

TC.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK BÖLÜMÜ

ENERJİ İLETİMİ

BİTİRME ÖDEVİ

DANIŞMAN
Yrd.Doç.Dr. Hasan H. BALIK

HAZIRLAYAN
Dildade AŞKIN

ELAZIĞ-2004

TC.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

İLETİM

Dildade Aşkın

Bitirme Ödevi

Elektrik-Elektronik Bölümü

Bu tez,..... tarihinde aşağıda belirtilen juri tarafından
oybirliği /oyçokluğu ile başarılı/başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman:Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin Balık

Üye:

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Yönetim Kurulu ‘nun
..... tarih ve kararıyla onaylanmıştır.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

1	Havai hat akımı değişimi	6-13
1.1	Hat parametreleri	
1.1.1	Seri empedans	
1.1.2	Şönt admitans	
1.2	Modeller	
1.3	Standart gerilimler	
1.4	İzalatörler	
1.5	Tanımlanan Terim	
1.6	Kaynaklar	
1.7	Ek Bilgi	
2	Yer altı akımı değişimi	13-19
2.1	Hat parametreleri	
2.2	Modeller	
2.3	Standart gerilimler	
2.4	Kablo Standartları	
2.5	Kaynaklar	
2.6	Ek Bilgi	
3	Yüksek Gerilim Doğru Akım İletimi	19-38
3.1	Dc iletimin konfigrasyonları	
3.1.1	Ard Arda DC Sistem	
3.1.2	İki Çıkış veya Uc Uca DC İletim	
3.1.3	Çok Çıkışlı DC Sistemler	
3.2	Ac ve Dc iletimin ekonomik karşılaştırılması	
3.3	Konvertör çalışmanın prensipleri	
3.3.1	Konvertör Devre	
3.3.2	AC ve DC Nicelikleri Arasındaki İlişkiler	
3.3.3	AC Akım Harmonikleri	
3.4	Dönüştürücü kontrol	
3.4.1	Tek-faz Kontrol	
3.4.2	Eşit Pals Zamanlama Kontrolü	
3.5	Gelişmeler	
3.5.1	Tristörler	
3.5.2	DC Devre Kesicileri	
3.6	Tanımlayıcı Terim	
3.7	Kaynaklar	
3.8	Ek Bilgi	
4	Kompanzasyon	38-50
4.1	Seri kapasiteler	
4.2	Senkron Düzenleyiciler	
4.3	Şönt Kapasiteler	
4.4	Şönt reaktörler	
4.5	Statik var düzenleyiciler(SVC)	
4.5.1	Sabit Kapasiteli Tristör Kontrollü Reaktör Tasarımı(FC-TCR)	
4.5.2	Tristör Anahtarlamalı Kapasite ,Tristör Kontrollü Reaktör(TSC-TCR) Tasarımı	
4.6	Tanımlayıcı Terim	
4.7	Kaynaklar	
4.8	Ek Bilgi	

5	Güç Sistemlerinde Arıza Analizi	50-72
5.1	Sistem modellerinde sadeleştirme	
5.2	Dört temel arıza tipi	
5.2.1	Dengeli Üç-Faz Arızası	
5.2.2	Tek-faz Toprak Arızası	
5.2.3	Faz-faz Arızası	
5.2.4	İki-faz Toprak Arızası	
5.3	Bir Örnek Arıza Çalışması	
5.3.1	Dengeli Üç-faz Arızası	
5.3.2	Tek-faz Toprak Arızası	
5.4	İlerideki tahminler	
5.4.1	Örnek	
5.4.2	Özet	
5.5	Tanımlayıcı Terimler	
5.6	Kaynaklar	
5.7	Ek Bilgi	
6	Koruma	72-89
6.1	Korumanın ana prensipleri	
6.1.1	Koruma Bölgeleri	
6.1.2	Koruma Hızı	
6.1.3	Korumanın Güvenilirliği	
6.2	Aşırı akım koruması	
6.2.1	Ters Zaman Karakteristiği	
6.2.2	Kordinasyon Prensipleri	
6.2.3	Yönlü Aşırı Akım Röleleri	
6.3	Mesafe koruma	
6.3.1	Basamak Mesafe Koruma	
6.3.2	Mesafe Rölelerin Yüklenebilirliği	
6.3.3	Mesafe Rölelerinin Diğer Kullanım Alanları	
6.4	Pilot koruma	
6.4.1	İletim Hattının %100'ünün Sigorta Sayısı	
6.4.2	Yönlü Karşılaştırma Tıkayıcı Tasarımı	
6.4.3	Diğer Pilot Koruma Tasarımları	
6.5	Hesaplamalı röle	
6.5.1	Hesaplamalı Rölenin Nedenleri	
6.5.2	Bir Rölenin Yapısı	
6.5.3	Deneyimler ve Gelecek Eğilimler	
6.6	Tanımlayıcı Terim	
6.7	Kaynaklar	
6.8	Ek Bilgi	
7	Güç Sistemlerinin Geçici Davranışları	89-100
7.1	Güç Sistemlerinin Kararlı Davranışı	
7.2	Tanımlayıcı Terim	
7.3	Kaynaklar	
7.4	Ek Bilgi	
8	Planlama	100-112
8.1	Planlama aletleri	
8.2	Temel planlama prensipleri	
8.3	Techizat kapasiteleri	

- 8.4 Planlama kriteri
 - 8.4.1 Techizat Y¼klenme Kriteri
 - 8.4.2 İletim Gerilim Kriteri
 - 8.4.3 Kararlılık Kriteri
 - 8.4.4 Bölgesel Planlama Kriteri
- 8.5 Değer tabanlı planlama
- 8.6 Tanımlanan Terim
- 8.7 Kaynaklar
- 8.8 Ek Bilgi

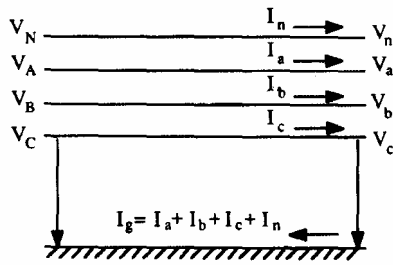
1. Havai Hat Akım Değişimi: Hat Parametreleri, Modeller, Standart Gerilimler, İzalatörler

Mo-shing Chen

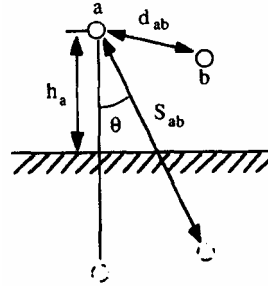
Üç fazlı güç sistemlerinin en genel elemanı havai iletim hatlarıdır. Bu elemanların birbirine bağlı olmaları güç sistem ağının büyük bölümünü oluşturur. Esas havai iletim hatları, elektrik enerjisini taşıyan faz iletkeni grubu, toprak ve genelde bir tanede nötr iletkeninden oluşurlar. (Şekil 1.1)

1.1 Hat Parametreleri

İletim hattı parametreleri seri ve şönt admitans olmak üzere iki bölüme ayrılabilirler. Tesisat ve kullanım için değer konusu olduklarından beri, örneğin kablolar arasında uzaklık ve frekans gibi, imalatçılar bu verileri temin etmekte başarısız oluyorlar. En doğru değerler alanda ölçümle elde edilir, fakat bu çok nadir yapılmaktadır.



Şekil 1.1 Bir nötr tel ile üç-faz iletim hattı



Şekil 1.2 a ve b iletkenlerinin geometrik diagramı

Simetrik bileşen metodu güç sistem analiz problemlerini kolaylaştırmak için kullanılmasına rağmen, hat parametrelerinin matematiksel formülasyonunu tarif eden aşağıdaki paragraf olduğundan daha yaygındır ve bileşenlerin uygulanması için sınır koyulmamıştır. Simetrik bileşenler metodunda kullanılan dizi empedans ve admitanslar matris dönüşümüyle kolayca hesaplanabilir. (Chen ve Dellon, 1974) Simetrik bileşenlerin ayrıntılı tartışması Clarke'de bulunabilir. (1943)

1.1.1 Seri Empedans

Sadece seri empedanslar gözönünde bulundurularak nötr tel ile üç faz iletim hatlarının ağ denklemi aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \\ V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{an} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bn} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cn} \\ Z_{na} & Z_{nb} & Z_{nc} & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_n \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Z_{ii-g} =Faz iletkeninin self empedansı ve Z_{ij-g} =i fazı ve j fazı arasındaki karşılıklı empedans

s indisi toprak olduğunu gösterir. Ölçü içerisindeki yarı iletkenlik ve öziletkenliğin değişmezliğini toprağa dayandıran J.R. Carson Z_{ii-g} ve Z_{ij-g} matematiksel formülleri geliştirilmiştir. Şekil 1.2 de gösterildiği gibi toprakla birlikte a ve b iletkenler için yüzde olarak ohm cinsinden karşılıklı ve self empedanslar ;

(1.2)

$$Z'_{aa} = z_a + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{2h_a}{r_a} + \omega \frac{\mu_0}{\pi} (p + jq)$$

$$Z'_{ab} = j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{S_{ab}}{d_{ab}} + \omega \frac{\mu_0}{\pi} (p + jq) \quad (1.3)$$

$z_a=r_c+jx_i$ =iç empedans iletkeni; h_a =a iletkenin yüksekliği,ft; r_a =a iletkeninin yarıçapı,ft; d_{ab} =a ve b iletkenleri arasındaki mesafe,ft; S_{ab} =bir iletkeniden diğerine hayali mesafe,ft; $w=2*\Pi*f$; f=frekans; μ_0 =boşluğun manyetik pelmualitesi, $\mu_0=4*\pi*10^{-7}*1609.34$ H/mi; ve p ve q toprak etkisi için doğru terimlerdir ve daha sonra verilmiştir.

İletken iç empedansı ,iç reaktans ve efektif dirençten oluşur.Efektif direnç akım yoğunluğu ,frekans ve sıcaklık olmak üzere üç faktörden etkilenir.

TABLE 1.1 İletim hatlarında kullanılan metallerin elektriksel özellikleri

Metal	Göreceli İletkenlik (Bakır =100)	Elektriksel Direnç $20^{\circ}\text{m}(10^{-8})$	Direncin sıcaklık katsayısı (yüzde $^{\circ}\text{C}$)
Bakır(HC)	100	1.724	0.0039
Bakır (HC,sıkıca dövülmüş)	97	1.777	0.0039
Aliminyum(EC derece,1/2 H-H)	61	2.826	0.0040

Yumuşak çelik	12	13.80	0.0045
Kurşun	8	21.4	0.0040

$$R_{\text{new}} = R_{20}^{\circ} (1 + \alpha (T_{\text{new}} - 20)) \quad (1.4)$$

R_{new} =Yeni sıcaklıktaki direnç, T_{new} = °C cinsinden sıcaklık, $R_{20}^{\circ} = 20^{\circ}$ deki direnç(tablo 61.1) ve α =Direncin sıcaklık katsayısı(tablo 1.1)

Frekanstaki artış akım yoğunluğunda değişikliğe sebep olur.Bu olaya deri olayı denir.Deri etkisi iletkenin etkili ac direncini artırır ve iç indüktansı azaltır.Deri etkisi gözönünde tutulunca metre başına ohm olarak iletkenin etrafındaki katının iç empedansı

$$z = (\rho m / 2\pi r) * I_0(mr) / I_1(mr) \quad (1.5)$$

ρ =iletkenin dayanıklılığı, Ω ;r=iletkenin yarıçapı; $I_0 = 0$ değişkenli bessel fonksiyonu; $I_1=1$ değişkenli bessel fonksiyonu; ve $m=\sqrt{j\omega/p}$ =kompleks derinliğin karşıtı

Ortaklaşa kullanılan iletken için dc direncin efektif ac dirence oranı birçok el kitabında verilmiştir.(örneğin,Elektrik iletim ve dağıtım referans kitabı ve Alimunyum elektrik iletken kitabı)Basitleştirilmiş formül Clarke de verilmiştir.

p ve q toprak etkisi için düzeltilmiş terimdir.Mükemmel toprak iletimi için 0 olurlar.p ve q nun determinantı sınırsız integral değerlendirmesi gerektirir.Serilerin güç frekansında hızlı bir şekilde bir noktaya yönediklerinden beri onlar aşağıda verilen eşitlikle hesaplanabilirler:

$$p = \frac{\pi}{8} \frac{1}{3\sqrt{2}} k \cos \theta + \frac{k^2}{16} \left[\left(0.6728 + \ln \frac{2}{k} \right) \cos 2\theta + \theta \sin 2\theta \right] + \frac{k^3 \cos 3\theta}{45\sqrt{2}} - \frac{\pi k^4 \cos 4\theta}{1536} \quad (1.6)$$

$$q = -0.0386 + \frac{1}{2} \ln \frac{2}{k} + \frac{1}{3\sqrt{2}} k \cos \theta - \frac{\pi k^2 \cos 2\theta}{64} + \frac{k^3 \cos 3\theta}{45\sqrt{2}} - \frac{k^4}{384} \left[\left(\ln \frac{2}{k} + 1.0895 \right) \cos 4\theta + \theta \sin 4\theta \right] \quad (1.7)$$

ile

$$k = 8.565 \times 10^{-4} D \sqrt{\frac{f}{\rho}}$$

$D=2h_i$ (ft) , $\Phi=0$,self empedans için; $D=S_{ij}$ (ft),karşılıklı empedans için (Φ için şekil 1.2); ve p =toprak direnci, Ω/m^3

1.1.2 Şönt Admitans

Şönt admitans kapasitif süseptans ve kondüktanstan oluşur.Bir iletim hattının kondüktansı genelde çok küçüktür ve değişmez durum çalışmalarında ihmal edilirler.Bir kapasitans matrix faz gerilimleri ile ilgilidir ve üç faz iletim hattının yükü

$$Q_{abc}=C_{abc}*V_{abc} \quad \text{veya} \quad \begin{bmatrix} Q_a \\ Q_b \\ Q_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{aa} & C_{ab} & C_{ac} \\ C_{ba} & C_{bb} & C_{bc} \\ C_{ca} & C_{cb} & C_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (61.8)$$

Kapasitans matrix ,potansiyel kofaktör matrisinin tersiyle hesaplanabilir.

$$Q_{abc}=P_{abc}^{-1}*V_{abc} \quad \text{veya} \quad V_{abc} = P_{abc} * Q_{abc}$$

veya

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{aa} & P_{ab} & P_{ac} \\ P_{ba} & P_{bb} & P_{bc} \\ P_{ca} & P_{cb} & P_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_a \\ Q_b \\ Q_c \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

$$P_{ii} = \frac{l}{2\pi\epsilon} \ln \frac{2h_i}{r_i} \quad (1.10)$$

$$P_{ij} = \frac{l}{2\pi\epsilon} \ln \frac{S_{ij}}{d_{ij}} \quad (1.11)$$

d_{ij} =i ve j iletkenleri arasındaki mesafe , h_i = i iletkenin yüksekliği , S_{ij} =bir iletkenin hayali diğerine mesafe, r_i =i iletkeninin yarıçapı, ϵ =iletkenin orta çevresinin permitivitesi ve l =iletkenin boyu

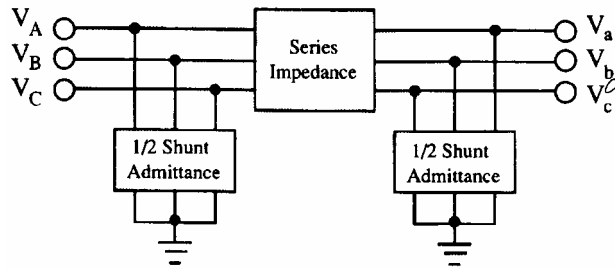
Havai hat kabloların çoğunun çıplak iletken olmasına karşın hava kabloları koruma bandı veya kılıfı ile beraber bulunmaları gerekir. Topraklanmış kılıflı tek çekirdekli iletken için ,per-unit cinsinden kapasitans C_{ii} eşitlikten(1.12) kolayca hesaplanabilir ve C_{ij} 0'a eşittir.

$$C = 2\pi\epsilon_0\epsilon_r / \ln(r_2/r_1) \quad (1.12)$$

ϵ_0 =mutlak permitivite (boşluğun dielektrik sabiti), ϵ_r =kablo izolasyonunun rölatif permitivitesi, r_1 =iletken çekirdeğinin yarıçapı ve r_2 =iletken kılıfının yarıçapı

1.2 Modeller

Sabit durum problemlerinde üç faz iletim hatları nominal- π eşdeğer devresiyle temsil edilir,baralar arasındaki seri direnç ve indüktanslar ortada düğümlenmiş ve iletim hattının şönt kapasitansları iki eşit parçaya bölünmüş ve



Şekil 1.3 Genelleştirilmiş iletken modeli

tablo 1.2 Standart Sistem Gerilimi

Kategori	kapasite	
	Nominal	Maksimum
Extra yüksek gerilim(EHV)	34.5	36.5
	46	48.3
	69	72.5
	115	121
	138	145
	161	169
	230	242
	345	362
	400 (Avrupadaki prensip)	
	500	550
Ultra yüksek gerilim	765	800
	1100	1200

hattın birleştiği baraya koyulmuştur.İletim hat modelleri hakkında daha fazla bilgi El-Hawary 'de bulunabilir.

1.3 Standart Gerilimler

Standart iletim gerilimleri Amerika Uluslararası Standart Enstitüsü tarafından Amerikada kabul edilmiştir.Dağıtım ,altiletim ve iletim gerilim seviyeleri arasındaki ilişki açık değildir. Tablo 1.2 ANSI Standart C84 ve C92'de şuan kullanımda olan standart gerilimler listesi gōsterilir.

1.4 İzalatōrler

İletim hatlarının elektriksel şalışma performansı herşeyden önce izalatōre bağlıdır.İzalatōrler bōyōk ölçōde beklenen nedenlerle buz ve rōzgarın çok bōyōk yōklerini desteklemek iēin izalatōrler sadece yeterli mekaniksel gōce sahip olmamalıdır.Ayrıca mekaniksel bozulmalar olmaksızın gōç arkları,şimşek ve şoğu mekaniksel zorlanmalara karşı dizayn edilmelidir.Periyodik olarak yağmurla yıkanmadıklarından kir ,tuz vediğer kirlerin birikmesi ile nem,sıcaklık ,yęmur ve karın herhangibiri durumu altında ,yōksek geēici gerilim durumları ve pratik olarak gōç frekans etkisinden dolayı atlamalardan korunmalıdır.

şimdiki izalatōrler şoğunlukla bulanık porselenden yapılır.Porselen ,kilin yōksek sıcaklıkta cam haline getirilmesiyle elde edilen seramik ūrōnōdūr.İletimdeki porselen izalatōrler uzun şubuk,řūtun ve disk tiplerindedir.Cam izalatōrler iletim hatlarında ōnemli ornlarda kullanılır.Sertleřtirilmiř camdan yapılır ve genelde temiz ve renksiz veya yeşil ışıklıdır.İletme gerilimleri nedeniyle sadece disk tipleri uygundur.Sentetik izalatōr genelde uzun şubuk ve řūtun tiplerinde ūretilirler.İletim hatlarında sentetik izalatōrlerin kullanımı henōz yenidir ve kullanımı sırasında cevaplanmayan birkaē soru vardır.

Gōcōn ağırlığa oranının porselene gōre ōnemli derecede yōksek olmasından ve genellikle EHV ve UHV iletim hatlarının yōksk fiyat artışının olabileceğinden dolayı sentetik izalatōrlerin son yıllardaki ūretim ve dizaynındaki gelişmeler bunları giderek daha ēekici hale getiriyor.

