için % 20'lik seri kompanzasyon da dahil olmak üzere;

$$R = 0,0107 \, \Omega / \text{km/faz}$$

$$Z = 0,0107 + j0,22 \, \Omega / \text{km/faz}$$

$$X = 0,285 \cdot 0,8 = 0,228 \, \Omega / \text{km/faz}$$

$$Z = 0,228 \angle 87,3 \, \Omega / \text{km/faz}$$

diğer empedanslar katkısıyla ;

$$Z = 0,228 \angle 87,3 \cdot 1,4 = 0,3192 \angle 87,3 \, \Omega / \text{km/faz}$$

$$Z = 0,015 + j0,3188 \, \Omega / \text{km/faz}$$

$$P_{\text{stab}} = 2233 \text{ MW' dır.}$$

Buradanda görüldüğü gibi taşınabilecek stabil güçler arasında da büyük farklılık vardır. Gerilim kademesinin iki kat artmasıyla güç taşıma kapasitesi 4,8 kat artmıştır. Buradan çıkan sonuç şudur. Aynı kapasitede 380 kV'lık 4 kat yapıldığı zaman ancak 1 adet 765 kV'lık hatta stabil güç taşıması bakımından eşdeğerdir.

4.5. Keban-Gölbaşı Sisteminde Çalışma Açılarına Göre Yükleme Kapasiteleri

Sistemlerde çalışılan yükün değeri ve cinsi (kap. ve ind.) değiştikçe sistemin taşıyabileceği güç kapasitesi de değişmektedir. Sistemdeki yükün hangi değer ve cinsten olması gerekliği sistemi en verimli bir şekilde kullanalım. Burada ele aldığımız Keban-Gölbaşı sisteminin iki gerilim kademesi için incelersek;

4.5.1.380 kV Hat Gerilimi İçin;

Hattın parametrelerini daha önceden çıkarmıştır. Burada ($\gamma.1$) pragosyon sabitini oluşturan ($\alpha.1$) attenuation sabitini çok küçük olduğu için ihmal ederek $\beta.1$ faz sabitini kullanacağız,

$$\beta.1 = 0,5103 \text{ rad.} = 29,24 \text{ deg}$$

$$Z_c = 271 / -3,9 \, \Omega / \text{km}$$

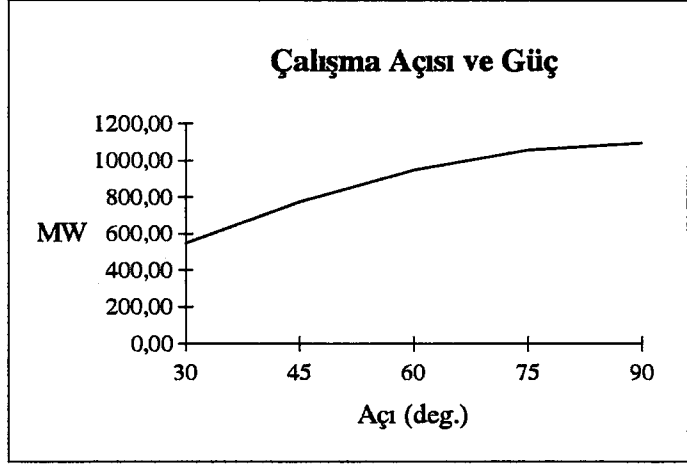
$P_N = U^2 / Z_c = 380^2 / 271 = 532,8 \text{ MW}$ % 20 seri kompanzasyonlu (SIL) doğal güçtür.

$$P_{SR} = P_N \cdot (\sin \delta_{SR} / \sin \beta.1) = 532,8 \cdot (\sin \delta_{SR} / \sin 29,24)$$

$$P_{SR} = 1090,75 \cdot \sin \delta_{SR}$$

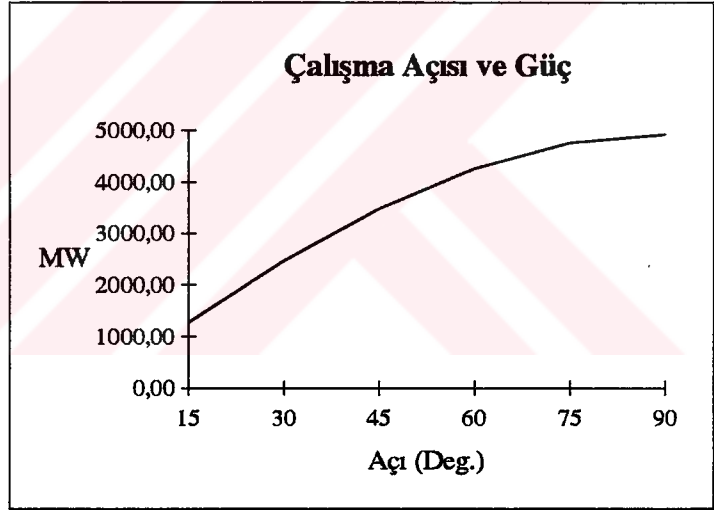
(δ_{SR}) 15 - 90 derece arasında olması halinde çalışma açısının taşınabilecek güç miktarları Tablo 4.3 çıkarılmıştır.

Açı	Ps _r (MW)
15	282,69
30	546,08
45	772,21
60	945,62
75	1054,50
90	1091,41



Tablo 4.3 380 kV hat geriliminde δ_{SR} çalışma açısına göre güç kapasitesi değişimi

Açı	Ps _r (MW)
15	1273,98
30	2461,01
45	3480,07
60	4261,60
75	4752,28
90	4918,60



Tablo 4.4. 765 kV hat geriliminde δ_{SR} çalışma açısına göre güç kapasitesi değişimi

4.5.2.765 kV Hat Gerilimi İçin;

$\beta_{.1} = 0,5146 \text{ rad} = 29,5 \text{ deg.}$ faz sabitinde ve % 20 seri kompanzasyonlu (SIL) doğal güç,

$$P_N = 2418,3 \text{ MW}$$

$$P_{SR} = 4911 \cdot \sin \delta_{SR}$$

çalışma açısının (δ_{SR}) 15 - 90 derece arasındaki açılara için taşınabilecek güç miktarları Tablo 4.4'de çıkarılmıştır.