Tablo 1.3 Tipik hat izalatörü

Hat gerilimi,Kv	Standart diskler	kontrol parametresi(tipik)
115	7-9	yıldırım veya” kirlenme
138	7-10	yıldırım veya kirlenme
230	11-12	yıldırım veya kirlenme
345	16-18	yıldırım ,anahtarlama dalga veya kirlenme
500	24-26	anahtarlama dalgası veya kirlenme
765	30-37	anahtarlama dalgası veya kirlenme

NEMA yayını ‘Yüksek gerilim izalatör standardı’ ve AIEE Standart 41 C29.1 standartlarından C29.1 ANSI standartlarında birleştirilmiştir.C29.1 standartı izalatörlerin bütün tipleri için bütün elektriksel ve mekaniksel testleri kapsar.Atlama gerilimlerini içine alan çeşitli izalatörler için standartlar (Nem,kuraklık ve impals; radyo etkisi;gerekli mesafe; standart boyutlar ve mekaniksel dayanım karakteristiği) adreslenmiştir.

Hat izalatörünün elektriksel gücü,güç frekansı,değişken dalgalar ve istenilen seviyedeki yıldırım sayesinde belirlenebilir.Farklı hat gerilimlerinde farklı parametreler baskın eğilimde olurlar.Tablo 1.3 tipik hat izalatör seviyeleri ve kontrol parametreleri gösterir.

1.5 Tanımlanan Terim

Değişken empedans yüllenme:İletim hattının değişken empedansı direncin sıfıra ayarlanması durumundaki empedans karakteristiğidir.(Reaktansla karşılaştırıldığında direncin küçük kabul edilmesi)Hattın değişken empedansına eşit dirençli bir yükte biten kayıpsız bir iletim hattında akan güç hattın değişken yüklü empedansı olarak gösterilir.

İlişkili Konular

3.5 Üç faz devreleri 55.2 Dielektrik kayıplar

1.6 Kaynaklar

Alimunyum elektriksel iletkenlik ek el kitabı,2.öğretim,Alimunyum derneği,1982

J.R.Carson ,’Toprakla birlikte havai hat tellerindeki dalgayayılması’Bell sistem tech.,vol.,pp.539-554,1926

E.Clarke,’A-Cgüç sistemlerinin devre analizi,vols.1ve2,New York,1943

Elektrik iletim ve dağıtım kaynak kitabı,Westinghouse elektrik şirketinin merkez istasyon mühendisleri,Doğu Pittsburg,Pa

1.7 Ek Bilgi

EHV nakil hatlarına ilişkin diğer tavsiye edilen yayınlar,:İletim hattı referans kitabı,34.5 kV ve yukarısı,2.öğretim,Elektrik güç araştırma enstitüsünden,Palto Alto,Calif.,ve ‘Çevre kirliliğinde izalatörler için kullanma rehberi’,çevresel sorunlarda izalatörler için uygulama rehberi,IEEE Görünür güç iletim sistemleri,Eylül/Ekim,1979

Yüksek gerilim seviyesindeki araştırmalar birkaç şirket tarafından idare edilmektedir: Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü,Bonneville Güç İdaresi ve diğerleri.Elektrik güç iletimi için üç fazın daha çok kullanımı Amerika Enerji Dairesi gibi sponsorlarca yoğun olarak çalışılmaktadır.

2 . Yer altı Akım Değişimi:Hat parametreleri,Modeller,Standart Gerilimler,Kablolar

Mo-Shing Chen ve K.C.Lai

Yer altı güç kablolarının sermaye maliyetlerine rağmen çoğu zaman havai kablolarla eşit kapasitelidir.Yeraltı kablolarının tesisi ,doğru yolun olması,estetik ,güvenilirlik,gizlilik ve emniyet gibi nedenlerden dolayı daima artmaktadır.

Kabloların iki tipide iletim hatlarında yaygın olarak kullanılır:Boru tip kablolar ve yağ dolu müstakil tip kablolar.Bunların seçimi ,güç tercihinine ,uzunluğa,maliyete ve güvenilirliğe göre değişir.Amerikadaki kabloların %90 ‘ından üzeri boru tip dizaynlıdır.

2.1 Hat Parametreleri

Tek göbekli müşterek ve boru tip kabloların admitans ve empedanslarının genel formülasyonu Japonya ,Kyoto ‘daki Doshisha üniversitesindeki Prof.Dr.Akihiro Ametani tarafından düşünülmüştür.Kablo sisteminin admitans ve empedansı iki matrix eşitliğiyle tanımlanır:

$$d(V)/dx= [Z]*(I) \quad (1.13)$$

$$d(I)/dx=[Y]*(V) \quad (1.14)$$

V ve I kablunun x boyu mesafesindeki gerilim ve akım vektörleridir ve [Z] ve[Y] empedans ve admitans matrixleridir.Şekil 1.4 ‘te gösterildiği gibi boru tip kablolar için ,Empedans ve admitans matrixleri kabullerle eşitlik 1.15 ve 1.16 da yazılabilir:

- 1.Yerdeğiştirme akımları ve dielektrik kayıplar ihmal edilir.
- 2.Kablunun her iletken ortası sabit permeabilitedir.
- 3.Boru kalınlığı boru duvarının gömülme derinliğinden daha önemlidir.

$$[Z]=[Z_i]+[Z_p] \quad (1.15)$$

$$[Y]=j\omega[P]^{-1} \quad (1.16)$$

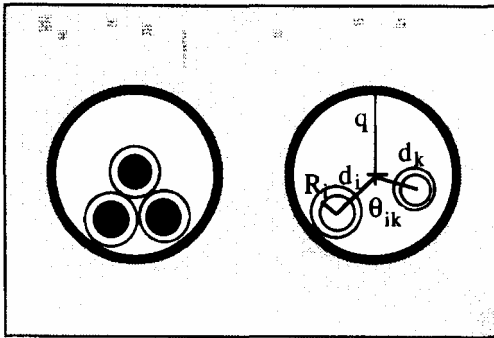
$$[P]=[P_i]+[P_p]$$

[P] bir potansiyel kofaktör matrixidir.

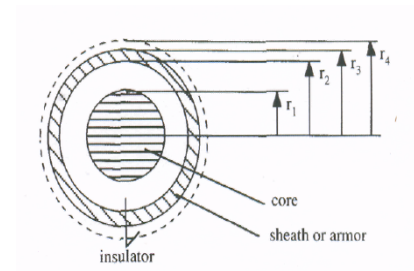
[Z_i]=Tek çekirdekli kablo iç empedans matrixi

$$= \begin{bmatrix} [Z_{i1}] & [0] & \cdots & [0] \\ [0] & [Z_{i2}] & \cdots & [0] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [0] & [0] & \cdots & [Z_{in}] \end{bmatrix} \quad (1.17)$$

[Z_p]=Boru iç empedans matrisi



Şekil1.4 boru tip kablo sistemi



Şekil1.5 Tek çekirdekli kablo çapraz bölüm

$$= \begin{bmatrix} [Z_{p11}] & [Z_{p12}] & \cdots & [Z_{p1n}] \\ [Z_{p12}] & [Z_{p22}] & \cdots & [Z_{p2n}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [Z_{p1n}] & [Z_{p2n}] & \cdots & [Z_{pnn}] \end{bmatrix} \quad (1.18)$$

Çapraz alt matrixi $[Z_i]$, tek dolgulu kablonun self emedansını ifade eder. Tek göbekli kablo bir göbek ve kılıftan ibaret olduğunda (şekil 1.5), self empedans matrixi verilir.

$$[Z_{ij}] = \begin{bmatrix} Z_{ccj} & Z_{csj} \\ Z_{csj} & Z_{ssj} \end{bmatrix} \quad (1.19)$$

Z_{ssj} =self emedans kılıf

$$= Z_{kılıf-dış} + Z_{kılıf/boru-izalatör} \quad (1.20)$$

Z_{csj} =çekirdek ve kılıf arasındaki karşılıklı empedans

$$= Z_{ssj} - Z_{kılıf-karşılıklı} \quad (1.21)$$

Z_{ccj} =çekirdek self empedansı

$$= (Z_{çekirdek} + Z_{çekirdek/kılıf-izalatör} + Z_{kılıf-iç}) + Z_{csj} - Z_{kılıf-karşılıklı} \quad (1.22)$$

$$= Z_{çekirdek} = p * m * I_0(mr_1) / 2 * \pi * r_1 * I(mr_1) \quad (1.23)$$

$$Z_{çekirdek/kılıf-izalatör} = (j * \omega * \mu_1 / 2 * \pi) * \ln(r_2/r_1) \quad (1.24)$$

$$Z_{kılıf-iç} = (p * m / 2 * \pi * r_2 * D) * [I_0(mr_2) * K_1(mr_3) + K_0(mr_2) * I_1(mr_3)] \quad (1.25)$$

$$Z_{kılıf-karşılıklı} = p / 2 * \pi * r_2 * r_3 * D \quad (1.26)$$

$$Z_{kılıf-dış} = (p * m / 2 * \pi * D * r_3) * [I_0(mr_3) * K_1(mr_2) + K_0(mr_3) * I_1(mr_2)] \quad (1.27)$$

$$Z_{kılıf/boru-izalatör} = (j * \omega * \mu / 2 * \pi) * \cosh^{-1}(q^2 + R_i^2 - d_i^2 / 2 * q * R_i) \quad (1.28)$$

p iletkenin özgül direnci, $D= I_0(mr_2)*K_1(mr_3)+K_0(mr_2)I_1(mr_3)$, γ =Euler sabiti=1.7811, $I_i=i$ 'inci dereceden birinci tür bessel fonksiyon değişimi, $K_i=i$ 'inci dereceden ikinci tür bessel fonksiyon değişimi ve $m=\sqrt{j \omega \mu / p}$ =kompleks derinliğin karşılığı

$[Z_p]$ 'nin altmatrisi aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$[Z_{pjk}] = \begin{vmatrix} Z_{pjk} & Z_{pjk} \\ Z_{pjk} & Z_{pjk} \end{vmatrix} \quad (1.29)$$

(1.29) eşitliğindeki Z_{pjk} boru iç yüzeyine göre jth ve kth iç iletkenler arasındaki empedanstır.j=k, $Z_{pjk} = Z_{\text{boru-iç}}$;bunun üzerine Z_{pjk} (1.31) eşitlikte verilmiştir.

$$Z_{\text{boru-iç}} = [p * m * K_0(mq) / 2 * \pi * q * K_1(mq)] + (j * \omega * \mu / \pi) \sum (d_i / q)^{2n} \quad (1.30)$$

$$* K_n(mq) / (n * \mu * K_n(mq) + m * q * K_n'(mq))$$

$$\ln q / S + \mu_l * K_0(mq) / m * q * K_1(mq)] \quad (1.31)$$

$$Z_{pjk} = j * \omega * \mu_0 / 2 * \pi$$

$$+ \sum (d_j * d_k / q^2)^n * \cos(n \theta_{jk}) [2 * \mu_r$$

$$K_n(mq) / (n * \mu_r * K_n(mq) + m * q * K_n'(mq))]$$

q (şekil1.4) boru içyüzeyi yarıçapıdır

Boru tip kablunun potansiyel matrisinin formülasyonu empedans matrisinin benzeridir.

$$[P_i] = \begin{bmatrix} [P_{i1}] & [0] & \cdots & [0] \\ [0] & [P_{i2}] & \cdots & [0] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [0] & [0] & \cdots & [P_{in}] \end{bmatrix} \quad (1.32)$$

$$[P_p] = \begin{bmatrix} [P_{p11}] & [P_{p12}] & \cdots & [P_{p1n}] \\ [P_{p12}] & [P_{p22}] & \cdots & [P_{p2n}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [P_{p1n}] & [P_{p2n}] & \cdots & [P_{pnn}] \end{bmatrix} \quad (1.33)$$

$[P_i]$ çapraz alt matrisi tek çekirdekli kablonun potansiyel emsal matrisini ifade eder. Tek çekirdekli kablo bir çekirdek ve kılıftan oluştuğunda ,alt matris bu şekilde verilir:

$$[P_{ij}] = \begin{vmatrix} P_{cj} + P_{sj} & P_{sj} \\ P_{sj} & P_{sj} \end{vmatrix} \quad (1.34)$$

$$P_{sj} = \left(\frac{1}{2} * \pi * \epsilon_o * \epsilon_{sj} \right) \ln r_4/r_5 \quad (1.35)$$

$$P_{cj} = \left(\frac{1}{2} * \pi * \epsilon_o * \epsilon_{cj} \right) \ln r_2/r_1 \quad (1.36)$$

ϵ_o =boşluğun mutlak geçirgenliği, ϵ_{sj} =izalatör dış kılıfının nisbi geçirgenliği , ϵ_{cj} =izalatör dış dolgunun nisbi geçirgenliği

$[P_p]$ nin alt matrisi $[P_{pjk}]$ verilmiştir.

$$[P_{pjk}] = \begin{vmatrix} P_{pjk} & P_{pjk} \\ P_{pjk} & P_{pjk} \end{vmatrix} \quad (1.37)$$

(1.37) eşitlikteki P_{pjk} boru iç yüzeyine göre jth ve kth iç iletkenler arasındaki potansiyel değerdir. j=k, $P_{pjk}=P_{\text{boru-iç}}$ olduğunda bu sebeple P_{pjk} eşitlikte (1.39) verilmiştir.

$$P_{\text{boru-iç}} = \ln \frac{\left| \frac{q}{R_i} \left[1 + \left(\frac{d_i}{q} \right)^2 \right] \right|}{2 * \pi * \epsilon_p * \epsilon_o} \quad (61.38)$$

$$P_{ijk} = \frac{1}{2 \pi \epsilon_p \epsilon_o} \left| \ln q / S_{jk} \sum \left[d_j d_k / q^2 \right]^n \cos(n \theta_{jk}) \right| \quad (61.39)$$

R_i =i kablosunun dış yarıçapı ve d_j, d_k, d_i =i,j,k kablolarının yarıçapları

2.2 Modeller

Bölüm 1.1 deki ‘Modeller’tercih edilir.

2.3 Standart Gerilimler

Amerikada ,yer altı nakil hatları ,69 ile 34.5 kV’a göre derecelendirilmiştir.(Bölüm 1’in tablo 1.2 de verilen).550 kV’luk normal kablolar Japonyada ticari amaçla kullanılır.Amerikada 550 kV seviyesinde döşenmiş kablolar son derece kısa mesafelidir,örnek olarak,Büyük Coulee Barajı.

2.4 Kablo Standartları

Kablolar için en genel standart otoritesi Uluslar arası Elektroteknik Komisyonudur.(IEC).IEC standartları kabul edilebilir.Seçeneklerin bol olması ihtiyacı giderir ve uluslar arası standartların hazırlanması için temel olarak hizmet verir..Amerikada malzemeler ve parçalar için uluslararası standartlara ilave olarak ,endüstrinin dört kolundan çıkarılan ,geniş ölçüde kullanılan kablo standartları vardır:Sigortacıların labarotuvvarları,Edison Aydınlatma Şirketleri birliği ve Uluslar arası Elektrik Sanayi Birliği ve ızalasyon güç kabloları mühendisler birliğinin katılımıyla.

İlşkin Konular

55.5 Dielektrik metaryeller

2.5 Kaynaklar

A.Ametani,’Kabloların empedans ve admitansının genel formülasyonu’

P.Graneau,yer altı güç iletimi

D.McAllister,elektrik kablolar elkitabı

B.M.Weedy,elektrik gücünün yer altı iletimi

2.6 Ek Bilgi

Kablo sisteminin avantajlarının geliştirilmesi vali ve faydalanılanlar tarafından devamlı destekleceklerdir.Bu aktiviteler hakkındaki bilgi ve raporlar başlıca iki sermaye acentalığından öğrenilir:Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü veAmerika Enerji Bölümü

3. Yüksek Gerilim Doğru Akım İletimi

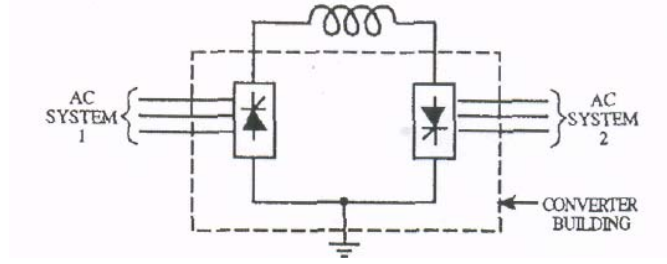
Rao S.Thallam

İlk ticari yüksek gerilim doğru akım güç iletim sistemi ,İsveç kıtası ve Gotland adaları arasındaki bağıllık yüzünden 1954 ‘de kuruldu.20MW ve 100 kV kapasitesinde ,96 km uzunluğunda bir denizaltı kablosudur.Şuanda dünyanın her tarafında 50 ‘den fazla sistem işletmesi vardır ve çoğndan fazlası planlama ,dizayn ve yapılanma aşamasındadır.HVDC iletim ,enterkonnektif ,güç iletiminin güvenli yolu ve ekonomik olarak kabul edilir olmuştur.İki ac sistem arasındaki asenkron enterkonnektif olarak uzun mesafeli güç iletimi için değişken akım avantajlarını sunar ve enterkonnekte edilmiş ac sistemde dikkatsiz akıntılar olmaksızın güç akışının tam kontrolü için imkan sunar.Tablo 1.4 eski HVDC projelerini ,kapasitelerini,yüzdeliklerini ve diğer detayları listeler.İşletme içindeki en büyük sistem olan İtaipu HVDC iletimi,iki ± 600 kV ibaret,3150 MW kapasiteli çift kutuplu,800km den fazla mesafedeki güneydoğu Brezilyada,İtaipu üretim merkezinden Ibiuna dönüştürücü merkezine toplam 6300Mwlık gücü taşır.