Bu iki ayrı hat gerilimi çalışma açısının değişimine göre taşınabilecek güç miktarlarına göre grafikleri Tablo 4.3 ve 4.4'deki gibidir. Bu grafiklerden anlaşılacağı gibi en iyi çalışma bölgesi 30 - 60 arasındır. Çünkü buradaki değişim lineer'dir.

4.6. Keban-Gölbaşı Sisteminde Çeşitli Modeller İçin Kısa Devre İncelemeleri

Keban-Gölbaşı sisteminde çeşitli modeller için her iki gerilim için kısa devre analizini burada yapmadık. Çünkü, kısa devre analizi ayrı bir araştırma gerektirir. Burada sadece bu konuda yapılmış [6] nolu kaynaktan alınmıştır. Bu sonuçlara göre bu sistem için 3 model kullanılmıştır. Bu modeller şekil 4.2, 4.3, 4.5'deki gibidir. Her model pozitif, negatif ve sıfır dizi devrelerinden oluşmuştur. Her model ve dizi devreleri için Zbara matrisi yazılarak bu konuda yazılmış bir bilgisayar programından çeşitli çalışma şartlarında, çeşitli kısa devre durumlarında analizleri yapılmıştır.

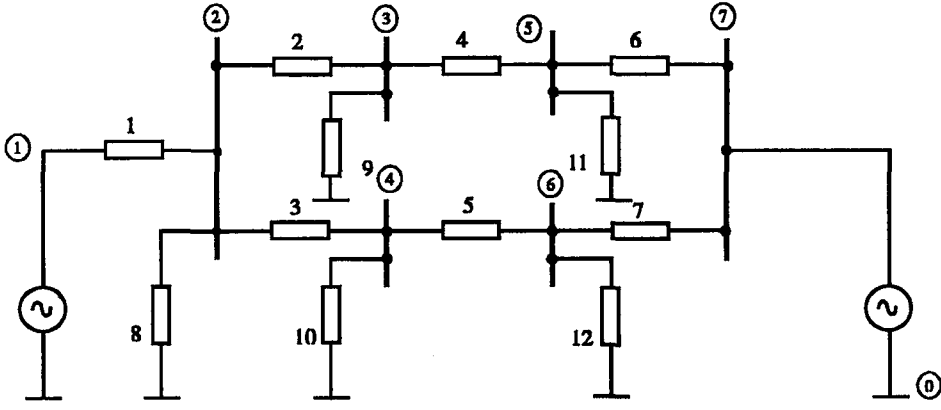
Bu analiz sonucunda tüm modellerde 765 kV ve 380 kV gerilim kademeleri için hattın yüklenebileceği maksimum güç değerinde kısa devre akımları maksimum olmuştur.

Model 1 için 380 kV gerilimde 1 faz toprak ve 2 faz toprak arızalarında 2 nolu barada, 765 kV gerilim kademesinde 3 faz toprak ve 2 faz toprak arızalarında yine 2 nolu barada kısa devre akımları diğer baralara göre daha büyüktür.

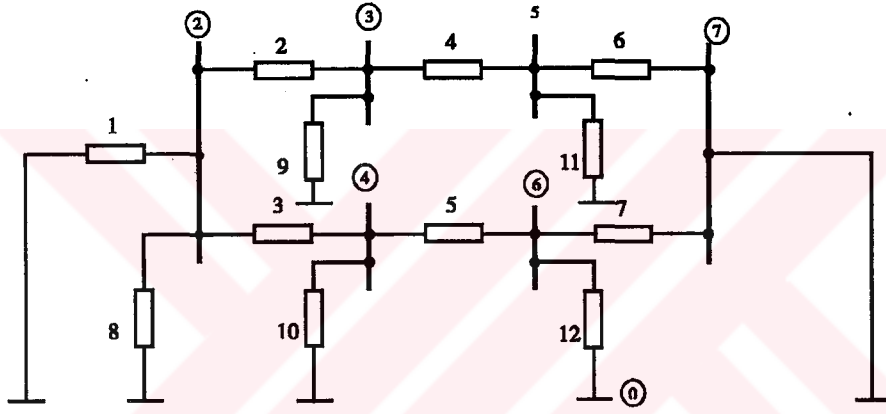
Model 2 için her iki gerilim kademesi için en büyük kısa devre akımı tüm arıza tiplerinde 2 nolu baradadır.

Model 3 için 380 kV gerilim kademesinde 3 faz toprak ve 2 faz arızalarında 3 nolu baradaki kısa devre akımları en büyük değerleri alır. 2 faz toprak ve 1 faz toprak arızalarında 2 numaralı barada diğer baralara göre daha büyük kısa devre akımları vardır. 765 kV gerilim kademesinde ise tüm arıza tiplerinde kısa devre akımları 2 nolu barada en yüksektir.

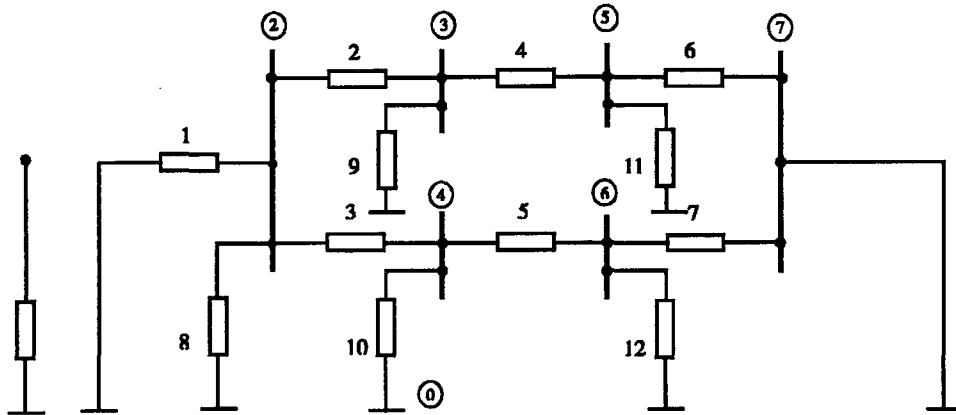
Bu analizler sonucunda arıza akımlarının nominal akıma oranları 380 kV gerilim kademesinde 765 kV'a göre daha fazladır. Buna karşılık gerilim kademesi arttıkça arıza akımlarına iletim sisteminin normal çalışmasında hatlardan geçen nominal akımların etkileri de arttığı ortaya çıkmıştır.