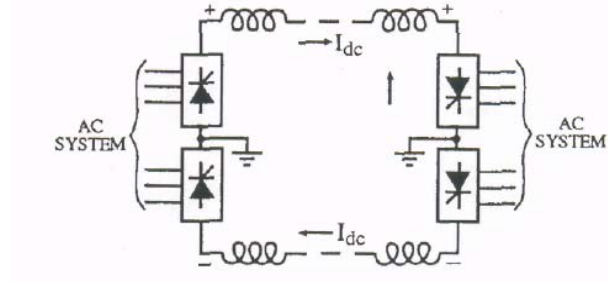
Tablo 1.4 HVDC Proje Verileri

	HVDC Supplier†	Year Commissioned	Power Rating, MW	DC Volts, kV	Line/Cable, km	Location
Mercury Arc Valves						
Moscow-Kashira ^a	F	1951	30	±100	100	Russia
Gotland I ^a	A	1954	20	±100	96	Sweden
English Channel	A	1961	160	±100	64	England-France
Volgograd-Donbass ^b	F	1965	720	±400	470	Russia
Inter-Island	A	1965	600	±250	609	New Zealand
Konti-Skan I	A	1965	250	250	180	Denmark-Sweden
Sakuma	A	1965	300	2125	B-B/	Japan
Sardinia	I	1967	200	200	413	Italy
Vancouver I	A	1968	312	260	69	Canada
Pacific Intertie	IV	1970	1440	±400	1362	USA
		1982	1600			
Nelson River I ^c	I	1972	1620	±450	892	Canada
Kingsnorth	I	1975	640	±266	82	England
Thyristor Valves						
Gotland Extension	A	1970	30	±150	96	Sweden
Eel River	C	1972	320	2 × 80	B-B	Canada
Skagerrak I	A	1976	250	250	240	Norway-Denmark
Skagerrak II	A	1977	500	±250	240	Norway-Denmark
Skagerrak III	A	1993	440	±350	240	Norway-Denmark
Vancouver II	C	1977	370	-280	77	Canada
Shin-Shinano	D	1977	300	2 × 125	B-B	Japan
		1992	600	3 × 125		
Square Butte	C	1977	500	±250	749	USA
David A. Hamil	C	1977	100	50	B-B	USA
Cahora Bassa	J	1978	1920	±533	1360	Mozambique-S. Africa
Nelson River II	J	1978	900	±250	930	Canada
		1985	1800	±500		
C-U	A	1979	1000	±400	710	USA
Hokkaido-Honshu	E	1979	150	125	168	Japan
	E	1980	300	250		
		1993	600	±250		
Acaray	G	1981	50	25.6	B-B	Paraguay
Vyborg	F	1981	355	1 × 170 (±85)	B-B	Russia (tie with Finland)
	F	1982	710	2 × 170		
			1065	3 × 170		
Duernrohr	J	1983	550	145	B-B	Austria
Gotland II	A	1983	130	150	100	Sweden
Gotland III	A	1987	260	±150	103	Sweden
Eddy County	C	1983	200	82	B-B	USA
Chateauguay	J	1984	1000	2 × 140	B-B	Canada
Oklaunion	C	1984	200	82	B-B	USA
Itaipu	A	1984	1575	±300	785	Brazil
	A	1985	2383			
	A	1986	3150	±600		
	A	1987	6300	2 × ±600		
Inga-Shaba	A	1982	560	±500	1700	Zaire
Pac Intertie Upgrade	A	1984	2000	±500	1362	USA
Blackwater	B	1985	200	57	B-B	USA
Highgate	A	1985	200	±56	B-B	USA
Madawaska	C	1985	350	140	B-B	Canada
Miles City	C	1985	200	±82	B-B	USA
Broken Hill	A	1986	40	2 × 17(±8.33)	B-B	Australia
Intermountain	A	1986	1920	±500	784	USA
Thyristor Valves (continued)						

	HVDC Supplier†	Year Commissioned	Power Rating, MW	DC Volts, kV	Line/Cable, km	Location
Cross-Channel						
Les Mandarins	H	1986	2000	±270	72	France
Sellindge	I	1986	2000	±270	72	England
Descantons-Comerford	C	1986	690	±450	172	Canada-USA
SACOI ^d	H	1986	200	200	415	Corsica Island
SACOI ^e		1992	300			Italy
Urguaiana Freq. Conv.	D	1987	53.7	17.9	B-B	Brazil (tie with Uruguay)
Virginia Smith (Sidney)	G	1988	200	55.5	B-B	USA
Gezhouba-Shanghai	B+G	1989	600	500	1000	China
		1990	1200	±500		
Konti-Skan II	A	1988	300	285	150	Sweden-Denmark
Vindhyachal	A	1989	500	2 × 69.7	B-B	India
Pac Intertie Expansion	B	1989	1100	±500	1362	USA
McNeill	I	1989	150	42	B-B	Canada
Fenno-Skan	A	1989	500	400	200	Finland-Sweden
Sileru-Barsoor	K	1989	100	+100	196	India
			200	+200		
			400	±200		
Rihand-Delhi	A	1991	750	+500	910	India
		1991	1500	±500		
Hydro Quebec-New Eng.	A	1990	2000 ^e	±450	1500	Canada-USA
Welch-Monticello		1995	300		B-B	USA
		1998	600			
Etzenricht		1993	600	160	B-B	Germany (tie with Czech)
Vienna South-East	G	1993	600	160	B-B	Austria (tie with Hungary)
DC Hybrid Link	AB	1993	992	+270/-350	617	New Zealand
Chandrapur-Padghe		1997	1500	±500	900	India
Chandrapur-Ramagundam		1996	1000	2 × 205	B-B	India
Leyte-Luzon		1997	1000	350	440	Philippines
Haenam-Cheju I		1997	300	±180	100	South Korea
Baltic Cable Project		1994	600	450	250	Sweden-Germany
Victoria-Tasmania		1995	300	300		Australia
Kontek HVDC Intercon		1995	600	600		Denmark
Scotland-N. Ireland		1998	250	150	60	United Kingdom
Greece-Italy		1998	500			Italy
Tiang-Guang		1998	1800	500	903	China
Visakhapatnam	I	1998	500	205	B-B	India
Thailand-Malaysia		1998	300	300	110	Malaysia-Thailand
Rivera		1998	70		B-B	Uruguay



Şekil 1.6 Ardarda dc sistem



Şekil 1.7 Bipolar dc sistem

3.1 DC İletimin Konfigrasyonları

HVDC üç kategoride sınıflandırılabilir:

- 1.Ard arda sistemler
- 2.İki çıkış ,veya uç uca sistemler,
- 3.çok çıkışlı sistemler

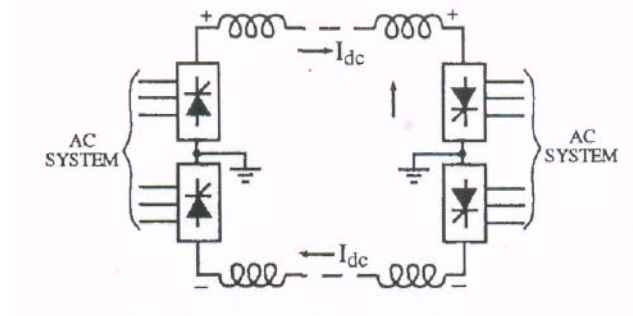
3.1.1 Ard Arda DC Sistem

Şekil 1.6 da gösterilen ard arda dc sistem,genelde doğrultucu ve inverterin her ikisinin aynı durumda ve yapıda yerleştirilmesidir.İnverter ve doğrultucu , hava göbeği dizaynında genellikle dışarıdan reaktörle bağlanırlar.Ara arda sistemiki asenkron ac sistemi bağlamak için kullanılır(Senkronize olmamış sistem).İki ac sistem ,örneğin biri 50 Hz diğeri 60Hz olan farklı çalışma frekanslarında olabilirler.Örnekleri Sakuma ve Japonyadaki Shin-Shinana dönüştürücü istasyonudur.Her ikiside 50 Hz ve 60 Hz lik sistemleri bağlamak için kullanılır.Paraguay daki Acaray istasyonu 60Hz lik Brezilya sistemi ile Paraguay (50Hz) sistemini birbirine bağlar.Ard arda DC bağlantılar aynı frekansta fakat senkronize olmayan iki sistemi bağlamak içinde kullanılır.Kuzey Amerikada ,doğu ve batı sistemleri senkronize edilmemiştir ve Quebec ve Texas yakın sistemlerle senkronize edilmemiştir .Senkronize edilmemiş sistemler için DC bağlantı pratik çözümler getirir.Bu nedenle Kuzey Amerikada

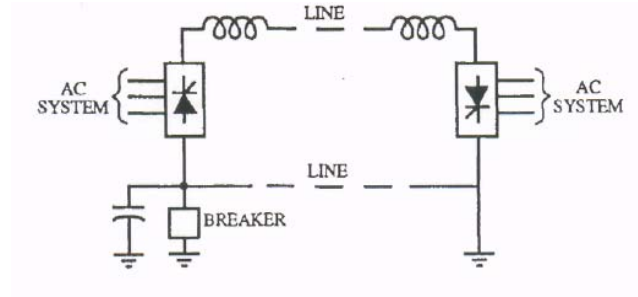
benzeri sistemlerle birbirine bağı çalışan 10 tane ard arda dc bağlantı vardır.Benzer durumda Avrupada ,doğu ve batı sistemleri senkronize edilmemiştir ,ve dc dc,onların arasında birbirine bağlanmaları için pratik seçenekler getirir.

3.1.2 İki Çıkış,veya Uc Uca DC İletim

İki çıkışlı dc sistemler bipolar ve monopolar olabilir.Şekil 1.7 de gösterilen bipolar konfigrasyon ,havai hat sistemleri için yaygınca kullanılır.Bu sistemde ,yaklaşık eşit akımlar taşıyan herbiri eşit polariteli,iki iletken olacaktır.(pozitif ve negatif).Genelde küçük olan akımlar arasındaki fark toprak içinden akmasıdır.



Şekil 1.8 Monopolar topraklı dc sistem



Şekil 1.9 Monopolar balastlı dc sistem

Monopolar bir sistem toprak veya balast iletkeninin içinden dolaşan akımlarla pozitif ve negatif polariteli bir iletken oluşur.Şekil 1.8 de gösterilen monopolar toprak akım konfigrasyonu deniz içinden dolaşan akımın olduğu denizaltı kablo sistemleri için kullanılır.Ayrıca bu konfigrasyon bir kutbun devre dışı olmasında iki çıkışlı dc hat sistemi için kısa dönem acil çalışmaları için kullanılır.Bununla birlikte,yer altı metalik yapısındaki korozyon için endişeler ve telefon parazitleri ve diğer etkenler bu etkinin süresini kısaltacaktır.Toplam amper-saat çalışma yıl yüzdesi genellikle azalan kriterdir.

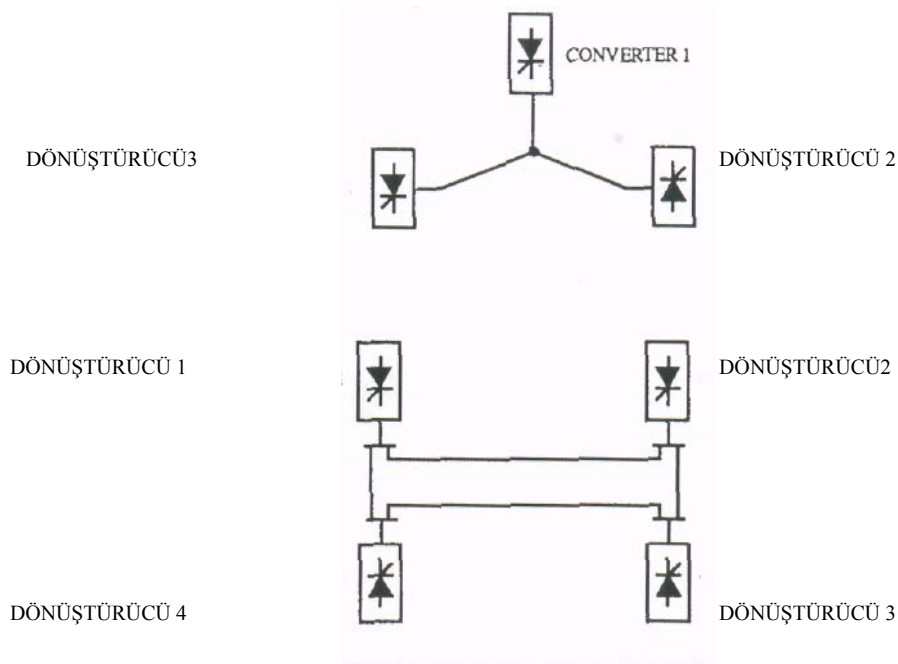
Şekil 1.9 da gösterilen monopolar balastlı sistemde ,akımlar iletken içinden akar ,buyüzden problemlerden kaçınmak için toprakla birleştirilir.Bu metod kısmi çevirici devre dışı olduğunda normal bipolar iletim sistemi için genelde ihtiyaç duyulan çalışma modu olarak kullanılır.Bir kutup dönüştürücüsünün devre dışı olması durumunda ,etkili kutbun iletkeni dönüş iletkeni olarak kullanılacaktır.Balastlı transfer kesicisi ,kutup iletkeni içinden ve toprak yolundan akımı saptırmak için açılacaktır.Bu iletken bir uçtan topraklanacak ve diğer uçtan izole edilecektir.Bu sistem normal bipolar sistem kapasite gücünün yarısını taşır (Eğer aşırı yük durumu varsa artabilir.)Bununla birlikte ,Hat kayıpları ,taşınan aynı güç için normal bipolar çalışma ile karşılaştırıldığında iki misli olacaktır.

3.1.3 Çok Çıkışlı DC Sistemler

Çok çıkışlı sistemler olarak çalışan dc sistemlerde iki temel konfigrasyon vardır:

1.Paralel konfigrasyon

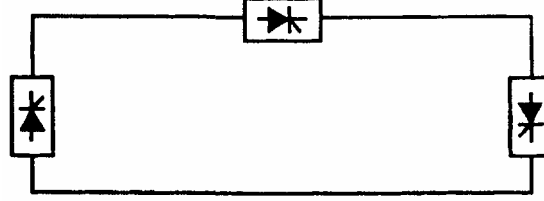
2.Seri konfigrasyon



Şekil 1.10 (a)Paralel bağlı radyal MTDC Sistem;(b) Paralel bağlı ağ tipli MTDC sistem

Paralel konfigrasyon radyal bağlı (şekil 1.10(a)) veya ağ bağlı(şekil 1.10(b)) olabilir.Paralel bağlı çok çıkışlı sistemde ,bütün dönüştürücüler ac enterkonnektif sisteme benzer olarak ,aynı

dc gerilimde çalışırlar.Bu çalışmada ,bir dönüştürücü çalışma gerilimini belirler ve diğer bütün çıkışlar akım kontrollü modda çalışır.



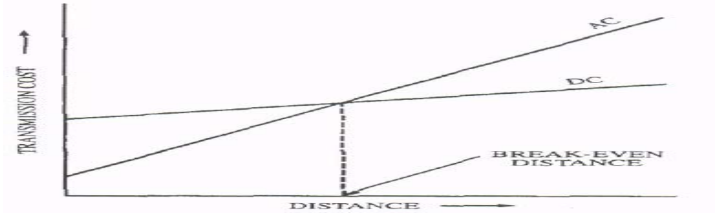
Şekil 1.11 Seri bağlı MTDC Sistem

Seri bağlı çok çıkışlı dc sistemde bütün dönüştürücüler aynı akımda çalışır.Bir dönüştürücünün bir akıma setlenmesi diğer dönüştürücüler içinde geçerli olacaktır.Akımı ayarlanan dönüştürücü dışında ,arta kalan diğer dönüştürücüler gerilim modunda çalışır.(Sabit ateşleme açısı veya susturma açısı).Dönüştürücüler aralarında yüksek-hızlı haberleşme için istek dışı bağımsız olarak çalışırlar.KontROLSÜZ akım dönüştürücülerin çıkış gücü gerilim çeşitliliğinden farklılaşır.Bütün zamanlarda ,doğrultucu istasyonlarındaki toplam gerilim ,inverter istasyonlarındaki toplam gerilimden daha büyük olmalıdır.Seri bağlı sistemlerin dezavantajı ,tüm hat ızalatörlerin bütün zamanda kullanılmamasından dolayı etkilerinin azalması ve daha yüksek ateşleme açısında çalışmada daha fazla dönüştürücü kayıplarına neden olması ve ac sistemden daha fazla reaktif güç talebinin olmasıdır.

Şuanda çalışır durumda iki tane çok çıkışlı sistem vardır.Sardina –Corsica –İtalya üç çıkışlı dc sistem ,200 MW kapasiteyle 1967 de iki çıkışlı sistem olarak(Sardina-İtalya)başlangıçta kuruldu.1986 da,Corsica eklendi ve sistemi 300 MW kapasiteye yükseltti.İki çıkışlı Hydro Quebec-New England HVDC bağlantısını (1985 de kuruldu) 5 çıkışlı sisteme genişlettiler ve 1990 da kuruldu(Tablo 1.4).Quebec’te Radisson istasyonunda bu sistemin en büyüğü 2250 MW tır.İkiden fazla sistemler ,Kanadadaki Nelson nehri sistemi ve Amerikadaki Pasifik NW-SW Intertie ,çok çıkışlı sistemler olarakta çalışır.Bu sistemlerin her biri ,hattın her ucunda iki dönüştürücüye sahiptir ve her uçtaki dönüştürücüler inverter veya dönüştürücü olarak aynı modda çalışmaları için zorlanırlar.

3.2 AC ve DC İletimin Ekonomik Olarak Karşılaştırılması

HVDC teknik nedenlerle seçildiği takdirde ,asenkron bağlantıda olduğu gibi sadece pratik



Şekil 1.12 hat uzunluğu fonksiyonu olarak iletim maliyetleri

seçenek olabilir.Bununla birlikte uzun mesafeli güç iletimi için ac ve HVDC nin her ikisinde kullanılır.Son karar her tercihin toplam maliyetine bağlıdır.İletim sisteminin toplam maliyeti,hat maliyeti(iletken,izalatör ve kuleler) artı güzergah maliyetini içerir.

İki iletkenli bir dc hat ,aynı ölçüdeki hat iletkenleriyle üç faz ac hat gibi hemen hemen aynı miktarda güç taşır.Bu nedenle iki iletkenli dc kuleler daha basit ve üç faz ac kulelerden daha ucuzdur.Bu nedenle hattın yüzdelik maliyeti ve güzergah maliyeti dc için daha düşüktür.Dc hattaki güç kayıpları ,taşınan aynı güç için ac 'den daha düşüktür.Bununla birlikte ,HVDC sistem ,hattın iki ucunda konvertör ister .Bu yüzden dc için uç maliyeti ac 'den daha yüksektir.Hat uzunluğunun fonksiyonu olarak,ac ve dc toplam maliyet değişimi şekil 1.12 de gösterilmiştir.Bu çok kısa kablolarda havai hatlar için 500 ile 800 kapasitesindedir .Denizaltı kabloları için 20 ile 50 km arasında ve yer altı kabloları için iki kat mesafededir.

3.3 Konvertör Çalışmanın Prensipleri

3.3.1 Konvertör Devre

Üretim ,iletimin çoğu ve kullanımdaki akım değişken olduğundan beri HVDC iletim gönderici uçta ac 'den dc' ye(doğrultucu) ve alıcı uçta dc 'den ac 'ye(çevirici) geri dönüştürücü olarak tercih edilirler. HVDC iletimde ,dc 'den ac'ye ve ac 'den dc'ye dönüştürme için kullanılan temel alet ,Graetz devresi olarakta bilinen üç faz tam dalga köprü doğrultucudur.Bu üç fazlı 6 palslı dönüştürücüdür.Bir üç faz 12 pals dönüştürücü iki üç faz 6 palsın birleşiminden oluşur , gerilim farklılığı 30° lik faz farkıyla sağlanır.(Şekil 1.13). 30° lik faz farkı bir Y-Y transformatörü ve diğeri Y-Δ transformatörü tarafından bir 6 palslı köprünün yapılmasıyla elde edilir.

3.3.2 AC ve DC Nicelikleri Arasındaki İlişkiler

Dönüştürücünün ac ve dc açısından gerilim ve akımlar anlatılmıştı ve bunlar dönüştürücü transformatörün içerdiği çoğu dönüştürücü parametrelerin fonksiyonlarıdır. Aşağıdaki eşitlikler elde edilebilir kaynaklardan sağlanmıştır. Detaylı türevler (1971) Kimbark tarafından verilmiştir.

E_{LL} =Dönüştürücü ac baranın faz –faz efektif gerilimi

I_1 =Dönüştürücü ac akımının ana frekans bileşeninin rms değeri

h =Harmonik sayısı

α =anahtarmalı ateşleme gecikme açısı(kısa zamanlı anahtarlama gerimi pozitifdir.)

u =Overlap açısı(Komütasyon açısı olarakta bilinir.)

Φ =gerilim ve akım arasındaki faz açısı

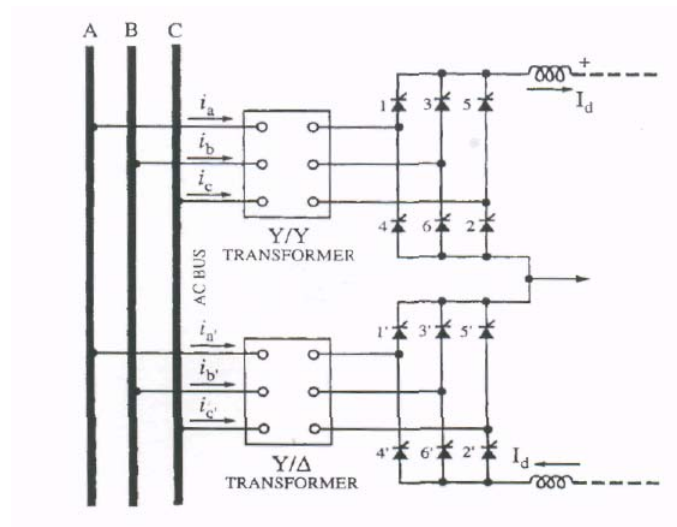
$\cos\Phi$ =güç faktörü değişimi

V_{d0} =ideal yüksüz dc gerilim ($\alpha=0$ da ve $u=0$)

L_c =komütasyon devre indüktansı

$\beta=180-\alpha$ =inverter için yararlı açı

$\gamma=180-(\alpha+u)$ =inverter içim marjın açısı



Şekil 1.13 12 –Palshlı HVDC Konvertörün Temel Devresi

$\alpha=0, u=0$ da

$$V_{do}=3*\sqrt{2}*E_{LL}/\pi=1.35* E_{LL} \quad (1.40)$$

$\alpha>0$ ve $u=0$ da

$$V_d = V_{do} * \cos\alpha \quad (1.41)$$

Teorikte α 0 'dan 180° 'ye kadar değiştirilebilir.($u=0$ da);Bu yüzden $V_d + V_{do}$ 'dan $-V_{do}$ 'a değiştirilebilir.Anahtarlar sadece bir yönde akım akıttıkları için, V_d 'den $-V_{do}$ 'ye dc gerilimin değişimi güç akış yönünün ters çevrilmesi ve doğrultucudan inverttere değişen çalışmanın dönüştürücü modu anlamına gelir.

$$I_1 = \sqrt{6} * I_d / \pi \quad (1.42)$$

$$\cos\Phi = \cos\alpha = V_d / V_{do} \quad (1.43)$$

$\alpha>0$ ve $0<u<60^\circ$ için

$$\frac{V_d = V_{do} * \cos\alpha + \cos(\alpha+u)}{2} \quad (1.44)$$

$$\frac{V_d = 3\sqrt{2}*E_{LL} * \cos\alpha + \cos(\alpha+u)}{2*\pi} \quad (1.45)$$

$$I_1 = \sqrt{6} * I_d / \pi \quad (1.46)$$

Eşitlikteki hata (1.46) $u=60^\circ$ de sadece %4.3 'tür (normal kararlı çalışmada maksimum overlap açısı) ve $u=30^\circ$ ve daha az olduğunda daha fazla pratiksel durumlar için daha düşük olabilecektir(%1.1).Ac ve dc akımlar arasındaki oranın hemen hemen sabit olduğu eşitlik (1.45) ve (1.46) 'dan görülebilir fakat ac ve dc gerimler arasındaki oran α ve u fonksiyonlarına göre değişir.Bu yüzden HVDC dönüştürücüsü ,sabit akım oranıyla değişken oranlı gerilim tansformatr gibi görülebilir.

$$P_{dc} = V_d * I_d \quad (1.47)$$

$$P_{ac} = \sqrt{3} * E_{LL} * I_1 * \cos\alpha \quad (1.48)$$

(1.47) de V_d ve I_d 'nin karşılığı yerine koyulursa ve (1.48) ile karşılaştırılırsa;

$$\cos\Phi = \frac{\cos\alpha + \cos(\alpha + u)}{2} \quad (1.49)$$

Eşitlik (1.44) ve (1.49)'dan

$$\cos\Phi = V_d / V_{do} \quad (1.50)$$

Eşitlik (1.40), (1.44) ve (1.49) 'dan,

$$V_d = 1.35 * E_{LL} * \cos\Phi \quad (1.51)$$

3.3.3 AC Akım Harmonikleri

HVDC dönüştürücüsü ac açıdan bir harmonik akım kaynağıdır. Şekil 1.14 'de gösterilen ac akım dalga formunun fourier analizi sırayla 5, 7, 11, 13, 17, 19 v.b. harmonikler ve temel harmoniği içerdiğini gösterir. Sıfır derece overlap açısı için akım bu şekilde ifade edilir

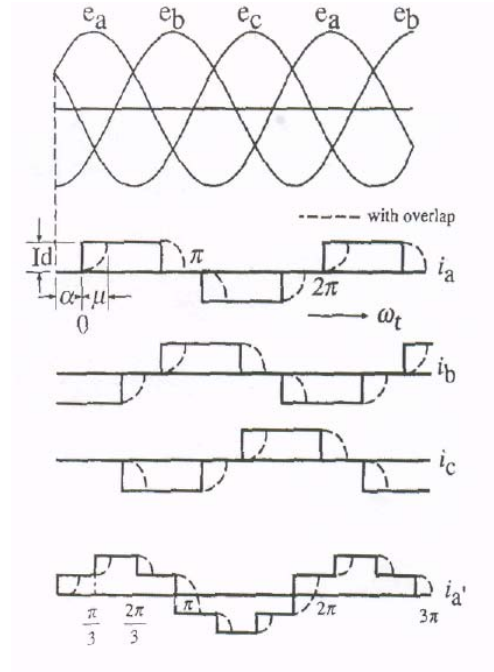
$$\dot{I}(t) = \frac{2 * \sqrt{3} * I_d}{\pi} \left(\begin{array}{l} \cos \omega t + 1/5 \cos 5\omega t + 1/7 \cos 7\omega t \\ 1/11 \cos 11\omega t + 1/13 \cos 13\omega t + \dots \end{array} \right) \quad (1.52)$$

$$I_{ho} = I_{10} / h \quad (1.53)$$

I_{ho} ve I_{10} ana ve harmonik akımlar, $\alpha=0$ ve $u=0$ 'da.

Eşitlik (1.53) harmonik genliklerin sırayla ters orantılı olduğunu gösterir.

Bir Y-Δ transformatörüyle bir faz için ac akım dalga formu dönüştürücüsü şekil 1.14'te ayrıca gösterilmiştir. Bu akımların fourier analizi, ana ve harmonik bileşenlerin Y-Y transformatör olduğu takdirde aynı genlikte olacağını gösterir. Bununla birlikte ,sırasıyla 5,7,17,19,v.b. harmonikler faz karşıtıdır,oysa sırasıyla 11,13,23,25,vb harmonikler Y-Y transformatör durumunda fazdadır.Bu yüzden sırasıyla 5,7,17,19 v.b. harmonikler 12 palslı dönüştürücüde ihmal edilecektir ve ac sistemde görülmez.Pratikte transformatör parametreleri ve dönüştürücüdeki dengesizlikten dolayı tamamen iptal edilir.



Şekil 1.14 AC Hat Dalgaları ,Y/Y Transformatörüyle i_a, i_b, i_c ve Y/Δ transformatörüyle i_a

Overlap'ın etkisi:Komütasyon açısı yüzünden overlap etkisi ,sıfır overlap etkisinden dolayı harmoniklerin genliği azalacaktır.Belirlenmiş ateşleme açısı(α) ve overlap açısı(u) genel durum için harmoniklerin genlikleri bu şekilde verilir

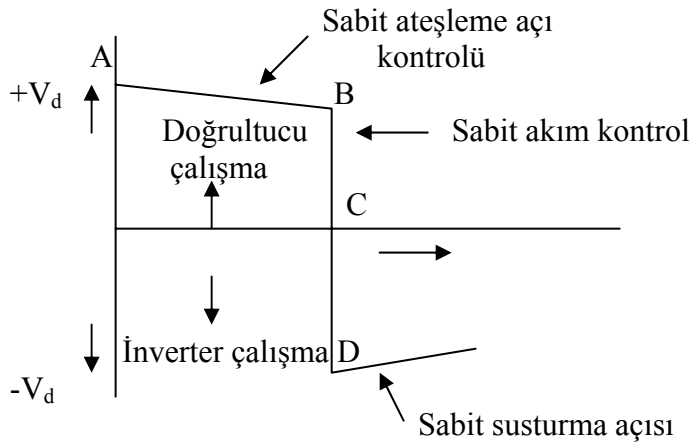
$$I_h/I_{h0} = \frac{1}{x} \left[A^2 + B^2 - 2AB \cos(2\alpha + u) \right]^{1/2} \quad (1.54)$$

$$A = \frac{\sin(h+1)u/2}{h+1}$$

$$B = \frac{\sin(h-1)u/2}{h-1}$$

$$x = \cos\alpha + \cos(\alpha + u)$$

Karakteristik Olmayan Harmonikler: Yukarıda tanımlanan harmoniklere ek olarak dönüştürücüler ,dönüştürücü çalışmasının ideal olmama durumu yüzünden diğer harmonikleri üretir.İdeal olmayan durumlara örnek olarak ,dönüştürücü ac bara gerilim dengesizliği ,anahtarlama ateşleme palslarının karışıklığı ,ac bara gerilimlerin bozulması ,ve dengesiz dönüştürücü transformatör empedanslarıdır.Bu nedenler yüzünden üretilen harmonikler karakteristik olmayan harmonikler olarak adlandırılır.Bunlar genellikle karakteristik harmoniklerle karşılaştırıldığında daha küçüktür fakat rezonanslar bu frekanslarda ac sistemde var olursa problemler yaratır.Çoğu örnekte ek filtreler ,ac sistemde harmoniklerin akışının seviyesini düşürdüğü için dönüştürücü ac barada yerleştirilmiştir.



Şekil 1.15 HVDC dönüştürücü statik karakteristiği

3.4 Dönüştürücü Kontrol

Bir HVDC dönüştürücünün statik karakteristiği şekil 1.15 'te gösterilir.Bu karakteristiğin üç ayrı özelliği vardır.

Sabit ateşleme açısı karakteristiği(A-B): Dönüştürücü sabit ateşleme açısı kontrolünde çalışıyorsa,dönüştürücü karakteristiği eşitlikle tanımlanabilir.

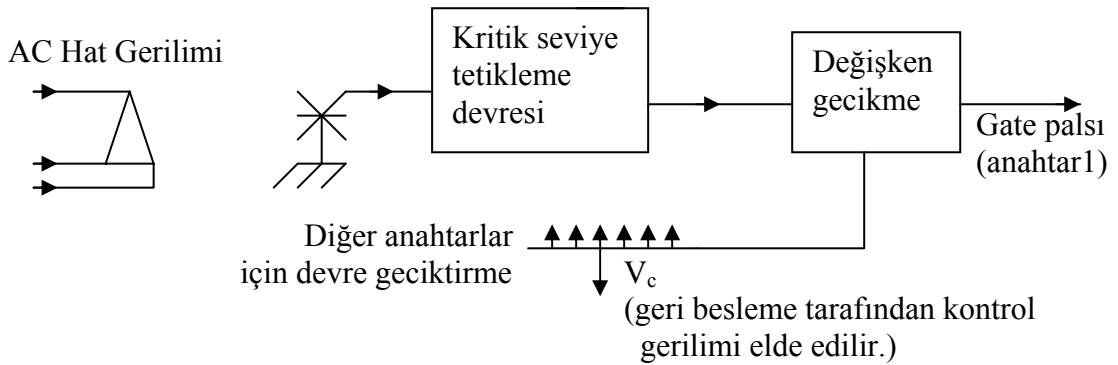
$$V_d = V_{d0} \cdot \cos\alpha \cdot \frac{3 \cdot \omega \cdot L_c}{\pi} \cdot I_d \quad (1.55)$$

Tercih edilen akım dönüştürücü dağıtımı için çok yüksek olduğunda minumum ateşleme açısında çalışacaktır.(genellikle 5 derece)Daha sonra akım V_d gerilimi ve yük tarafından fark edilecektir.Bu ayrıca doğal gerilim karakteristiği olarak tercih edilir.Bu moddaki dönüştürücü R_c iç rezistansla dc gerilim kaynağına eşdeğerdir.

$$R_c = \frac{3 \cdot \omega \cdot L_c}{\pi} \quad (1.56)$$

Sabit Akım Kontrolü:Bu doğrultucu çalışması için genel moddur.Dönüştürücü sabit akım kontrol modunda çalıştığında,ateşleme açısı istenen değerde dc akımı devam ettirmek için ayar edilir.Yük akımı herhangibir sebeple istenilen akımdan daha yükseğe giderse ,kontrol dc gerilimi azaltmak için ateşleme açısını artırır ve dönüştürücü çalışmasını B'den C'ye yönünde kaydırır. C noktasında ,ateşleme açısı 90 dereceye ulaşır (overlap açısı ihmal edilir),gerilim polarite değiştirir ,ve dönüştürücü bir inverter olur.C'den D'ye ,dönüştürücü inverter olarak çalışır.

Sabit Susturma Açısı Kontrolü: D noktasında,inverter ateşleme açısı ,daha fazla artışla komütasyon başarısızlığına neden olabilen bir noktaya artırılmıştır.Güvvenli çalışma için inverter β artışından dolayı yeterli açıyla çalıştırılmalıdır,böyle çalışma durumları altında susturma açısı γ anahtarlama iyonsuzlaştırma açısından daha büyüktür.İyonsuzlaştırma açısı ,anahtarların pozitif gerilim uygulamalarına karşı direnebildiği süreye özgü anahtarda sabit akımın sıfıra uzanmasından dolayı elektriksel derecede zaman olarak tanımlanır.



Şekil 1.16 Sabit α Kontrol

γ için tipik minumum değerleri civa yaylı anahtarlar için 15 ile 20 derece ye kadardır ve tristör anahtarları için biraz daha düşüktür. D'nin E'ye oranı boyunca ,Dc gerilimi azaltan yük akımının artışı overlap açısını arttırır .Bu inverterin negatif direnç karakteristiğidir.

HVDC dönüştürücü kontrolü için fonksiyonel talepler:

- 1.Karakteristiği olmayan harmoniklerin üretimini minimize etmek
- 2.Ac gerilim oransızlığıyla mümkün olan enaz komütasyon başarısızlığıyla güvenli inverter çalışması
- 3.Reaktif gücün enaz olasılıkla tüketilmesi .Komütasyon başarısızlığı riskini arttırmaksızın susturma açısı γ ve mümkün olan en küçük gecikme açısı α ile istenilen çalışma
- 4.Akım kontrolünden susturma açısı kontrolüne düzgün geçiş
- 5.ac sistem kısa devre gücün oranı ve dc güç oranı düştüğündeki (kısa –devre oranı) zaman cevabı ve yeterli denklik marjinler

3.4.1 Tek-faz Kontrol

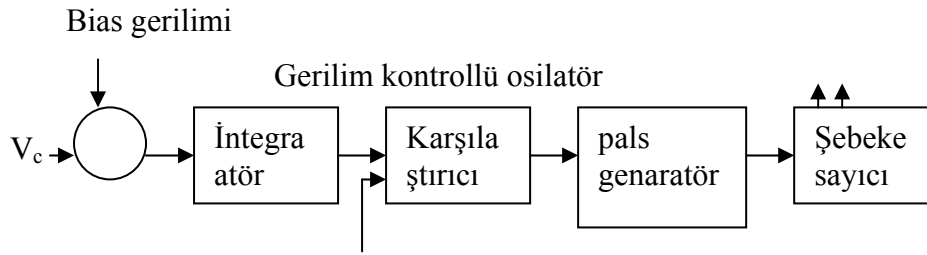
Eskiden HVDC sistemlerinde tek faz kontrol sistemleri kullanılırdı. Her anahtarın ateşleme açısı teker teker hesaplanırdı ve sabit α ve sabit γ olarak çalıştırılırdı. Tek faz kontrol sisteminin şematığı şekil 1.16 da gösterilir. Altı zamanlama gerilimleri ac bara geriliminden çıkarılır ,ve altı şebeke palsları, sonraki gerilim –sıfır geçişlerine nominal aynı zaman gecikmelerinde üretilir. Gecikmeler serbest gecikme devreleri tarafından üretilir ve sabit dc hat akımını veya sabit gücü kontrol etmek için geribeslemeden çıkartılan bir ortak doğru gerilim V_c tarafından kontrol edilir. Bu kontrolün birçok çeşidi 1960 'ların sonlarına kadar kullanılmıştır.

Tek faz kontrolün dezavantajları: Değişken ac bara gerilimleriyle ,ateşleme palsları dengesiz zamanlara yol açacak ,bunedenle ac akımlarda karakteristik olmayan harmonikler olacaktır. Bu sırasıyla ac bara gerilimlerini daha fazla değiştirecektir. Bu yöntem ,düşük kısa devre kapasitesinin (yüksek empedans sistemi)ac sistemlerle özellikle karasız harmoniklere neden olabilir. Kontrol sisteminin filtrelenmesi bu problemin çözümü için uğraşır. Bununla birlikte ,filtreler komütasyon başarısızlıkları için potansiyeli arttırır ve ayrıca ac sistemde bozulmalar ve arızalar için kontrol sistem cevabının hızını düşürür.

3.4.2 Eşit Pals Zamanlama Kontrolü

Bir kontrol sistemi ,1960'ların sonlarında geliştirilen ac bara gerilimlerinin bağımsız 60 derece aralıkta ateşleme palslarının eşit zamanlaması üzerine kurulmuştur.Şekil 1.17 'de gösterilen sistemin temel bileşenleri gerilim kontrollü osilatör ve şebeke sayacından oluşur.Osilatörün frekansı dc kontrol gerilimi V_c ile doğru orantılıdır.Sürekli durum şartları altında ,pals frekansı ac sistem frekansı olan yerde kesinlikle $6f$ 'tır.Her şebeke palsının fazı ac bara gerilimi için bazı nisbi değerlere sahip olacaktır.Eğer üç faz ac bara gerilimi bozulma olmaksızın simetrik sinüs dalga ise , α bütün anahtarlar için aynıdır.Osilatör sızıntı akımından korunmak için ac sistem frekansı ile faz kilitlemeli olacaktır.Dc kontrol gerilimi V_c sabit akım ,sabit güç ve sabit susturma açısı γ için geribeslemeden çıkarılır.

Günümüz projelerinde kullanılan kontrol sistemleri dijital tabanlıdır ve önceki versiyonlardan daha fazla deneyimlidir.



Şekil 1.17 Eşit pals zamanlama kontrolü

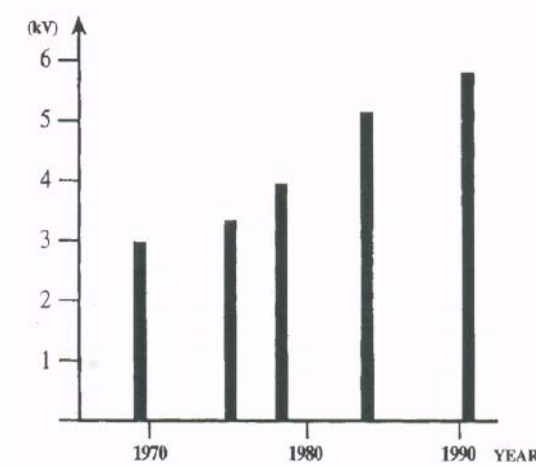
3.5 Gelişmeler

Son yirmi veya otuz yıl süresince ,HVDC teknolojisindeki çoğu gelişmeler HVDC iletiminin uygulanabilirliğini geliştirmede yer almıştır.1970'lerden önce civa arklı anahtarlar dc'den ac'ye veya ac'den dc'ye dönüştürmek için kullanılıyordu.Bunlar sık sık geriatlama frekanslarını içeren birçok problemi vardır.Geriatlama ters yönde iletimi engellemek için anahtarın başarısızlığıyla sonuçlanan rastgele bir olaydır.Bu çalışmanın doğrultucu modunda daha yaygındır.Doğrultucu çalışmasında ,anahtar her peryodun yaklaşık üçteikisi için ters gerilime maruz bırakılır.Geriatlamalar ,faz-faz kısa devrelerinde ve transformatör dönüştürücünün konusu olan üç-faz kısa devrelerde ve şiddetli etki için anahtarlarda meydana gelir.