a-) Pozitif dizi devresi

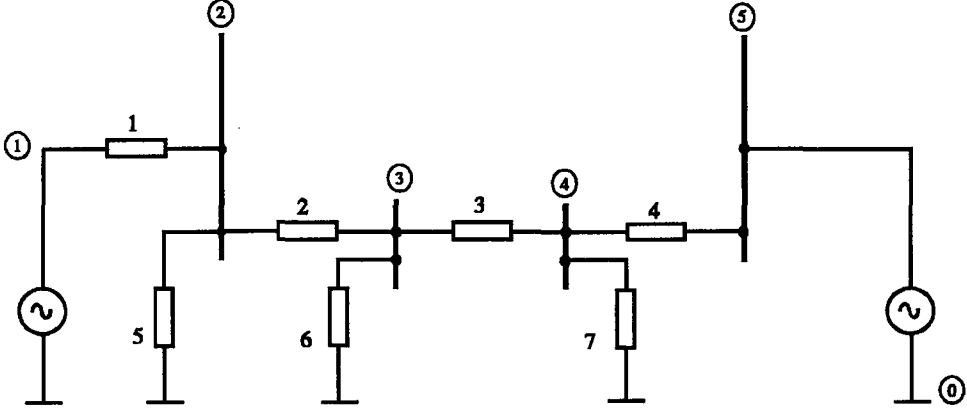


b-)Negatif dizi devresi

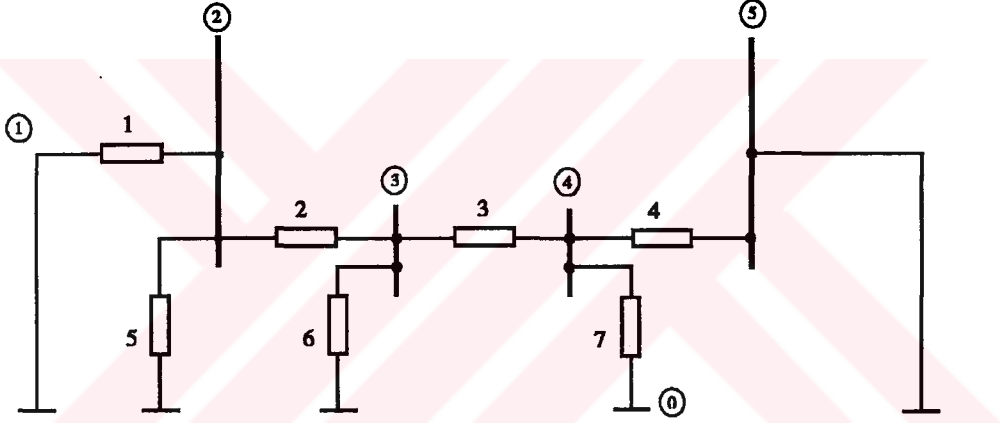


c-)Sıfır dizi devresi

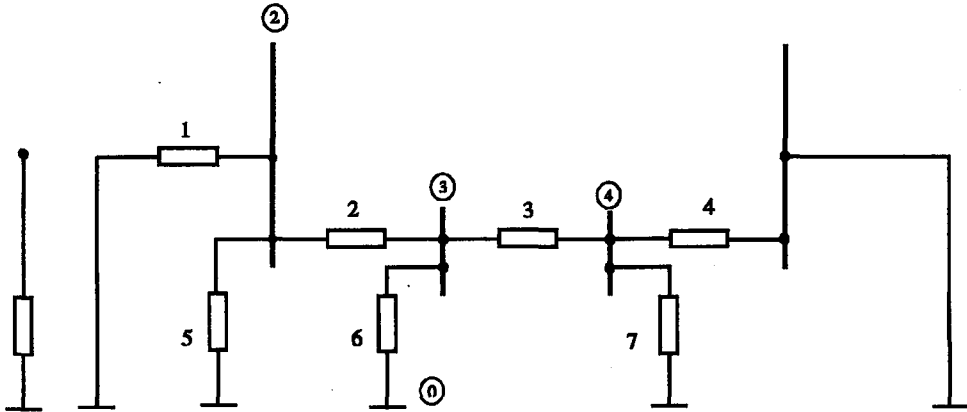
Şekil 4.2. Model 1 için dizi devreleri



a-) Pozitif dizi devresi

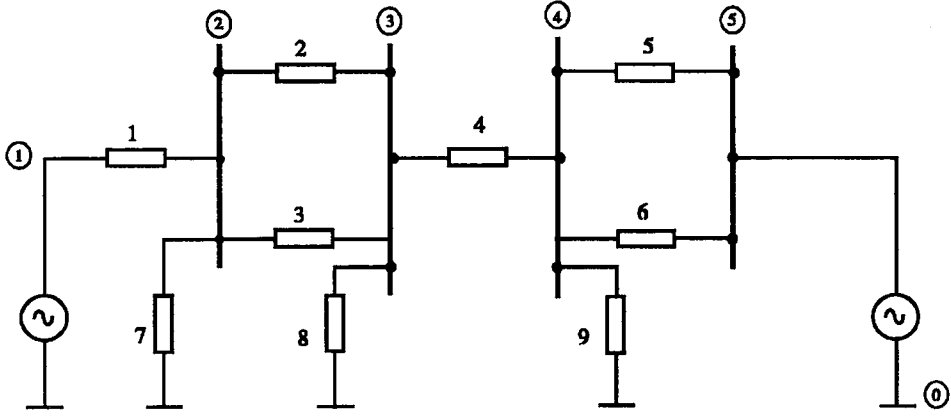


b-)Negatif dizi devresi

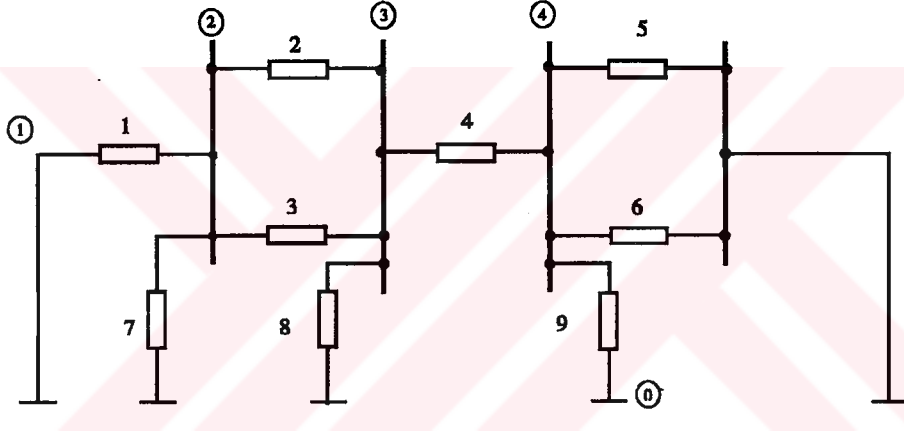


c-)Sıfır dizi devresi

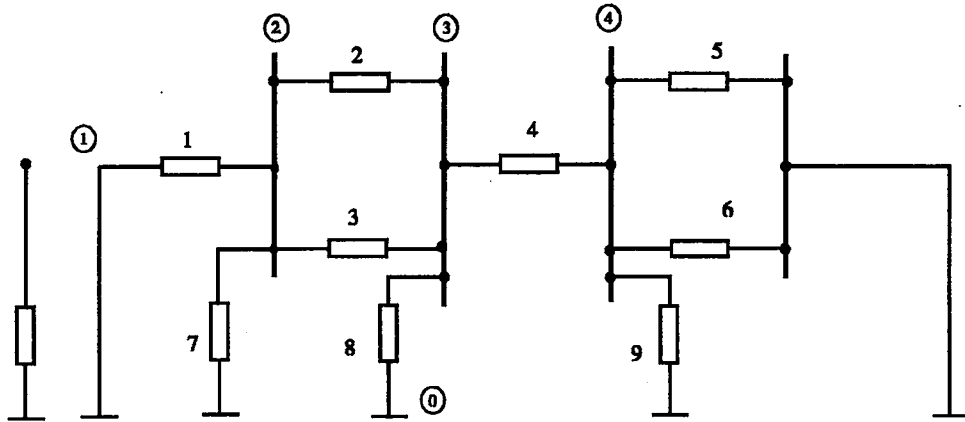
Şekil 4.2. Model 2 için dizi devreleri



a-) Pozitif dizi devresi



b-)Negatif dizi devresi



c-)Sıfır dizi devresi

Şekil 4.4. Model 3 için dizi devreleri

BÖLÜM 5

SONUÇLAR :

Türkiye ucuz enerjiye en çok ihtiyacı olan devletlerden birisidir. Bu ucuz enerji de iletimi ve dönüşümü kolay olan elektriktir. Fakat elektriğin üretilip, iletilip kullanıcıya hazır hale getirilmesi önemli miktarlarda yatırımı gerekmektedir. Türkiye gelişmektedir, bu gelişimde enerjiye daha fazla ihtiyacı doğurmaktadır. Bugün için Türkiye'nin enerjisini kendi kendine yetebilecek şekilde karşıladığını biliyoruz. Fakat yatırımların ve planlamadaki hedeflerin tutmaması özellikle 2000'li yıllarda elektrik enerjisinin açık vereceğini ortaya koymuştur. Ayrıca mevcut enerjinde güvenilir iletiminde de sorunları vardır. Artık Türkiye'de de herne sebepten olursa olsun enerjisinin kesilmemesi gerekir. 