3.5.1 Tristörler

Tristör anahtarları ,civa ark anahtarlarının tamamen yerini aldıklarından beri ,1970 'lerin başında HVDC iletim için ilk olarak kullanılmıştır.Civa ark anahtarlardan daha fazla etkisini sürdüren tristör anahtar ,dönüştürücünün bir kolundan istenilen gerilim ve akım kapasitelerini elde etmek için birçok tristörün seri ve paralel bağlantısının montajını yapmak için kullanılır.HVDC dönüşüm istasyonunda ilk test tristör anahtarı ,1967 'de Gotlan adasındaki Ygne dönüştürücü istasyonunda civa ark anahtarlarının yerine kuruldu.(Tablo 1.4'te Gotland I görülür.)1972 'de kurulan New Brunswick'teki Eel nehri ard arda istasyonu,Kanada,ilk tristör HVDC dönüştürücü istasyonudur. Tristörlerin akım ve gerilim kapasiteleri son yirmi yıldan fazladır sürekli artmaktadır.Şekil 1.18 1960'lerden günümüze kadar tristörlerin maksimum tıkayıcı gerilimlerini gösterir.Akım kapasiteleri ayrıca bu peryotta 1'den 4 kA'e kadar arttırılır.Arttırılan akım kapasitelerinin bazıları ,geniş çaplı silicon waferlar (genellikle 100mm çaplı) ve geliştirilen soğutma sistemleriyle başarılı.enilk projelerde hava soğutmalı tristörler kullanıldı .Su soğutmalı tristörler günümüz projelerinin çoğunda kullanılır.

Diğer son gelişmeler doğrudan ışık tetiklemeli tristörler ve gatinden kesime sokulabilen



Şekil 1.18 Maksimum tıkama gerilim gelişmeleri

tristörlerdir(GTO).GTO tristörler zayıf ac sistemlere HVDC dönüştürücülerin bağlantısı için bazı avantajlara sahiptir.Şuanda 4.5 kV ve 4 kA daha yukarı oranlarda elde edilebilir fakat HVDC sistemlerde hala daha uygulanmamaktadır.

3.5.2 DC Devre Kesicileri

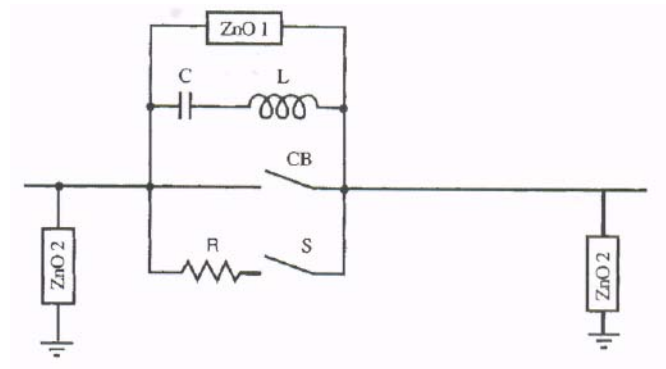
Ac sistemlerde akımı kesmek için ,ac akımda her yarım peryotta sıfır geçişlerinde veya 60-Hz 'lık sistemde yaklaşık her 8ms'de yapılır.Dc 'de normal sıfır akım geçişleri olmadığından bir dc devre kıyıcısı yapmak zordur.Dc devre kıyıcı dizaynında üç temel problem vardır:

- 1.Kesme elamanında sıfır akım zorlanması
- 2.Bir aşırı indüktif devrede büyük di/dt 'nin neden olduğu aşırı gerilimlerin kontrolü
- 3.Enerjinin büyük miktarının yok olması(megajoule'ın ondabiri)

İkinci ve üçüncü problemler kesici elemanın üzerine ve hat ile toprak arasına bağlanmış ZnO varistorlarının uygulanmasıyla çözülür.İlki büyük problemdir ,ve birçok farklı çözüm farklı imalatçılar tarafından uygulanır.Temelde ,sıfır akım devreye bir zıt gerilim bağlantısıyla elde edilir.

Şekil 1.19'da gösterilen devrede,CB 'nin açık olması (hava balastlı devre kıyıcı) ,paralel LC devreye çevrilen akıma neden olur.Akım çevirici devre ,kıyıcı devrede sıfır akımlara yolaçan osilasyonlara yolaçacaktır.CB 'nin açık olması iletimin girişinde ZnO₁ tarafından limitlenecek akım çevirici devrede gerilimi yükseltir.R direnci S anahtarıyla seri olan kapalı dirençtir.

Hızlı dömüştürme kontrol cevabı akımı çabukca sıfıra getirdiğinden beri dc kıyıcılara ihtiyaç olmayan bir iki çıkışlı dc sistem için verilmiştir.Çok çıkışlı sistemlerde ,dc kıyıcılar çalışmaya ek rahatlık sağlayabilir.Çok çıkışlı dc sistemler ,şimdiye kadar dc kıyıcılarla çalıştırılmamıştır.



Şekil 1.19 DC devre kıyıcı (bir modeli)

3.6 Tanımlayıcı Terimler

Asenkron ac sistemler:Farklı çalışma frekanslarında veya senkronize olmayan ac sistemler

Tekkutup:Biri pozitif ve diğeri negatif polariteli ,iki iletkenli dc sistemler .Örneğin ,bir tekkutbun gerilim kapasitesi $\pm 100 \text{ Kv}$ olarak ifade edilir.

Komütasyon: Bir anahtardan diğesine akım geçiş yolu

Komütasyon açısı(overlap açısı):Komütasyon yönteminin başlangıcından tamamlanmasına kadar elektriksel derece olarak süre

Susturma açısı: Bir anahtarın sıfıra yaklaşması durumundaki sabit akımdan (iletimin sonu) anahtar geriliminin işaret değiştirdiği süreye kadarki elektriksel derece olarak süre dir ve pozitif olur.

Ateşleme açısı(gecikme açısı):Sabit anahtarlama gerilimi pozitif olmasından anahtara ateşleme palsının uygulanmasına kadarki elektriksel derece olarak süre (iletim başlangıcı)

Dönüştürücünün pals sayısı:Ac gerilimin devir başına dc gerilimdeki dalgalanma sayısı Üç-faz iki köprü bir altı pals dönüştürücüdür

Tristör anahtarı:Dönüştürücünün bir kolundaki istenilen akım ve gerilim kapasiteleri elde etmek için birçok tristörün seri ve paralel bağlantısının toplanması

İlişkin Konu

30.2 Güç dönüşümü

3.7 Kaynaklar

J.D. Ainsworth , 'faz kiltlemeli osilatör:Kontrollü statik dönüştürücü için yeni kontrol sistemi

A.Ekstrom ve L.Eklund , 'HVDC tristör anahtar gelişmesi'

K.R.Padiyar, 'HVDC güç iletim sistemleri'

R.S.Thallam ve J.Reeve, 'AC ve DC güç sistemleri arasındaki harmoniklerin dinamik analizi'

3.8 Ek Bilgi

Kaynaklar altında örneklenen üç ders kitabı daha fazla okuma için mükemmeldir. IEEE(USA) ve IEE(UK) de iletimi hakkında konferanslar yapmıştır. En son IEEE konferansı Montreal 'da 1984 'de yapılmıştır ve IEE konferansı Londra'da 1991 'de yapılmıştır. Raporlar bu organizasyonlardan elde edilebilir.

4. Kompanzasyon

Mohamed E. El-Hawary

Kompanzasyon ifadesi elektrik güç sisteminde istenilen etkiyi başarmak için kapasitif veya indüktif reaktif güç üreten aletlerin isteyerek devreye sokulmasını tarif etmek için kullanılır. Etkiler geliştirilmiş gerilim profilleri, kararlı performansı devam ettirmek ve geliştirilmiş iletim kapasitesi içerir. Aletler güç sisteminde özel noktalarda şönt veya seri olarak bağlanırlar.

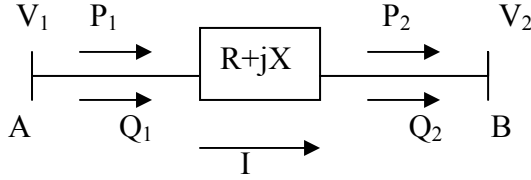
Örnek amacıyla ,bağlantı empedansı $R+jX$ olan şekil 1.20 'deki devreyi gözönüne alalım ,ve $V_1 > V_2$ ve V_1 'den V_2 'ye doğru olduğu kabul edilsin. Sıfır R için ve geri yük akımı I için uygun fazör diyagramı şekil 1.21 'de gösterilmiştir. Şebekedeki iki düğüm arasındaki skaler gerilim arasındaki yaklaşık ilişki ve reaktif güç Q 'nun akışı bu şekilde gösterilebilir. (Weedy, 1972)

$$\frac{\Delta V}{V_2} = R \cdot P_2 + X \cdot Q_2 \quad (1.57)$$

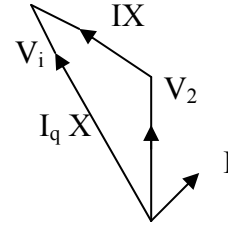
Çoğu güç devrelerinde $X \gg R$ ve gerilim farkı ΔV Q 'yu tayin eder.

Güç ve reaktif gücün akışı $V_1 > V_2$ ve V_1 'den V_2 'ye doğru olduğu zaman A'dan B'ye doğrudur. Q çoğu kez $V_1 - V_2$ tarafından belirlenir. Reaktif gücün yönü $V_2 > V_1$ yapılmakla ters edilebilir. Genişçe reaktif bağlantıda bir skaler gerilim farklılığı oluşursa bu durum görülebilir ,reaktif güç düşük gerilim düğümüne akar .bu görüşe alternatif açıdan bakıldığında elektrik şebekesinde bir noktada reaktif güç açığı varsa ,bu açıklık diğer devreden sağlanmalıdır ve bu yüzden bu noktadaki gerilim düşer .Elbette ,üretilen reaktif güç fazlalığı

gerilim artışına sebep olacaktır. Bu, o noktadaki uygulanan reaktif güç tarafından desteklenen gerilimi sağlamak anlamına gelir.



Şekil 1.20 Bir bağlantı tarafından iki düğümlü bağlantı



Şekil 1.21 Şekil 1.20 'de gösterilen sistemin fazör diyagramı

$R=0$, $P_1=P_2=P$ ile bağlantının reaktif olduğu anlaşılır. O halde, A noktasından B noktasına transfer edilen aktif güç aşağıdaki gibi gösterilebilir. (El-Hawary, 1995)

$$P = P_{\max} \sin \delta \quad (1.58)$$

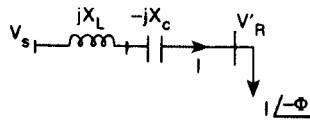
Maksimum güç transferi $P_{\max}$;

$$P_{\max} = \frac{V_1 \cdot V_2}{X} \quad (1.59)$$

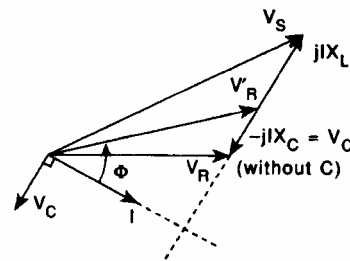
Eşitlikte (1.59) tanımlanan güç taşıma kapasitesi V_2 arttırıldığında artacağı açıktır.

4.1 Seri Kapasiteler

Seri kapasiteler Şekil 1.22 'de gösterildiği gibi güç devresinin indüktif reaktans etkisini nötralize etmek için uygulanır. Şekil 1.23 'ün fazör diyagramından yük gerilimi kapasite koyulduğunda kapasitesiz durumdan daha yüksek olduğunu görürüz.



Şekil 1.22 seri kapasitelerle hat



Şekil 1.23 Şekil 1.22'ye uygun fazör diyagramı

Tanıtilan seri kapasiteler ,devre iletim kpasitesinin artmasıyla (1.59'dan X'teki azalmayla) ve devredeki düzeltilmiş gerilim durumları gibi kararlı performansları sağlamakla elde edilir.Ayrıca aşağıdaki gibi diğer açılardanda önemlidir:

- Reaktif güç dengesini kontrol etme
- Yük dağıtımı ve aşırı iletim kayıplarının kontrolü

Seri kapasite kompanzasyonu ,çevresel açıdan avantajlı olan eklenen iletim kapasiteleri sayesinde havai hatlara ek olarak yatırımları geciktirir.

Dünya çapında ilk seri kapasite tesisatı 1928'de işletmeye koyulan New York Güç& Aydınlatma sisteminde 33-Kv ve 1.25 –MVAR 'lık gruptur.Buzamandan beri ,daha fazla yüksk kapasiteli ,daha yüksek gerilim tesisatları Amerika,Kanada,İsveç,Brezilya ve diğer ülkelerde kurulmuştur.

Devrenin indüktif raktansının azaltılması kompanze edilmemiş devrenin kısa devre akım seviyesini arttırır.Kapasitelere zarar verebilen sıcaklığın aşırı gerilimleri arttırdığından beri böyle büyük kısa devre akımlara karşı seri kapasitelerin patlamasını önlemek için gerekli tedbirler alınmalıdır.Özellikle kalibre edilmiş kıvılcım boşlukları ve kısa devre anahtarları kapasiteler zarar vermekten kaçınmak için önceden belirlenen süre aralığında açılmalıdır.

Elektriksel rezonansta seri kapasiteli kompanze edilmiş bir ac iletim sistemi ve burulan mekaniksel rezonanstaki bir türbin genaratör mekaniksel sistemi arasındaki etkileşim alt senkron rezonans olayı ile sonuçlanır(SSR).Enerji sistemin senkron frekansı altında birleştirilmiş sistemin bir veya daha fazla doğal frekansında mekaniksel ve elektriksel sistem ler arasındaki değişimdir.Mekaniksel osilasyonların sonuçları mekaniksel başarısızlık olmadıkça artabilir.

SSR 'yi yoketmek için kullanılan teknikler aşağıdakilerini içerir:

- Ek uyarma kontrolü:Altsenkron akım ve/veya gerilim bulunur ve uyarma akımı altsenkron osilasyonlarını sayan genaratör çıkış gerilimini değiştirmek için kullanılan yüksek kazançlı geri besleme ayarlanır.

- Statik filtreler: Bunlar her ana genaratörün her fazıyla seri olarak bağlanırlar. Filtreler güç sistem frekansına ve osilasyonların sorunlu makine doğal modlarına uygun olarak frekanslar ayarlanır.
- Dinamik filtreler: Uyarma akımına benzer bu yöntemde ,altsenkron osilasyon bulunur ve zıt emf bir tristör dönüştürücüsü veya buna benzer aletlerle üretilir ve seri transformatörle güç hattına injeksiyon yapılır.
- Yardımcı seri kapasiteler :Geçici tork cevabını sınırlamak için
- En yeni tampon projeleri seri kapasite gerilimini yarı peryot boyunca ölçmeye dayanır ve eğer bu peryot setlenmiş değeri aşarsa ,kapasitenin yükü iki karşılıklı paralel tristör sayesinde kapasiteye seri bağlı bir direnç üzerinden boşalır.
- Bir pasif SSR sayaç ölçücü tasarımı (1990'da Edris düşündü) üç fazda indüktif ve kapasitif elamanların üç farklı kombinasyon kullanılmasına yolaçar. Kombinasyonlar güç frekansında üç faz için kapasitif kompanzasyonunu istenilen aynı dereceye getirecektir. Herhangi diğer frekansta ,üçlü kombinasyonlar üç fazda eşit olmayan reaktanslar olarak ortaya çıkar. Bu durumda ,asenkon osilasyonlar genaratörün armatür sargılarında simetrik olmayan üç faz akımlar çıkaracaktır. Bu düşük genlikte sirküler bileşenle bir mmf üretir ,eğer akımlar simetrik olursa uygun bileşenle karşılaştırılır. Geliştirilen etkileşimli elektromanyetik tork daha düşük olacaktır.

4.2 Senkron Düzenleyiciler

Bir senkron düzenleyici mekaniksel yük olmaksızın çalışan bir senkron motordur. Uyarmanın değerine bağlı olarak ,reaktif güç üretir veya soğurur. Kayıplar statik kapasitelerle karşılaştırılır. Bir gerilim regülatörüyle kullanıldığında ,düzenleyici düşük yük akımında düşük uyarımlı ve aşırı yük akımında aşırı uyarımlı olarak otomatikmen çalışır. Senkron düzenleyicilerin tesisat maliyeti kapasitelere göre daha düşüktür.

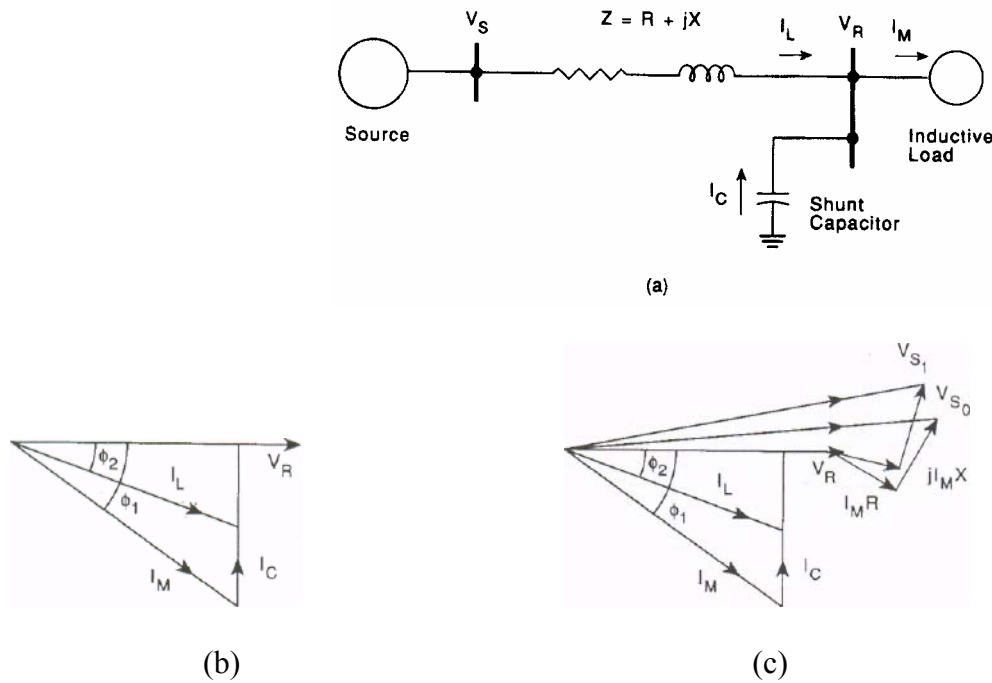
4.3 Şönt Kapasiteler

Şönt kapasiteler aşırı uyarımlı senkron kondansatör, genaratör veya motor olarak aynı etkiyle bağlandığı noktada sisteme kapasitif KVAR sağlamak için kullanılır. Şönt kapasiteler indüktif yük tarafından istenilen akımın faz dışı etkilerini gidermek için kullanılır. Onlar yük periyodu boyunca devamlı veya anahtarın açılıp kapanmasıyla enerjilenir.

Şekil 1.24(a) yük esnasında uygulanan şönt kapasite kompanzasyonu ile bir basit devre gösterilmiştir. Hat akımı I_L , motor yük akımı I_m ve kapasite akımı I_c 'nin toplamıdır. Şekil 1.24 akım fazör diyagramından ,hat akımı şönt kapasitesinin ilavesiyle azaldığı açıkça görülür. Şekil 1.24(c) uygun gerilim fazörlerini gösterir. Şönt kapasitenin etkisi kaynak gerilimini V_{so} 'dan V_{s1} 'e düşürür.

Yukarıdaki sebeplerden ,şönt kapasiteler geri güç faktörünün aşağıdaki etkileri yüzünden verilen yük devresindeki bir noktada uygulandığı açıkça görülür:

- Yükte gerilim seviyesini yükseltmek
- Kapasite birimleri gereği gibi anahtarlanırsa gerilim regülasyonunu geliştirmek
- Akımdaki düşüşten dolayı sistemdeki I^2X KVAR kaybını ve I^2R kayıplarını azaltmak



Şekil 1.24 (a)Şönt kapasite kompanze edilmiş yük;(b)akım fazör diyagramı ;(c)gerilim fazör diyagramı

- Kaynak genaratörün güç faktörünü arttırmak
- Kaynak genaratörlerde KVA yüklenmeyi düşürmek , eğer yük kapasitesi uygunsa aktif güç yüklenmeye ek olarak genaratörler üzerine yüklenebilir
- Güç çekildiğinde talep edilen KVA azaltmak
- Uygulanan yükün KW başına düşen sistem aletlerindeki yatırımları azaltmak

Büyük motorların kalkış anındaki akan yüksek akımları azaltmak için ,kapasite kalkış sistemi uygulanır.Bu sistemin hertarafında uygun gerilim seviyesini devam ettirir.Normal reaktif kalkış akımının yüksek indüktif bileşeni sadece başlangıç peryodu boyunca motor devresine kapasitelerin eklenmesiyle dengeye getirilir.Bu motor güç faktörünü düzeltmek için uygulanan kapasitelerden farklıdır.