1992 senesinde meydana gelen Keban ve Karakaya barajlarından gelen bir hattın arızalanması sonucu Türkiye karanlıklar içinde kalmıştır. Bu tip arızalarda enterkonnekte sistemin enerji kesintisine izin vermemesi gerekirken diğer hatlar bu yükü karşılayamamış ve diğer hatlarda enterkonnekte sistemden kopmuştur. Bu olay bize sistemin yapılanmasındaki yanlışlığı ortaya koymuştur. Dolayısı ile Türkiye'nin artık enerji kesintilerine eskiden olduğu gibi tahammülü yoktur ve bu konuda yapılacak yeni planlamalara ve yeni sistemlere ihtiyacı vardır.

Türkiye'nin enerji ihtiyacının karşılanmasına gelince bu konuda dünyada yapılan çalışmalar vardır. Fakat enerji ihtiyacını karşılamak için elektrik enerjisi üretiminde çeşitli yöntemlerdeki sorunlar giderilememiştir. Yinede dünyada kullanılan yöntemlerinde kullanışlı olanları vardır.

Biz öncelikle bunlardan bize en yararlı olanını seçmeliyiz. Fakat Türkiye'de seçilen yöntemlerden biri olan termik santral kullanmanın yarardan çok zarar getirdiğini geçte olsa anladık. Çünkü doğaya verdiğimiz zarar çok büyüktür ve bu zararın etkilerini kaldırmak için harcıyacağımız enerji ve para, ürettiğimizden daha fazla olmaktadır. Yapılan araştırmalardan sonra Türkiye'nin hidroelektrik santrallerden yapılmaya başlanan santraller hariç 15 GW'lık bir enerji rezervinin olduğu ortaya çıkmıştır. Bu rezervde anlaşıldığı gibi Türkiye'nin daha başka enerji kaynaklarına yönelmesi gereklidir. Dolayısı ile hidroelektrik santrallerin yanında doğal gazla çalışan termik santrallere ve nükleer enerji santrallerine ihtiyacı vardır. Her ne kadar nükleer

enerji santrallerinin zararları varsa da, kömürlü termik santrallerin verdiğiinden daha az olduğunu uzmanlar ortaya çıkarmıştır.