Gerilim kontrolü için kullanıldığında, Şönt kapasitelerin faaliyeti reaktif gücün gerilimin karesiyle değiştiğinden beri senkron kapasitelerden farklıdır ,Oysa senkron makine ani gerilim değişikliği için yaklaşık olarak sabit KVA 'ı devam ettirir.Senkron kondansatörler sistem gerilimlerine karşı büyük ölçüde değişmez etki yapar.Senkron kondansatörlerin kayıpları kapasitelerden daha fazladır.

Şönt kapasitelerin istenilen miktarı belirlendiğinde ,gerilim yükselişi transformatör ve motorların uyartım akımlarında geri KVAR arttırdığından beri ,kapasitesiz ilk durum temel alınarak yukarıdaki bazı ilave kapasiteler istenilen düzeltmeyi sağlamak için tercih edilir.Eğer yük senkron motorlar içeriyorsa mümkün olduğunca motorların alan akımını arttırmak için tercih edilebilir.

Aşağıdaki şönt ve seri kapasitelerin göreceli değerleridir:

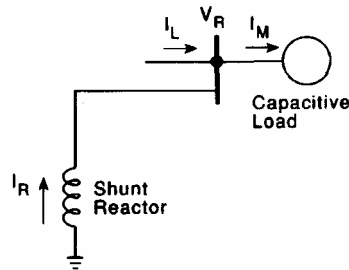
- Toplam hat reaktansı yüksekse ,seri kapasiteler daha etkilidir.
- Gerilim düşüşü limit seviyedeysen ,seri kapasiteler daha etkilidir;ayrıca ,gerilim gerilim dalgalanmaları düzensizleşir.
- Yükn reaktif güç talebi küçükse ,seri kapasite daha düşük değerdedir.
- Termik nedenler akımı sınırlıyorsa ,seri kapasiteler hat akımındaki azalma küçük olduğunda daha küçük değerde olacaktır.

Bir güç sisteminde harmonik üreten cihazlarla uygulanan kapasiteler ,uyartılmış harmonik rezonans durumunun potansiyeli gözönünde bulundurulması istenir.Seri ve şönt durumunun herikiside olabilir.Gerçekte kompanzasyon kapasitelerinden yararlanan elektriksel sistemler , ,eğer rezonans noktası sistemde harmonik kaynaklar tarafından üretilen frekanslardan birinin kapalı olmasıyla oluşursa herikisinin kombinasyonu veya rezonansın herhangibir tipinde meydana gelebilir.Sonuç aşırı harmonik fazla gerilimlerin ,harmonik akımların aşırı değerlerinin veya her ikisinin akışıyla olabilir.Bunun mümkün etkileri aşırı kapasite sigorta çalışması,kapasite başarısızlığı,digğer elektrik aletinin aşırı ısınması veya telefon parazitleridir.

4.4 Şönt Reaktörler

Şönt reaktör kompanzasyonu şönt kapasite kompanzasyonunun ihtiyaç duyulduğu durumlar altında kullanılır.(şekil 1.25)Şönt reaktörler aşağıdaki durumları iyi etmek için kurulur.

- Hatların kapasitesinin sonucu olarak uzun hatlar boyunca servis yapan istasyonlarda düşük yük peryotları boyunca oluşan aşırı gerilimler
-



Şekil 61.25 Şönt reaktörlü kompanze edilmiş yük

- Sabit –durum değişmez limitlerde üretilen aletlerin güç faktörünü kontrol etmek için düşük alan akımı ve makinenin iç gerilimi tarafından oluşturulur.
- Yük altında hattı açık devre yapmak, uygun üretim kapasitesinin aşılmasıyla ekstra yüksek gerilim sistemlerinde tercih edilir.

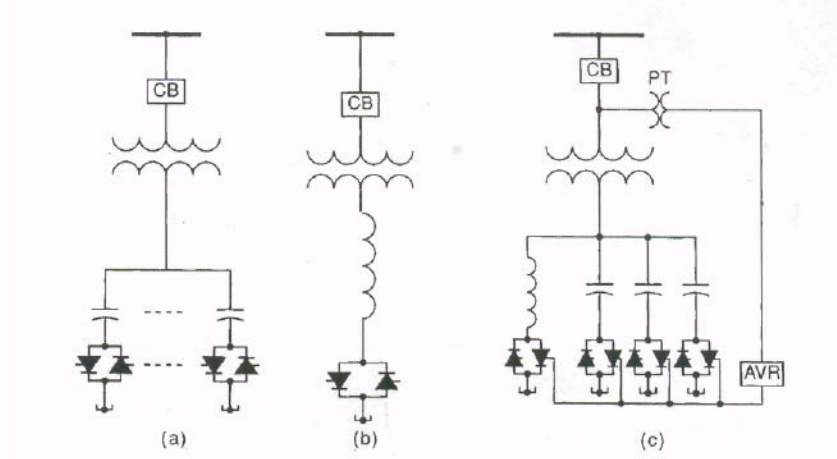
4.5 Statik VAR Düzenleyiciler(SVC)

Güç sistem uygulamaları için tristör teknolojisiindeki avantajlar statik var düzenleyicilerin gelişmeleri ile sonuçlanır.(SVC)Bu aletler standart şönt elemanlarını içerir fakat tristörler tarafından kontrol edilir.

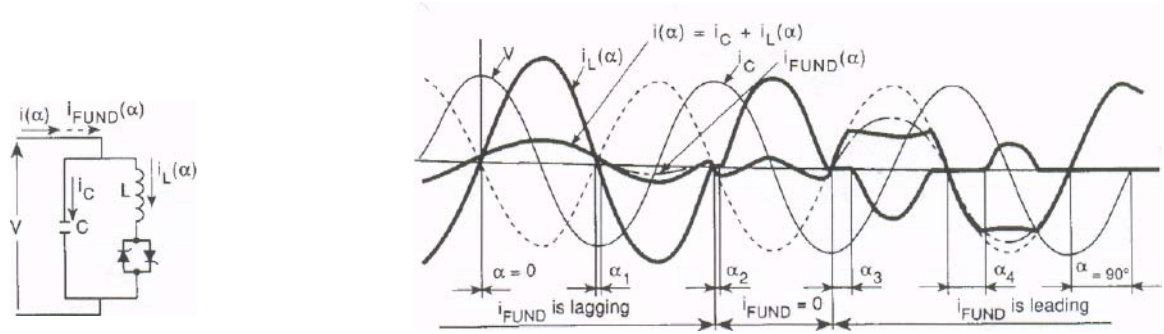
Statik VAR düzenleyiciler pratik güç sistemlerinde normal kompanzasyon problemlerinin iki tip çözümü vardır.İlki geniş ölçüde reaktif güç talebini yokeden veya azaltan ve ark fırınları gibi endüstriyel yük dalgalanmaları ve ac hatlarda yük çekimini dengeye getiren yük düzenleyicisidir.Ağır endüstriyel yüklerin bu tipleri bir tesiste toplanır ,bir şebeke çıkışından hizmet verir ve bu yüzden aynı terminale bağlanan bir lokal düzenleyici tarafından kullanılır.Düzenleyicinin ikinci tipi üretim ve yükün her ikisinin kesilmelerine cevap olarak verilen çıkışta iltim hatlarının gerilim desteği ile alakalıdır.Gerilim desteği reaktif güç verimi ve SVC reaktansının hız kontrolü tarafından sağlanır.Dinamik VAR kompanzasyonunun ana hedefi ,ac güç sisteminin kararlılık limitini arttırmak ,yük değişimleri süresince çıkış gerilim dalgalanmalarını azaltmak ve büyük kesintilerden sonra oluşan aşırı gerilimleri sınırlamaktır.SVC aslında tristör kontrollü reaktif güç aletleridir.

İki temel tristör kontrollü reaktif güç makine konfigrasyonu:

- Tristör anahtarlama şönt kapasiteler(TSC):Amaç yeterince küçük kapasite kademelerinde kapasite grubunu ayırmak bu kademeleri teker teker açmak veya kapamak.Şekil 1.26(a) TSC 'nin şemasını gösterir.Gerçekte geçici halin olmadığı basamak kontrolünü ve harmoniklerin olmadığını gösterir.Regülatörden gelen bir emri yerine getirmek için ortalama gecikmesi bir yarı peryottur.
- Tristör anahtarlama şönt reaktörler(TCR): Bu tasarıda reaktör nedeniyle oluşan ana frekans akım bileşenleri akımın doğal sıfır geçişlerine göre tristör anahtarının kapama gecikmesi tarafından kontrol edilir.Şekil 1.26(b) TCR 'nin şemasını gösterir.Harmonik akımlar faz açısı kontrollü reaktör tarafından üretilir.



ŞEKİL 1.26 Temel statik VAR düzenleyici konfigürasyonları. (a) Thyristor-anahtarlama şönt kapasiteler (TSC); (b) thyristor-anahtarlama şönt reaktörler (TSR); (c) TSC/TSR



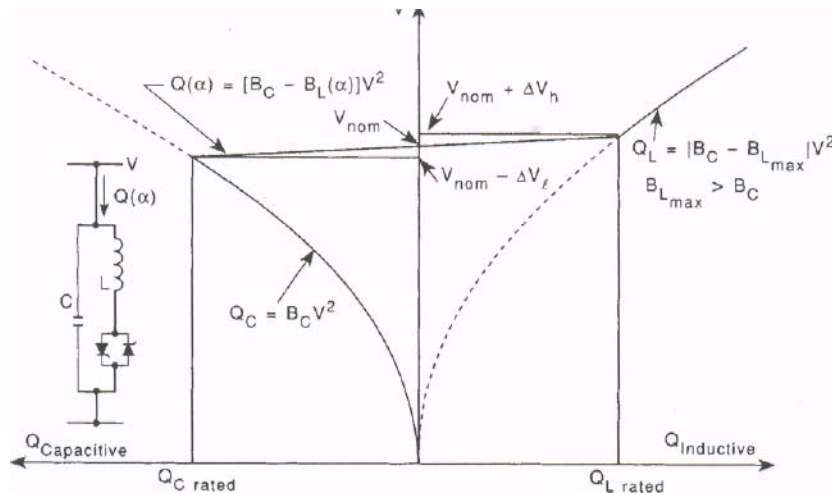
Şekil 1.27 Sabit kapasiteli .tristör kontrollü reaktör tip düzenleyici ve birleştirilmiş dalga formu

Harmoniklerin büyüklükleri iki metod kullanarak azaltılabilir.İlki,reaktörü sadece bir basamak faz-açı kontrolü olduğu zaman çok küçük basamaklara ayırmaktır.Diğer reaktör basamakları aktif veya pasif durumdan biridir.Bu bütün harmoniklerin genliklerini azaltır.İkinci metod bir yıldız bağlı ikincil sargıdan çalıştırılan ve diğeri yardımcı transformatörünün üçgen bağlı sargılarında çalıştırılan iki özdeş bağlı tristör kontrollü reaktörün 12 palslı düzenlenmesini gerektirir.TCR birimleri sürekli kontrol ile karakterize edilebilir ve regülatörden gelen bir komutu yerine getirmek için maksimum bir yarım peryot gecikme yapar.

Birçok uygulamada SVC 'nin düzenlenmesi şekill.26(c)de gösterildiği gibi bir veya iki tristör kontrollü reaktör ve tristör anahtarlama kapasitelerin birkaç büyük basamağından oluşur.Aşağıdakiler bazı pratik tasarımlardır.

4.5.1 Sabit Kapasiteli ,Tristör Kontrollü Reaktör Tasarımı (FC-TCR)

Bu tasarı başlangıçta ark fırın'flicker'kontrolü gibi endüstriyel uygulamalar için geliştirilmiştir.(Gyugyi ve Taylor,1980)Esasında bir sabit kapasite ile paralelindeki bir TCR(gecikme açısı α tarafından kontrol edilen) den oluşur.Şekil 1.27 bir temel sabit kapasite,tristör kontrollü reaktör tipli düzenleyici ve birleştirilmiş dalga şekillerini gösteririr.Şekil 1.28 bir statik VAR düzenleyicinin çıkış gerilim karakteristiğine karşı sabit durum reaktif gücü gösterir.Şekilde, B_C C kapasitesinin admitansının imajinel kısmı ve B_L gecikme açısı α 'da L reaktörünün eşdeğer admitansının imajinel kısmıdır.Uygulanan gerilim ve çıkış gücü VAR arasındaki ilişki regülasyonun gerilim bandı üzerinde linerdir.Pratikte ,sabit kapasite güç sistem frekansında istenilen kapasitif reaktansı olan bir şebeke filtresi tarafından değiştirilir fakat rahatsız edici harmonikleri yok etmek için seçilen frekanslarda daha düşük empedans gösterir.



Şekil 1.28 Statik VAR Düzenleyicinin sabit durum reaktif güç çıkış gerilim karakteristiği

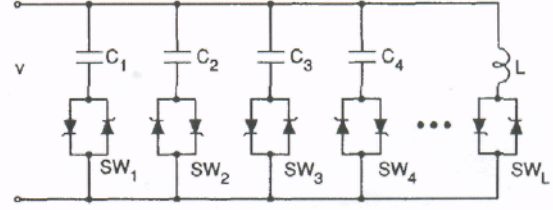
Geniş kesilmeler altında düzenleyicinin FC-TCR tipinin cevabı ve davranışı enazından kesilmenin ardından ikl birkaç peryot boyunca kontrol dışıdır.Neticelenen geilim geçici durumları ,güç sistem empedansı ve sabit kapasiteler tarafından belirlenir.Bu aşırı gerilimler ve rezonans problemleriyle sonuçlanır.

Sıfır VAR talebinde kapasitif ve reaktif VAR eşit etkidedir fakat kapasite grubunun akımı tristör anahtarı üzerinden reaktör grubundan geçerek dolaşır.Sonuç olarak bu konfigrasyon

yük kayıplarının (yedek düzen) olmamasına izin verir .Kayıplar kapasitif VAR gücünü arttırmakla azalır ve diğer taraftan indüktif VAR çıkış gücünü arttırmakla artar.

4.5.2 Tristör Anahtarlama Kapasite ,Tristör Kontrollü Reaktör(TSC-TCR) Tasarımı

Bu hibrit düzenleyici ,FC-TCR düzenleyicilerin (düşük karakteristik ve geniş kesilmeler altında davranışı) dezavantajlarını yenmek için yararlı uygulamalar geliştirildi.Şekil 1.29 düzenleyicinin temel devresini gösterir.bu ,tristör kontrollü reaktör grubundan (veya gruplarından) ve



Şekil 1.29 Temel tristör-anahtarlı kapasite, tristör anahtarlı reaktör-tipli düzenleyici

ters paralel bağlı tristör çiftinin birleşmesinden oluşan sıvı seviye anahtarlarıyla seri bağlı kapasite grubundan oluşur.Reaktörün anahtarı ,reaktör içindeki akımı sıfırdan maksimum kapasite akımına kadar sürekli kontrolünü yapabilen ters –paralelbağlı –tristör çiftinden oluşur.

Toplam kapasitif mesafe ,düzenleyicideki kapasite grubunun sayısı n'in ,çalışma mesafesi n'e bölünmesidir.Bir grup kapasite ilk mesafede durum değiştirir ve aynı zamanda TCR grubu içindeki akım kapasiteden bileşke VAR çıkış gücü için ayarlanır ve reaktör VAR talebini denkleştirir.i'inci mesafede çıkış gücü ,i'inci kapasite grubunun anahtarlanmasıyla

$[(i-1) \text{ VAR}_{\max} / n]$ mesafesinde n $[i \text{ VAR}_{\max} / n]$ 'e kadar kontrol edilebilir ve fazla kapasitif VAR 'ı yoketmek için TCR bankı kullanılır.Bu tasarım,reaktör grubunun kapasitesini bir dereceye kadar küçük tutabilen FC-TCR 'yi gözönünde bulundurur ve kapasite grubunun değerini normal kontrol mesafesinde reaktör grubunu çalıştıracak şekilde kademe azaltarak değiştirir.Sıfır VAR çıkış gücünde TSC-TCR düzenleyicinin kayıpları aslında düşüktür ve VAR çıkış gücü oranında artar.

Sistemdeki mekanizma bir kapasite/reaktörün anahtarlanması yüzünden sistem geriliminde değişikliğin bir sonucu olarak açıklanabilir.Genaratörlerin elektriksel çıkış gücü ,yük güç talebinin değişimi ve güç taşıma yeteneğinin değişmesi yüzünden derhal değiştirilebilir

Güç sistemi için SVC 'nin eski uygulamaları arasında Olwegard 'da tartışıldığı gibi İskandinavya sistemine uygulama vardır.[1981] Son zamanlarda , lokal ölçümlere dayanan sistem osilasyonlarını bastırmak için SVC kontrol önerilmiştir.Tasarı kontrol sinyali olarak

SVC yerinde güç ve gerilim ölçümlerine dayanan faz-açı tahminlerini kullanır. Geçici analiz programlarında SVC 'yi belirtmek önemli bir görüştür.

Üç farklı rezonans modunda seri kompanze edilmiş ac iletim hatları için statik var düzenleyicilere uygulanmasının farkına varılması çok önemlidir.[Larsen,1990]

- Şönt kapasite rezonansı hatların ve genaratörün seri indüktansı ve şönt kapasitesi (hat yüklenmesi artı SVC 'nin herhangi güç faktör düzeltmesi) arasında enerji alışverişine yolaçar.
- Seri hat rezonansı hatlar ,trnsformatörler ve genaratörlerin seri indüktansı ve şönt reaktörleri arasında enerji değişimine yolaçar.
- Şönt reaktör rezonans,seri kapasiteler ve hattın altmerkezinde şönt reaktörler arasında enerji değişimine yolaçar.

SVC 'nin uygulamaları ac iletim sisteminin genişçe bir bölümünü oluşturur.

4.6 Tanımlayıcı Terimler

Kapasite Grubu:Kapasitelerin bir güzergahta montajı ve anahtarlama techizatı ,koruma techizatı ve kontroller gibi bütün gerekli aksesuarlar

Reaktör:İlk amacı devredeki reaktansları tanıtmak olan bir alettir.İndüktif reaktans sık sık kısaltılan indüktördür.

Rezonans:Uyarma frekansı sistemin doğal frekansına eşit olduğunda ,bir peryodik uyarma için fiziksel sistemin cevabı

Şönt:Farkedilir empedansasahip bir alet diğer aletler veya cihazlarla paralel bağlanması ve bazı akımların başka yöne saptırılması.Farkedilir gerilim şönt bağlı alet ve cihazların çevresinde oluşur ve farkedilir akım orada oluşur.

Şönt Reaktör:İndüktif akomı sürmek için elektrik sistemine şönt durumda bir reaktör bağlanması

Senkronaltı Rezonans:Sistemin senkron frekansı altında birleştirilmiş sistemin doğal frekansının bir veya daha fazlasında bir türbün genaratörüyle elektrik şebekekesi arasında enerji alışverişi yapan bir elektrik güç sistem durumu

Tristörler:Prensip olarak gerilim-akım karakteristiğinin enaz dörtte bir sınırları içinde oluşan anahtarlama gibi üç veya daha fazla fonksiyonları için yarı iletken elaman

İlişkin Konu

1.2 Kapasiteler ve İndüktanslar

4.7 Kaynaklar

L.E.Bock ve G.R.Mitchell, 'Seri kapasitelerle aşırı hat yüklenmesi'

E.E.Bogins ve H.T.Trojan, 'Şönt reaktörlerin EHV 'ın dizaynı ve uygulanması'

S.M.Merry ve E.R.Taylor, 'EHV sistemlerinde harmonikler ve aşırı gerilimler'

B.M.Weedy, 'Elektrik Güç Sistemleri'

4.8 Ek Bilgi

Güç sistemlerinde kapasitelerin uygulaması hakkında bilginin en mükemmel kaynağı Westinghouse İletim ve Dağıtım kitabıdır.Seri kapasiteler tarafından sistem kararlılığını geliştirmenin en iyi okunaklı durumu Kimbark'ın raporları tarafından verilir(1966).Jancke İsviçre sistemi hakkında 400 Kv'lık mseri kapasite kompanzasyon tesissatıyla ilgili deneyimlerini detaylıca vermiştir.Hauer seri ve/veya şönt reaktansların elle kontrolü için pratiksel kararlılık kpntrollerini sunar.

5. Güç Sitemlerinde Arıza Analizi

Charles Gross

Elektriksel güç sisteminde bir arıza dikkatsizlikten olur ve bir iletim yolunda (kısa devre) istenmeyen oluşumdur veya akımı kesici(açık devre) bir durumdur.Kısa devre arızası tipik olarak daha yaygındır ve genellikle çoğu insan tarafından arıza terimi olarak ifade edilir.Bizim yorumlarımız kısa devre arıza durumu hakkında olacaktır.

Arızaların nedenleri yıldırım ,rüzgar zararları,hatta ağaç düşmesi,kuşlarla hattın kısa devre olması,hatlara uçak çarpması küçük hayvanların kesici düzenine girmesi ve aşırı buz yüklenmesinden hattın kopmasıdır.Güç sistem arızaları dört tipte kategorize edilebilir:Tek-faz toprak,faz-faz,iki faz-toprak ,ve dengeli üç faz .İlk üç tip çoğu dengesiz çalışma durumlarını içerir.

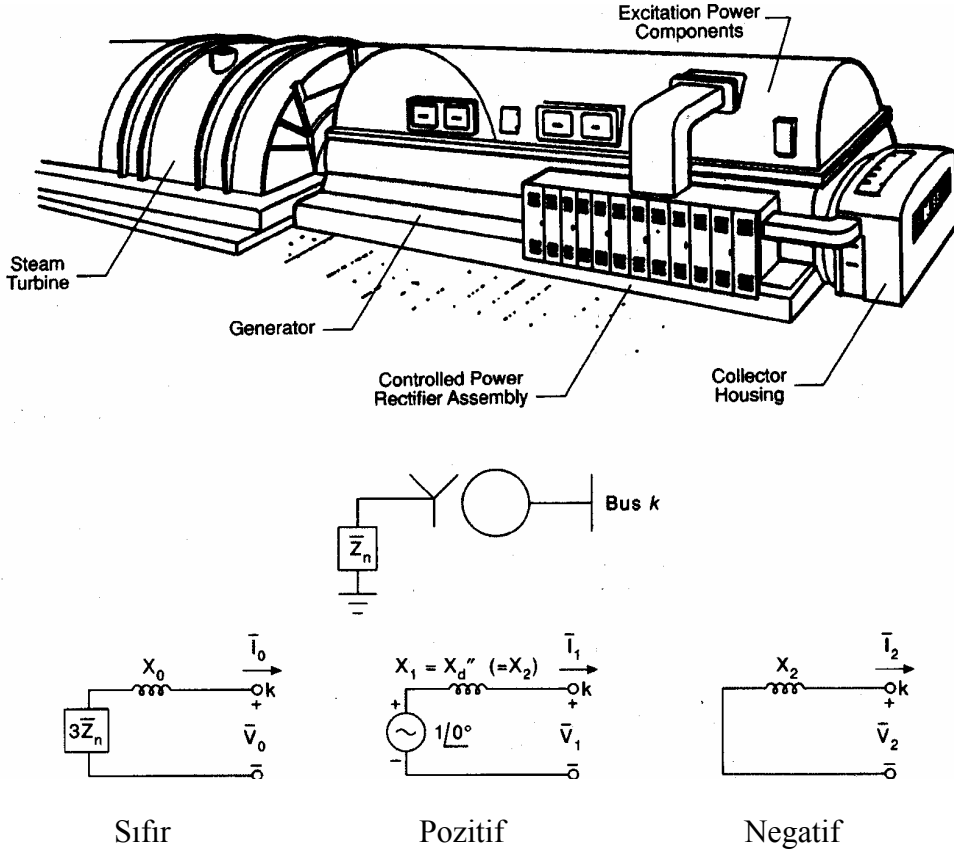
Koruma aletlerinin hissedip çalışması ve zararlı etkilerini minimize etmek için arıza durumu boyunca sistemin akım ve gerilim değerlerinin belirlenmesi çok önemlidir.Birleştirilmiş geçici durumların zaman sabitleri ,sinüzoidal sabit durum metodlarında kullanılabildiği gibidir.Simetrik bileşenler metodu arıza analizleri için uygundur.

Bizim konumuz simetrik bileşenlerin bahsedilen dört genel arıza tipine nasıl uygulandığını ve herhangi dengesiz üç-faz sistem problemi içinbu metodun nasıl uygulanabildiğini anlamaktır.

a,b,c indisleriyle belirtilen faz değerlerine dikkat edelim;dizi değerleri(simetrik bileşenler) 0,1,2 indisleriyle belirtilir.Transformatör bu şekilde tanımlanır:

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_a \\ \bar{V}_b \\ \bar{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_0 \\ \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} \bar{V}_a \\ \bar{V}_b \\ \bar{V}_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_0 \\ \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_0 \\ \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \bar{V}_a \\ \bar{V}_b \\ \bar{V}_c \end{bmatrix}$$



Şekil 1.30 Genaratör dizi devre modelleri

5.1 Sistem Modelinde Sadeleştirmeler

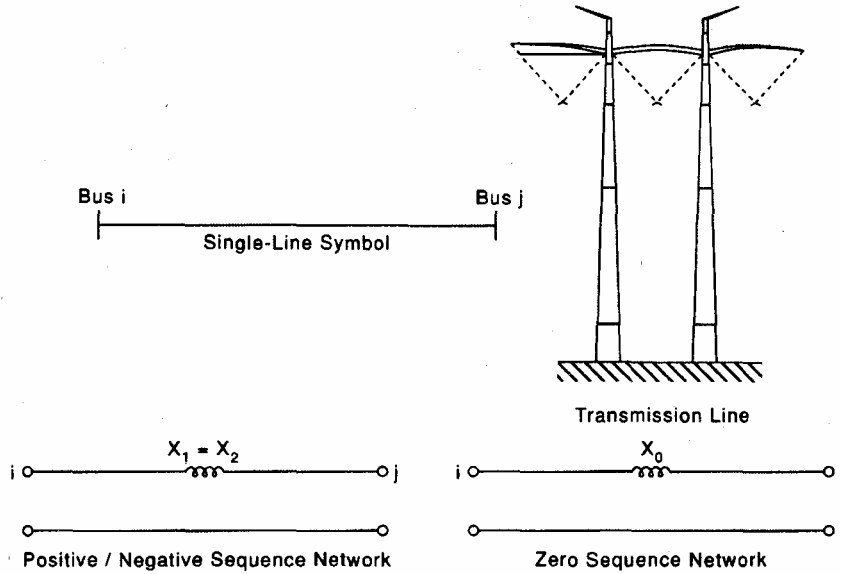
Belli sadeleştirmeler mümkündür ve genellikle arıza analizlerinde uygulanır.

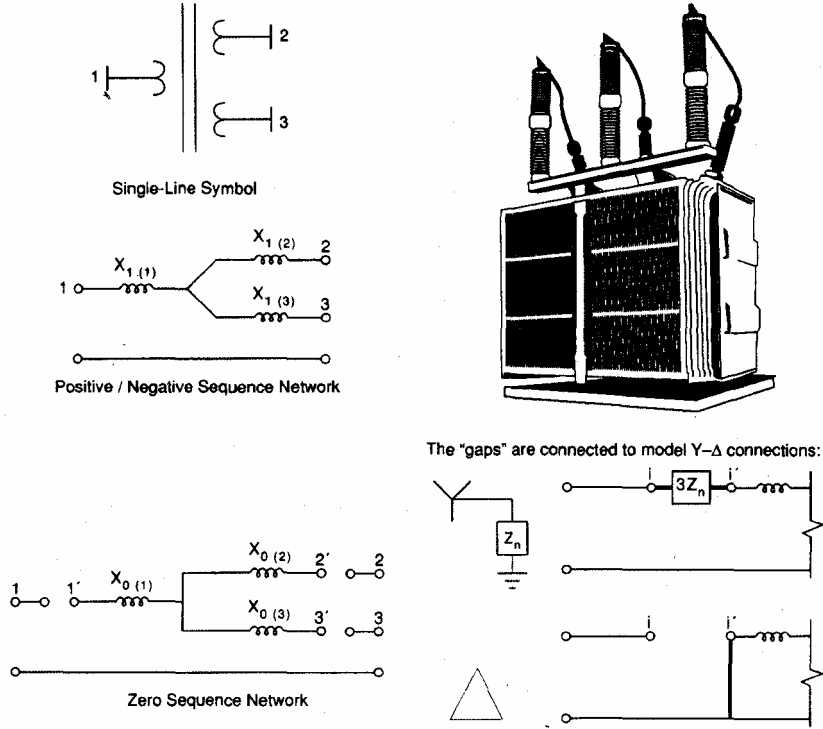
- Transformatör mıknatıslama akım ve çekirdek kaybı ihmal edilecektir.
- Faz şönt kapasitesi ihmal edilir.
- Sinüzoidal sabit durum devre analiz teknikleri kullanılır. Dc ofseti doğru faktörlerin kullanılmasıyla açıklanır.
- Ön arıza gerilim $1\angle 0^\circ$ perunit olarak farz edilir. Per-unit gerilimi arızanın oluşmasından önceki nominal değerdir. Sıfır fazın seçimi keyfe bağlıdır ve uygundur. Önarıza yük akımı ihmal edilir.

El hesapları için ihmal edilen seri resistanslar genellikle ihmal edilir. (Bu yaklaşım bilgisayar çözümleri için gerekli olacaktır). Üstelik pozitif ve negatif dizi şebekeleri arasındaki fark makine empedası tarafından tanıtılır. Pozitif dizi reaktansı için X_d'' 'ı subtransient reaktans

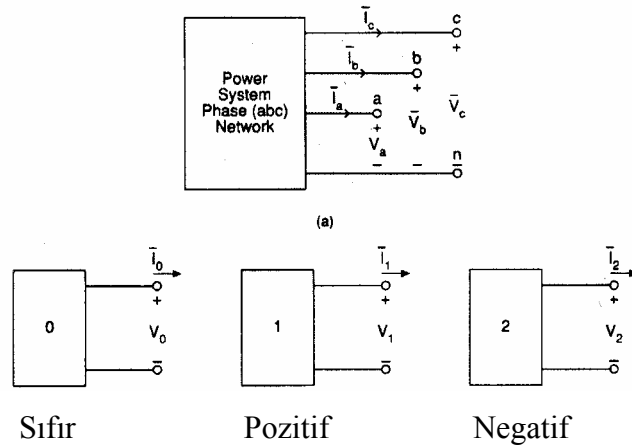
olarak seçersek, fark önemsiz olur. (Gerçekte, ikisi çıkıntılı olmayan makineler için aynıdır). Basitleştirme aşağı yukarı üçte bir oranında bilgisayar hafıza isteklerinin azaltılmasından beri önemlidir. Generatörler, hatlar ve transformatörler için devre modelleri şekil 1.30, 1.31, ve 1.32’de söylenilen sıraya göre gösterilir.

Probleme temel yaklaşımımız şekil 1.22(a)’da önerilen genel durumları göz önünde bulundurmaktır. Dışarıya çıkarılan genel uçlar, arızaları simule edecek harici bağlantılar maksatlardır. Faz niceliklerinin pozitif işaretlerine dikkat edilmelidir. Özellikle sistemden dışarı akan akımlara dikkat edilmelidir. Biz sistem için genel dizi eşdeğer devreler yapabiliriz ve böyle devreler şekil 1.33(b) de gösterilir. Gösterilen portlar şekil 61.33(a)’nın genel üç faz giriş portuna uygun düşer. Dizi değerlerin pozitif yönleri faz değerleri için kullanılanla uygun olmalıdır.

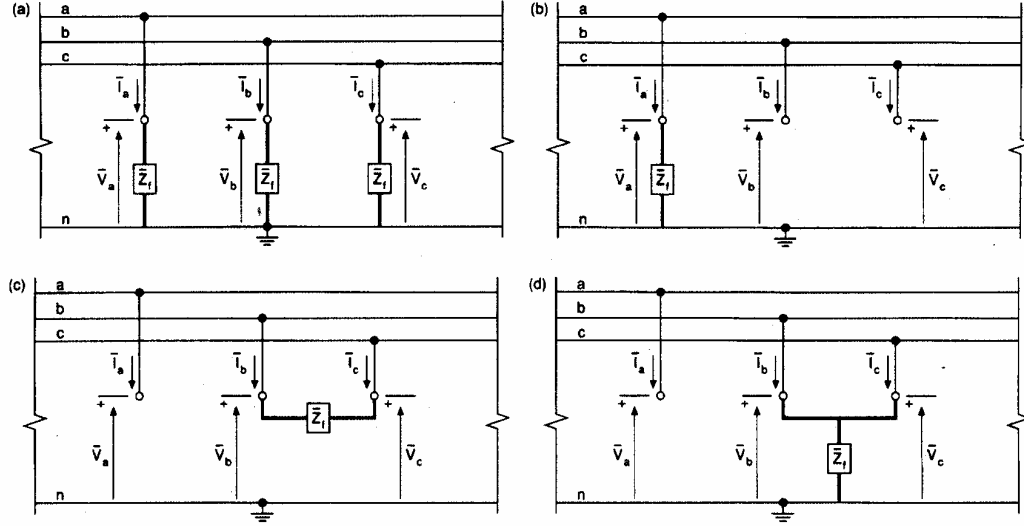




Şekil 1.32 Dizi Devre Modelleri



Şekil 1.33 Elektrik güç sistemlerinde genel arıza portları . (a) Faz (abc) kordinatlarında genel arıza portu ;(b) dizi kordinatlarında (012) uygun arıza portları



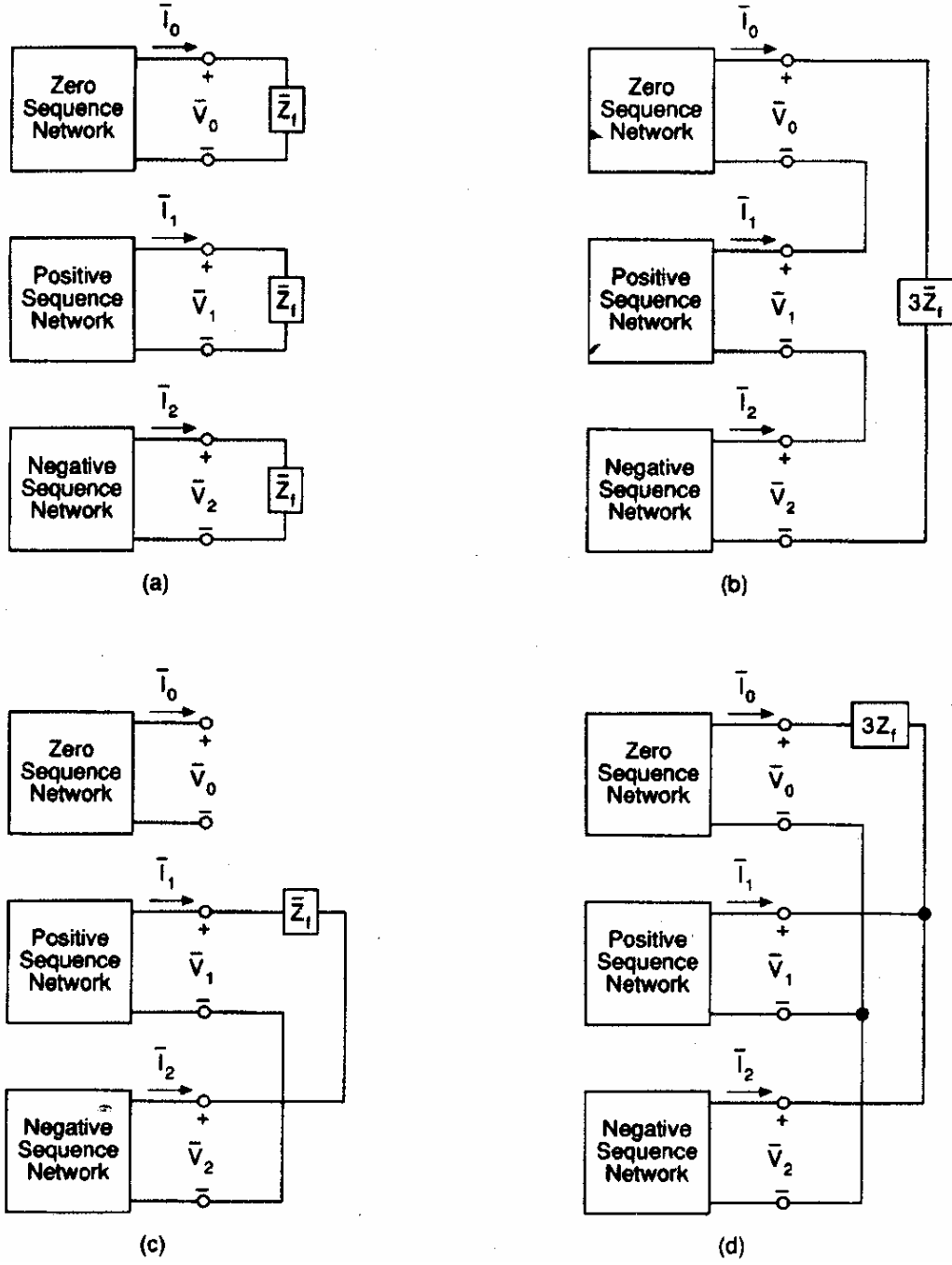
Şekil 1.34 Arıza tipleri.(a) üç-faz arıza ;(b) tek-faz toprak arıza ;(c)faz-faz arıza ;(d) iki-faz toprak arıza

5.2 Dört Temel Arıza Tipleri

5.2.1 Dengeli ÜÇ- Faz Arızası

Üç faz giriş portunu şekil 1.34(a) da gösterildiği gibi arıza empedası (Z_f) de sonlandığını düşünelim.Çıkış durumları

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_a \\ \bar{V}_b \\ \bar{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_f & 0 & 0 \\ 0 & \bar{Z}_f & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Z}_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \end{bmatrix}$$



Şekil 1.35 Arıza tipleri için dizi şebeke çıkışları.(a) Dengeli üç-faz arıza ;(b) tek faz-toprak arıza ;(c) faz-faz arıza ;(d) iki faz-toprak arıza

$[Z_{012}]$ 'ye dönüştürsek,

$$[Z_{012}] = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \bar{Z}_f & 0 & 0 \\ 0 & \bar{Z}_f & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Z}_f \end{bmatrix} [T] = \begin{bmatrix} \bar{Z}_f & 0 & 0 \\ 0 & \bar{Z}_f & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Z}_f \end{bmatrix}$$

Uygun şebeke bağlantıları şekil 1.35(a)'da verilmiştir. Sıfır ve negatif dizi şebekeleri pasif olduğu sürece, sadece pozitif dizi şebekesi önemsiz olmaz.

$$\bar{V}_0 = \bar{V}_2 = 0 \quad (61.60)$$

$$\bar{I}_0 = \bar{I}_2 = 0 \quad (61.61)$$

$$\bar{V}_1 = \bar{Z}_f \bar{I}_1 \quad (61.62)$$

5.2.2 Tek-Faz Toprak Arızası

Şekil 1.34(b)'de gösterildiği gibi sonlanan genel üç faz giriş portunu göz önüne alalım. Çıkış durumları

$$\bar{I}_b = 0 \quad \bar{I}_c = 0 \quad \bar{V}_a = \bar{I}_a \bar{Z}_f$$

Bu yüzden

$$\bar{I}_0 + a^2 \bar{I}_1 + a \bar{I}_2 = \bar{I}_0 + a \bar{I}_1 + a^2 \bar{I}_2 = 0$$

veya

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_2$$

Ayrıca

$$\bar{I}_b = \bar{I}_0 + a^2 \bar{I}_1 + a \bar{I}_2 = \bar{I}_0 + (a^2 + a) \bar{I}_1 = 0$$

veya

$$\bar{I}_0 = \bar{I}_1 = \bar{I}_2 \quad (61.63)$$

Ayrıca istenilen

$$\begin{aligned}\bar{V}_a &= \bar{Z}_f \bar{I}_a \\ \bar{V}_0 + \bar{V}_1 + \bar{V}_2 &= 3\bar{Z}_f \bar{I}_1\end{aligned}\tag{61.64}$$

Genel olarak (61.63) ve (61.64) eşitlikleri eş zamanlı olmak zorundadır. Bu durumlar şekil 1.35(b)'de gösterildiği gibi birbirine bağlı dizi şebekeleriyle tanıtılabilir.