Türkiye'nin önemli bir problemi de dağıtım sisteminin eski olması ve dağıtım sisteminde meydana gelen kayıplardır. Dünyada ülkeler artık enerji üretiminden çok enerjiyi israf etmeden taşıyıp tasarruf etme yollarına gitmektedirler. Bizde bu konudaki çalışmalarımızı yaparak gerekli optimizasyona gitmeliyiz.

Türkiye'nin bir başka sorunu, enerjinin doğuda üretilip batıda daha çok tüketilmesidir. Bu sorunda enerji iletim mesafelerinin artmasına ve ek donanımlara dolayısı ile yatırımlar gerektirmektedir. Türkiye'de halen 380 kV'lık enerji iletim hatları kullanılmaktadır. Fakat bu gerilim kademesi; Karakaya 1,8 GW, Keban 1,3 GW, Atatürk 2,4 GW, Elbistan 2 GW'lık toplam 8 GW'lık gücün iletilmesi için artık ekonomik olmaktan çıkmıştır. Artık daha yüksek gerilim kademeleri mevcut 380 kV'lık sistemin üzerine destekleyici olarak kullanılmalıdır.

Bu gerilim kademesinin değeri ne olmalıdır. Bu sorunun cevabı basit değildir. 380 kV'lık sisteme geçmeden önce 154 kV'lık sistem kullanılmakta idi ve Keban barajının devreye girmesiyle burada üretilen enerjinin iletimi gündeme geldi. 154 kV'tan sonra 220 kV'lık gerilim kademesi olmasına rağmen 380 kV'lık gerilim kademesi seçilmiştir. Bu seçim çok isabetli olmuştur. Aynı durum şimdi de ortaya çıkmıştır. Yeni santrallerin kurulmasıyla yeni gerilim kademesine geçilip geçilmemesi hakkında karar verilmesi gerekmektedir. Dünyada 500, 765 kV olmak üzere gerilim kademeleri kullanılmakta ve başarıyla çalıştırılmaktadır. 1100, 1500 kV ise test edilmekte ve özellikle insanlar üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Özellikle ülkeler 765 kV'ı yoğun olarak kullanmaktadır.

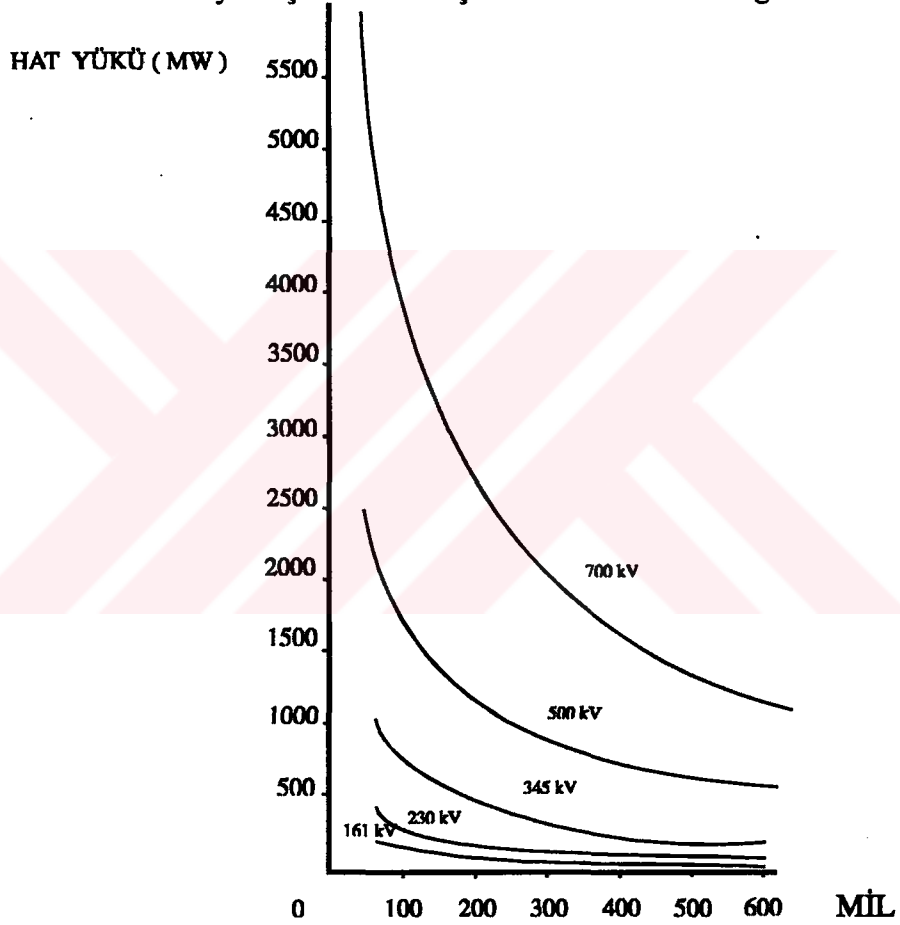
380 kV ve 765 kV gerilim kademeleri için yapılan incelemelerde 380 kV'lık sistemden 765 kV'lık sistemde gerilimin 2 kat artmasına karşılık, 4,5-4,8 kat arasında aynı iletim uzaklığı için stabil gücün arttığı görülmüştür. Ayrıca 765 kV'lık sistemde gerilim regülasyonun dolayısı ile hat kayıplarının daha az olduğunu göstermiştir. 765 kV gerilim kademesiyle çalışan sistemlerde 380 kV sisteme göre daha uzak mesafelere güç taşıyabildiği görülmektedir. Şekil 5.1'de gerilim kademelerinin maksimum taşıyabilecekleri gücün mesafelere göre eğrileri çıkarılmıştır.

Yapılmış kısa devre analizleri sonucunda da 765 kV'lık sistemde (Keban-Gölbaşı sistemi baz alınarak) 380 kV'lık sisteme göre kısa devre akımın nominal çalışma akımına göre oranı açısından daha iyi olduğu da ortaya çıkmıştır.

Bu sonuçların ışığında Türkiye artık bu yeni sisteme geçmelidir ve bu yönde planlama ve yatırımlara başlamalıdır. Aslında planlama ve yatırımlara çok önce

başlanmalıydı. Fakat zararın neresinden dönerse kardır mantığıyla yeni yatırım politikaları oluşturulmalı ve bu milli bir politika haline getirilmelidir. Çünkü bu kararların siyasetten etkilenmeden yapılması gereklidir. Santraller birbir devreye girdikçe ve talep arttıkça Türkiye'nin ana enerji taşıma damarları tıkanacak ve by-passlar gündeme gelecektir.

Türkiye'ye bu yeni sistem doğal olarak daha fazla bir maliyet getirecektir. e. Peki bu maliyetler yeni sistemde ne kadar daha fazladır. Dünyada bu yeni sistemi kullanan ülkelerin çıkardıkları maliyet artış oranlarını incelersek bize bu konuda yaklaşık bir fikir verebilir. Bu yaklaşık rakamlar Şekil 5.2'deki tabloda görülebilir.



Şekil 5.1. Gerilim kademesine göre maksimum güç taşıma mesafeleri

765 kV/380 kV	Maliyet	Güç Transfer	Birim Maliyet (KVA)
İletim Hatları	~2.1	~4.2	~0.51
Güç Kesicileri	~2.8	~4.2	~0.68
Şönt Reaktörler	~1.3	1	~1.3

Şekil 5.2. 765 ve 380 kV arasındaki maliyet oranları

Buradan da görüldüğü gibi fazla bir maliyet getirmediği anlaşılmaktadır. Uzun zaman diliminde sistem zaten kendi kendinin maliyetini çıkarmaktadır. Bu yeni sistemin kullanımında bazı problemler söz konusudur. Bu problemlerin başında bu yeni sistem hakkında yetişmiş elemanların olmamasıdır. Fakat bu sorun çözümsüz değildir. Kendi bünyemizde yetişmiş elemanlarımıza bu konuda tecrübeler kazandırarak ve araştırmalar yaptırarak bu sorunu aşabiliriz. Diğer bir önemli problem ise yüksek gerilim etkilerinin insan üzerindeki etkilerini en aza indirmektir. Dikkate değer diğer bir husus alternatif sistemlerin araştırılmasıdır. Enerji iletiminde bu sistemler doğru akım iletimi veya 6 ile 12 fazlı iletim sistemleridir. Bunlarında incelenerek en uygunu bizim için tesbit edilmelidir.

KAYNAKLAR

- 1 - Çakır H.,Enerji İletimi .Yıldız Teknik Üniversitesi 1989
- 2 - Çakır H.,Elektrik Güç Sistemleri Analizi Yıldız Teknik Üniversitesi 1986
- 3 - Gönen T.,Electric Power Transmission System Engineering Analysis and Design . John Willey 1988
- 4 - Satır K.,Ders Notları ,Yıldız Teknik Üniversitesi 1992
- 5 - Stevenson W.D., Elements of Power System Analysis. Mc. Graw-Hill 4.Edition
- 6 - Uçak C. ,Elektrik İletim Sistemlerinde Gerilim Kademelerinin Etkisinin İncelenmesi ,İTÜ kütüphanesi 1988
- 7 - Türkiye Ulusal Elektrik Ağındaki Havai Hatların, Transformatörlerin Elektriki Karakteristikleri ,1992
- 8 - Kahraman T. F.,Türkiye Elektrik Enerjisi Sorunu,Y.T.Ü Sabancı Küt. R15238
- 9 - Ms Excel Analiz Paket Programı,Corel Çizim Programı

Circular mils or A.W.G. aluminum	Aluminum			Steel		Copper equiv- lent, f circular mils or A.W.G.	Ultimate strength, lb	Weight, lb/mile	Geo- metric mean radius at 80 cycles, ft	Ap- prox. current- carry- ing capac- ity, f amp	Resistance, ohms/conductor/mile						Inductive reactance, ohms/conductor/ mile at 1-ft spacing all currents						Shunt capacitive reactance, megohms/ conductor/mile at 1-ft spacing																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	Strands			Strands							25°C (77°F) Small currents			50°C (122°F) Current approx. 75 % capacity†			25 cycles			50 cycles			25 cycles			50 cycles			60 cycles																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	Layers	Strands	elef. in.	Strands	elef. in.						Outside diameter, in.	25 cycles	50 cycles	60 cycles	d-c	25 cycles	50 cycles	60 cycles	d-c	25 cycles	50 cycles	60 cycles	25 cycles	50 cycles	60 cycles	25 cycles	50 cycles	60 cycles	25 cycles	50 cycles	60 cycles																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1,600,000	54	3	0.1716	19	0.1030	1.545	10,777	0.0520	1,380	0.0387	0.0558	0.0690	0.0691	0.0646	0.0675	0.0684	0.1465	0.289	0.389	0.1935	0.0977	0.0814																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						</

Tablo 1 Aliminyum İletkenlerin Karakteristikleri

Separation											
Feet	Inches										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11
0		-0.3015	-0.2174	-0.1682	-0.1333	-0.1082	-0.0841	-0.0654	-0.0492	-0.0349	-0.0221
1	0.0641	0.0097	0.0187	0.0271	0.0348	0.0423	0.0492	0.0558	0.0620	0.0679	0.0735
2	0.1323	0.0891	0.0938	0.1028	0.1103	0.1171	0.1132	0.1152	0.1180	0.1227	0.1284
3	0.1832	0.1396	0.1459	0.1535	0.1603	0.1661	0.1520	0.1649	0.1677	0.1804	0.1857
4	0.1933	0.1500	0.1573	0.1658	0.1729	0.1789	0.1825	0.1847	0.1869	0.1891	0.1933
5	0.1983	0.1553	0.1632	0.1712	0.1779	0.1831	0.1850	0.2069	0.2105	0.2123	0.2140
6	0.2174	0.1743	0.1824	0.1903	0.1963	0.2000	0.2050	0.2087	0.2105	0.2117	0.2137
7	0.2361	0.1931	0.2007	0.2084	0.2140	0.2186	0.2211	0.2287	0.2302	0.2317	0.2347
8	0.2523	0.2093	0.2169	0.2244	0.2288	0.2331	0.2445	0.2458	0.2472	0.2485	0.2511
9	0.2666	0.2236	0.2311	0.2384	0.2427	0.2469	0.2445	0.2458	0.2472	0.2485	0.2511
10	0.2794	0.2364	0.2439	0.2511	0.2553	0.2594	0.2570	0.2583	0.2597	0.2610	0.2636
11	0.2910	0.2480	0.2555	0.2627	0.2668	0.2708	0.2684	0.2697	0.2711	0.2724	0.2750
12	0.3013	0.2583	0.2658	0.2729	0.2770	0.2810	0.2786	0.2799	0.2813	0.2826	0.2852
13	0.3112	0.2682	0.2757	0.2828	0.2869	0.2908	0.2884	0.2897	0.2911	0.2924	0.2950
14	0.3206	0.2776	0.2851	0.2922	0.2963	0.3002	0.2978	0.2991	0.3005	0.3018	0.3044
15	0.3296	0.2866	0.2941	0.3012	0.3053	0.3092	0.3068	0.3081	0.3095	0.3108	0.3134
16	0.3384	0.2954	0.3029	0.3100	0.3141	0.3180	0.3156	0.3169	0.3183	0.3196	0.3222
17	0.3468	0.3038	0.3113	0.3184	0.3225	0.3264	0.3240	0.3253	0.3267	0.3280	0.3306
18	0.3547	0.3117	0.3192	0.3263	0.3304	0.3343	0.3319	0.3332	0.3346	0.3359	0.3385
19	0.3623	0.3193	0.3268	0.3339	0.3380	0.3419	0.3395	0.3408	0.3422	0.3435	0.3461
20	0.3699	0.3269	0.3344	0.3415	0.3456	0.3495	0.3471	0.3484	0.3498	0.3511	0.3537
21	0.3771	0.3341	0.3416	0.3487	0.3528	0.3567	0.3543	0.3556	0.3570	0.3583	0.3609
22	0.3841	0.3411	0.3486	0.3557	0.3598	0.3637	0.3613	0.3626	0.3640	0.3653	0.3679
23	0.3909	0.3479	0.3554	0.3625	0.3666	0.3705	0.3681	0.3694	0.3708	0.3721	0.3747
24	0.3975	0.3545	0.3620	0.3691	0.3732	0.3771	0.3747	0.3760	0.3774	0.3787	0.3813
25	0.4039	0.3609	0.3684	0.3755	0.3796	0.3835	0.3811	0.3824	0.3838	0.3851	0.3877
26	0.4093	0.3663	0.3738	0.3809	0.3850	0.3889	0.3865	0.3878	0.3892	0.3905	0.3931
27	0.4147	0.3717	0.3792	0.3863	0.3904	0.3943	0.3919	0.3932	0.3946	0.3959	0.3985
28	0.4200	0.3770	0.3845	0.3916	0.3957	0.3996	0.3972	0.3985	0.3999	0.4012	0.4038
29	0.4253	0.3823	0.3898	0.3969	0.4010	0.4049	0.4025	0.4038	0.4052	0.4065	0.4091
30	0.4305	0.3875	0.3950	0.4021	0.4062	0.4101	0.4077	0.4090	0.4104	0.4117	0.4143
31	0.4357	0.3927	0.3998	0.4069	0.4110	0.4149	0.4125	0.4138	0.4152	0.4165	0.4191
32	0.4408	0.3978	0.4049	0.4120	0.4161	0.4200	0.4176	0.4189	0.4203	0.4216	0.4242
33	0.4459	0.4029	0.4100	0.4171	0.4212	0.4251	0.4227	0.4240	0.4254	0.4267	0.4293
34	0.4509	0.4079	0.4150	0.4221	0.4262	0.4301	0.4277	0.4290	0.4304	0.4317	0.4343
35	0.4559	0.4129	0.4200	0.4271	0.4312	0.4351	0.4327	0.4340	0.4354	0.4367	0.4393
36	0.4608	0.4179	0.4250	0.4321	0.4362	0.4401	0.4377	0.4390	0.4404	0.4417	0.4443
37	0.4657	0.4227	0.4298	0.4369	0.4410	0.4449	0.4425	0.4438	0.4452	0.4465	0.4491
38	0.4705	0.4275	0.4346	0.4417	0.4458	0.4497	0.4473	0.4486	0.4500	0.4513	0.4539
39	0.4753	0.4323	0.4394	0.4465	0.4506	0.4545	0.4521	0.4534	0.4548	0.4561	0.4587
40	0.4800	0.4370	0.4441	0.4512	0.4553	0.4592	0.4568	0.4581	0.4595	0.4608	0.4634
41	0.4847	0.4417	0.4488	0.4559	0.4600	0.4639	0.4615	0.4628	0.4642	0.4655	0.4681
42	0.4893	0.4463	0.4534	0.4605	0.4646	0.4685	0.4661	0.4674	0.4688	0.4701	0.4727
43	0.4939	0.4509	0.4580	0.4651	0.4692	0.4731	0.4707	0.4720	0.4734	0.4747	0.4773
44	0.4984	0.4554	0.4625	0.4696	0.4737	0.4776	0.4752	0.4765	0.4779	0.4792	0.4818
45	0.5029	0.4600	0.4671	0.4742	0.4783	0.4822	0.4798	0.4811	0.4825	0.4838	0.4864
46	0.5073	0.4644	0.4715	0.4786	0.4827	0.4866	0.4842	0.4855	0.4869	0.4882	0.4908
47	0.5117	0.4688	0.4759	0.4830	0.4871	0.4910	0.4886	0.4899	0.4913	0.4926	0.4952
48	0.5160	0.4731	0.4802	0.4873	0.4914	0.4953	0.4929	0.4942	0.4956	0.4969	0.4995
49	0.5203	0.4774	0.4845	0.4916	0.4957	0.4996	0.4972	0.4985	0.4999	0.5012	0.5038

At 60 Hz, in Ω/mi per conductor
 $X_d = 0.2774 \log \frac{D}{d}$
 $X_d = 0.2774 \log \frac{D}{d}$
For three-phase lines
 $X_d = D_{12}$

† From "Electrical Transmission and Distribution Reference Book," by permission of the Westinghouse Electric Corporation.

Tablo 2 60 Hz için endüktif reaktans (ohm / mills /iletken)

Separation												
Feet	Inches											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0		-0.0737	-0.0532	-0.0411	-0.0326	-0.0260	-0.0206	-0.0160	-0.0120	-0.0085	-0.0054	-0.0028
1	0.0206	0.0224	0.0246	0.0268	0.0285	0.0303	0.0320	0.0336	0.0352	0.0368	0.0384	0.0398
2	0.0326	0.0344	0.0366	0.0388	0.0411	0.0432	0.0452	0.0470	0.0488	0.0505	0.0521	0.0536
3	0.0411	0.0434	0.0456	0.0478	0.0500	0.0521	0.0541	0.0560	0.0578	0.0595	0.0611	0.0626
4	0.0478	0.0501	0.0523	0.0545	0.0567	0.0588	0.0608	0.0627	0.0645	0.0662	0.0678	0.0693
5	0.0532	0.0555	0.0577	0.0599	0.0621	0.0642	0.0662	0.0681	0.0699	0.0716	0.0732	0.0747
6	0.0577	0.0599	0.0621	0.0642	0.0662	0.0681	0.0699	0.0716	0.0732	0.0747	0.0762	0.0776
7	0.0617	0.0638	0.0658	0.0678	0.0697	0.0716	0.0734	0.0751	0.0767	0.0782	0.0797	0.0811
8	0.0652	0.0672	0.0691	0.0710	0.0728	0.0745	0.0762	0.0778	0.0793	0.0808	0.0822	0.0836
9	0.0682	0.0701	0.0719	0.0736	0.0753	0.0769	0.0784	0.0799	0.0813	0.0827	0.0840	0.0853
10	0.0711	0.0728	0.0744	0.0760	0.0775	0.0790	0.0804	0.0818	0.0831	0.0844	0.0857	0.0869
11	0.0737	0.0753	0.0768	0.0782	0.0796	0.0809	0.0822	0.0834	0.0846	0.0857	0.0868	0.0879
12	0.0761	0.0776	0.0790	0.0803	0.0815	0.0827	0.0838	0.0849	0.0859	0.0869	0.0879	0.0888
13	0.0783	0.0797	0.0810	0.0822	0.0833	0.0844	0.0854	0.0864	0.0874	0.0883	0.0892	0.0901
14	0.0803	0.0816	0.0828	0.0839	0.0849	0.0859	0.0868	0.0877	0.0886	0.0894	0.0902	0.0910
15	0.0823	0.0835	0.0846	0.0856	0.0865	0.0874	0.0883	0.0891	0.0899	0.0907	0.0914	0.0921
16	0.0841	0.0852	0.0862	0.0871	0.0880	0.0888	0.0896	0.0903	0.0910	0.0917	0.0923	0.0929
17	0.0856	0.0866	0.0875	0.0883	0.0891	0.0898	0.0905	0.0912	0.0918	0.0924	0.0929	0.0934
18	0.0874	0.0883	0.0891	0.0898	0.0904	0.0910	0.0916	0.0921	0.0926	0.0931	0.0935	0.0939
19	0.0889	0.0896	0.0902	0.0907	0.0912	0.0917	0.0921	0.0925	0.0929	0.0933	0.0936	0.0939
20	0.0903	0.0908	0.0912	0.0916	0.0919	0.0923	0.0926	0.0929	0.0932	0.0935	0.0937	0.0939
21	0.0917	0.0920	0.0923	0.0925	0.0927	0.0929	0.0931	0.0933	0.0934	0.0935	0.0936	0.0937
22	0.0930	0.0932	0.0934	0.0935	0.0936	0.0937	0.0938	0.0939	0.0939	0.0940	0.0940	0.0940
23	0.0943	0.0944	0.0945	0.0945	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946
24	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
25	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
26	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
27	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
28	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
29	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
30	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
31	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
32	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
33	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
34	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
35	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
36	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
37	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
38	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
39	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
40	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
41	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
42	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
43	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
44	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
45	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
46	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
47	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
48	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943
49	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943	0.0943

At 60 Hz, in MG-mil per conductor

$X_d' = 0.06831 \log d$

d = separation, ft

For three-phase lines

$d = D_{eq}$

From "Electrical Transmission and Distribution Reference Book," by permission of the Westinghouse Electric Corporation

At 60 Hz, in MFD. per conductor
 $X_c' = 0.06831 \log d$
 d = separation, ft
 For three-phase lines
 $d = D_{eq}$

† From "Electrical Transmission and Distribution Reference Book," by permission of the Westinghouse Electric Corporation.

Tablo 2 60 Hz için kapasitif reaktans (mega ohm / mills /iletken)

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
 DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖZGEÇMİŞ

26 Ağustos 1969 Konya`da doğdum.İlkokulu İstanbul`da Faik Reşit Unat ilkokulunda ,ortaokulun iki senesini İstanbul Göztepe ortaokulunda kalan kısmını Konya Karma ortaokulunda tamamladım.Liseyi Konya Merkez Teknik Lisesi elektrik bölümünde tamamladım.Liseyi bitirdikten sonra aynı yıl Yıldız Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümüne girdim.Üniversiteyi ağustos 1991` de bitirdikten sonra aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği bölümünde yüksek lisansına başladım.Halen aynı bölümde yüksek lisans tezime devam etmekteyim.