5.2.3 Faz – Faz Arızası

Şekil 1.34(c)'de gösterildiği gibi sone eren genel üç faz giriş durumunu göz önüne alalım. Çıkış durumları yazdığımız gibidir.

$$\bar{I}_0 = 0 \quad \bar{I}_b = -\bar{I}_c \quad \bar{V}_b = \bar{Z}_f \bar{I}_b + \bar{V}_c$$

Bunu izler

$$\bar{I}_0 + \bar{I}_1 + \bar{I}_2 = 0$$

$$\bar{I}_0 = 0$$

$$\bar{I}_1 = -\bar{I}_2$$

5.2.4 İki-Faz Toprak Arıza

Genel üç-faz çıkış portu şekil 1.34(d)'de gösterildiği gibi sonlandığını düşünelim. Çıkış durumları

$$\bar{I}_a = 0 \quad \bar{V}_b = \bar{V}_c \quad \bar{V}_b = (\bar{I}_b + \bar{I}_c) \bar{Z}_f$$

Bunu takip eder;

$$\bar{I}_0 + \bar{I}_1 + \bar{I}_2 = 0 \tag{1.68}$$

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_2 \tag{1.69}$$

ve

$$\bar{V}_0 - \bar{V}_1 = 3\bar{Z}_f \bar{I}_0 \quad (1.70)$$

5.3 Bir örnek Arıza Çalışması

Sorun :Örnek sistem

Sistem 2 hat için veriye sahip;2 transformatör
4 Bara ;ve 2 Genaratör

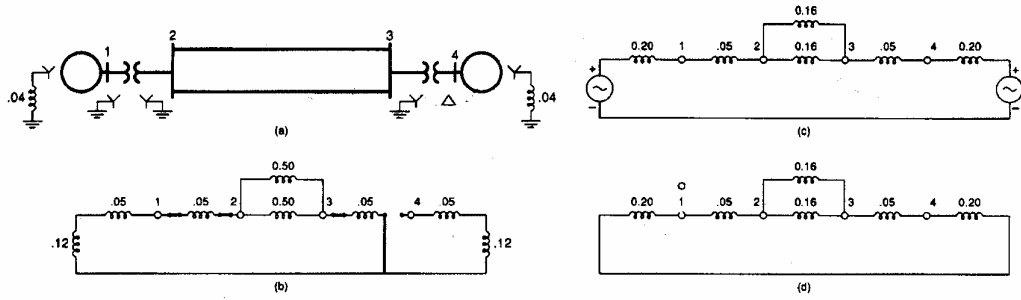
Transmission Line Data							
Line	Bus	Bus	Seq	R	X	B	Srat
1	2	3	pos	0.00000	0.16000	0.00000	1.0000
			zero	0.00000	0.50000	0.00000	
2	2	3	pos	0.00000	0.16000	0.00000	1.0000
			zero	0.00000	0.50000	0.00000	

Transformer Data							
Trans-former	HV Bus	LV Bus	Seq	R	X	C	Srat
1	2	1	pos	0.00000	0.05000	1.00000	1.0000
		Y	zero	0.00000	0.05000		
2	3	4	pos	0.00000	0.05000	1.00000	1.0000
		Y	zero	0.00000	0.05000		

Generator Data								
No.	Bus	Srated	Ra	Xd''	Xo	Rn	Xn	Con
1	1	1.0000	0.0000	0.200	0.0500	0.0000	0.0400	Y
2	4	1.0000	0.0000	0.200	0.0500	0.0000	0.0400	Y

Zero Sequence [Z] Matrix			
$0.0 + j(0.1144)$	$0.0 + j(0.0981)$	$0.0 + j(0.0163)$	$0.0 + j(0.0000)$
$0.0 + j(0.0981)$	$0.0 + j(0.1269)$	$0.0 + j(0.0212)$	$0.0 + j(0.0000)$
$0.0 + j(0.0163)$	$0.0 + j(0.0212)$	$0.0 + j(0.0452)$	$0.0 + j(0.0000)$
$0.0 + j(0.0000)$	$0.0 + j(0.0000)$	$0.0 + j(0.0000)$	$0.0 + j(0.1700)$

Positive Sequence [Z] Matrix			
$0.0 + j(0.1310)$	$0.0 + j(0.1138)$	$0.0 + j(0.0862)$	$0.0 + j(0.0690)$
$0.0 + j(0.1138)$	$0.0 + j(0.1422)$	$0.0 + j(0.1078)$	$0.0 + j(0.0862)$
$0.0 + j(0.0862)$	$0.0 + j(0.1078)$	$0.0 + j(0.1422)$	$0.0 + j(0.1138)$
$0.0 + j(0.0690)$	$0.0 + j(0.0862)$	$0.0 + j(0.1138)$	$0.0 + j(0.1310)$



Şekil 1.36 Örnek sistem .(a) Tek-faz diyagramı,(b) Sıfır dizi şebekesi ;(c) Pozitif dizi şebekesi;(d) Negatif dizi şebekesi

Tek hat diyagramı ve dizi şebekeleri Şekil 1.36’da bulunmaktadır.

Arıza yerini gösteren örnek sistemde üç durum farzedelim ve $Z_f=0$. Pozitif dizi devresi üç barasında Thevenin eşdeğerine indirgenebilir:

$$E_{T1} = 1.0/\underline{0^\circ} \quad \bar{Z}_{T1} = j0.1422$$

Benzerce, negatif ve sıfır dizi Thevenin elemanları

$$\begin{aligned} \bar{E}_{T2} &= 0 & \bar{Z}_{T2} &= j0.1422 \\ \bar{E}_{T0} &= 0 & \bar{Z}_{T0} &= j0.0452 \end{aligned}$$

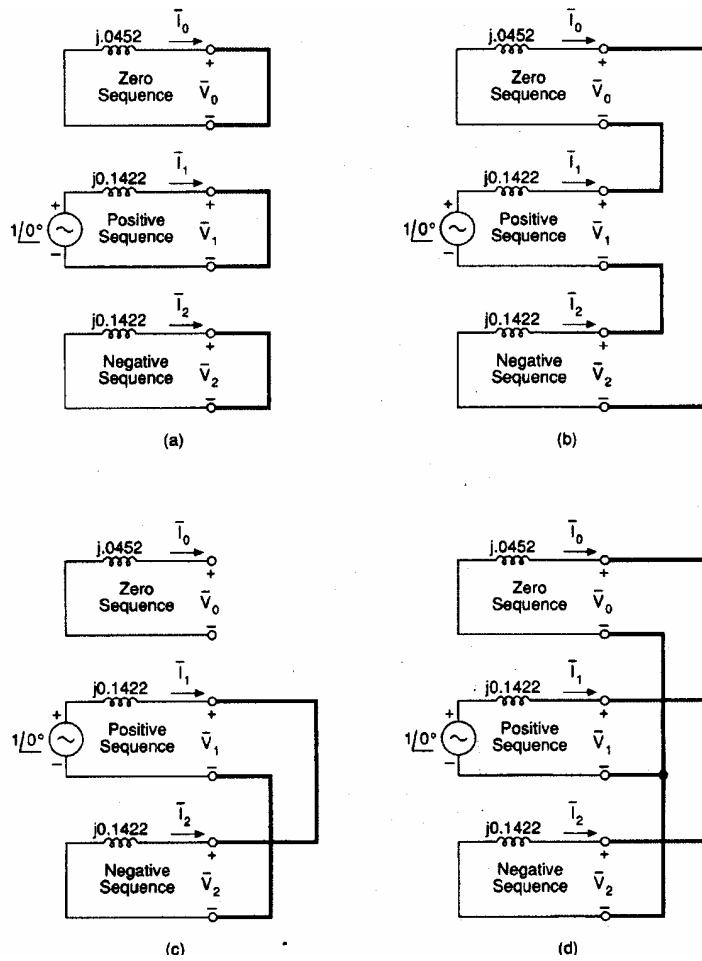
Dört arızı tipi için şebeke enterkonnektifleri şekil 1.37’de gösterilir. Arıza tiplerinin her biri için, arızalı barada akımlar ve gerilimler hesaplanır.

5.3.1 Dengeli 3 Faz Arızası

Dizi şebekeleri şekil1.37(a)'da gösterilir. Belliki:

$$\bar{V}_0 = \bar{I}_0 = \bar{V}_2 = \bar{I}_2 = 0$$

$$\bar{I}_1 = \frac{1/\underline{0^\circ}}{j0.1422} = -j7.032; \quad \text{also } \bar{V}_1 = 0$$



Şekil 1.37 Bara 32 de örnek sistem arızaları.(a)Dengeli üç-faz ;(b) tek faz-toprak;(c) faz-faz;(d) iki faz-toprak

Faz değerlerini hesaplamak için;

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} \bar{I}_0 \\ \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -j7.032 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7.032 \angle -90^\circ \\ 7.032 \angle 150^\circ \\ 7.032 \angle 30^\circ \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_a \\ \bar{V}_b \\ \bar{V}_c \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

5.3.2 Tek- Faz- Toprak Arıza

Dizi şebekeleri şekil 1.37(b)'de gösterildiği gibi enterkennektiftir.

$$\bar{I}_0 = \bar{I}_1 = \bar{I}_2 = \frac{1 \angle 0^\circ}{j0.0452 + j0.1422 + j0.1422} = -j3.034$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -j3.034 \\ -j3.034 \\ -j3.034 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j9.102 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Dizi gerilimleri;

$$\begin{aligned} \bar{V}_0 &= -j0.0452(-j3.034) = -1371 \\ \bar{V}_1 &= 1.0 - j0.1422(-j3.034) = 0.5685 \\ \bar{V}_2 &= -j0.1422(-j3.034) = -0.4314 \end{aligned}$$

Faz gerilimleri;

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_a \\ \bar{V}_b \\ \bar{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.1371 \\ 0.5685 \\ -0.4314 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.8901 \angle -103.4^\circ \\ 0.8901 \angle -103.4^\circ \end{bmatrix}$$

Faz-faz ve iki-faz toprak arıza değerleri uygun şebekelerden hesaplanabilir. [Şekil 1.37(c) ve (d). Tam sonuçlar verilmiştir.

Arızalı Bara Faz a Faz b Faz c

3 G G G

Sequence Voltages

Bus	V0		V1		V2	
1	0.0000/	0.0	0.3939/	0.0	0.0000/	0.0
2	0.0000/	0.0	0.2424/	0.0	0.0000/	0.0
3	0.0000/	0.0	0.0000/	0.0	0.0000/	0.0
4	0.0000/	0.0	0.2000/	-30.0	0.0000/	30.0

Phase Voltages

Bus	Va		Vb		Vc	
1	0.3939/	0.0	0.3939/	-120.0	0.3939/	120.0
2	0.2424/	0.0	0.2424/	-120.0	0.2424/	120.0
3	0.0000/	6.5	0.0000/	-151.2	0.0000/	133.8
4	0.2000/	-30.0	0.2000/	-150.0	0.2000/	90.0

Sequence Currents

Bus to Bus		I0		I1		I2	
1	2	0.0000/	167.8	3.0303/	-90.0	0.0000/	90.0
1	0	0.0000/	-12.2	3.0303/	90.0	0.0000/	-90.0
2	3	0.0000/	167.8	1.5152/	-90.0	0.0000/	90.0
2	3	0.0000/	167.8	1.5152/	-90.0	0.0000/	90.0
2	1	0.0000/	-12.2	3.0303/	90.0	0.0000/	-90.0
3	2	0.0000/	-12.2	1.5152/	90.0	0.0000/	-90.0
3	2	0.0000/	-12.2	1.5152/	90.0	0.0000/	-90.0
3	4	0.0000/	-12.2	4.0000/	90.0	0.0000/	-90.0
4	3	0.0000/	0.0	4.0000/	-120.0	0.0000/	120.0
4	0	0.0000/	0.0	4.0000/	60.0	0.0000/	-60.0

Arızalı Bara Faz a Faz b Faz c

3 G G G

Phase Currents

Bus to Bus		Ia		Ib		Ic	
1	2	3.0303/	-90.0	3.0303/	150.0	3.0303/	30.0
1	0	3.0303/	90.0	3.0303/	-30.0	3.0303/	-150.0
2	3	1.5151/	-90.0	1.5151/	150.0	1.5151/	30.0
2	3	1.5151/	-90.0	1.5151/	150.0	1.5151/	30.0
2	1	3.0303/	90.0	3.0303/	-30.0	3.0303/	-150.0
3	2	1.5151/	90.0	1.5151/	-30.0	1.5151/	-150.0
3	2	1.5151/	90.0	1.5151/	-30.0	1.5151/	-150.0
3	4	4.0000/	90.0	4.0000/	-30.0	4.0000/	-150.0
4	3	4.0000/	-120.0	4.0000/	120.0	4.0000/	-0.0
4	0	4.0000/	60.0	4.0000/	-60.0	4.0000/	-180.0

Arızalı Bara Faz a Faz b Faz c

3 G 0 0

Sequence Voltages						
Bus	V0		V1		V2	
1	0.0496/	180.0	0.7385/	0.0	0.2615/	180.0
2	0.0642/	180.0	0.6731/	0.0	0.3269/	180.0
3	0.1371/	180.0	0.5685/	0.0	0.4315/	180.0
4	0.0000/	0.0	0.6548/	-30.0	0.3452/	210.0

Phase Voltages						
Bus	Va		Vb		Vc	
1	0.4274/	0.0	0.9127/	-108.4	0.9127/	108.4
2	0.2821/	0.0	0.8979/	-105.3	0.8979/	105.3
3	0.0000/	89.2	0.8901/	-103.4	0.8901/	103.4
4	0.5674/	-61.8	0.5674/	-118.2	1.0000/	90.0

Sequence Currents							
Bus to Bus		I0		I1		I2	
1	2	0.2917/	-90.0	1.3075/	-90.0	1.3075/	-90.0
1	0	0.2917/	90.0	1.3075/	90.0	1.3075/	90.0
2	3	0.1458/	-90.0	0.6537/	-90.0	0.6537/	-90.0
2	3	0.1458/	-90.0	0.6537/	-90.0	0.6537/	-90.0
2	1	0.2917/	90.0	1.3075/	90.0	1.3075/	90.0
3	2	0.1458/	90.0	0.6537/	90.0	0.6537/	90.0
3	2	0.1458/	90.0	0.6537/	90.0	0.6537/	90.0
3	4	2.7416/	90.0	1.7258/	90.0	1.7258/	90.0
4	3	0.0000/	0.0	1.7258/	-120.0	1.7258/	-60.0
4	0	0.0000/	90.0	1.7258/	60.0	1.7258/	120.0

Arızalı Bara Faz a Faz b Faz c

3 G 0 0

Phase Currents							
Bus to Bus		Ia		Ib		Ic	
1	2	2.9066/	-90.0	1.0158/	90.0	1.0158/	90.0
1	0	2.9066/	90.0	1.0158/	-90.0	1.0158/	-90.0
2	3	1.4533/	-90.0	0.5079/	90.0	0.5079/	90.0
2	3	1.4533/	-90.0	0.5079/	90.0	0.5079/	90.0
2	1	2.9066/	90.0	1.0158/	-90.0	1.0158/	-90.0
3	2	1.4533/	90.0	0.5079/	-90.0	0.5079/	-90.0
3	2	1.4533/	90.0	0.5079/	-90.0	0.5079/	-90.0
3	4	6.1933/	90.0	1.0158/	90.0	1.0158/	90.0
4	3	2.9892/	-90.0	2.9892/	90.0	0.0000/	-90.0
4	0	2.9892/	90.0	2.9892/	-90.0	0.0000/	90.0

Arızalı Bara Faz a Faz b Faz c

3 0 C B

Sequence Voltages

Bus	V0		V1		V2	
1	0.0000/	0.0	0.6970/	0.0	0.3030/	0.0
2	0.0000/	0.0	0.6212/	0.0	0.3788/	0.0
3	0.0000/	0.0	0.5000/	0.0	0.5000/	0.0
4	0.0000/	0.0	0.6000/	-30.0	0.4000/	30.0

Phase Voltages

Bus	Va		Vb		Vc	
1	1.0000/	0.0	0.6053/	-145.7	0.6053/	145.7
2	1.0000/	0.0	0.5423/	-157.2	0.5423/	157.2
3	1.0000/	0.0	0.5000/	-180.0	0.5000/	-180.0
4	0.8718/	-6.6	0.8718/	-173.4	0.2000/	90.0

Sequence Currents

Bus to Bus		I0		I1		I2	
1	2	0.0000/	-61.0	1.5152/	-90.0	1.5152/	90.0
1	0	0.0000/	119.0	1.5152/	90.0	1.5152/	-90.0
2	3	0.0000/	-61.0	0.7576/	-90.0	0.7576/	90.0
2	3	0.0000/	-61.0	0.7576/	-90.0	0.7576/	90.0
2	1	0.0000/	119.0	1.5152/	90.0	1.5152/	-90.0
3	2	0.0000/	119.0	0.7576/	90.0	0.7576/	-90.0
3	2	0.0000/	119.0	0.7576/	90.0	0.7576/	-90.0
3	4	0.0000/	119.0	2.0000/	90.0	2.0000/	-90.0
4	3	0.0000/	0.0	2.0000/	-120.0	2.0000/	120.0
4	0	0.0000/	90.0	2.0000/	60.0	2.0000/	-60.0

Arızalı Bara Faz a Faz b Faz c

3 0 C B

Phase Currents

Bus to Bus		Ia		Ib		Ic	
1	2	0.0000/	180.0	2.6243/	180.0	2.6243/	0.0
1	0	0.0000/	180.0	2.6243/	0.0	2.6243/	180.0
2	3	0.0000/	-180.0	1.3122/	180.0	1.3122/	0.0
2	3	0.0000/	-180.0	1.3122/	180.0	1.3122/	0.0
2	1	0.0000/	180.0	2.6243/	0.0	2.6243/	180.0
3	2	0.0000/	-180.0	1.3122/	0.0	1.3122/	180.0
3	2	0.0000/	-180.0	1.3122/	0.0	1.3122/	180.0
3	4	0.0000/	-180.0	3.4641/	0.0	3.4641/	180.0
4	3	2.0000/	-180.0	2.0000/	180.0	4.0000/	0.0
4	0	2.0000/	0.0	2.0000/	0.0	4.0000/	-180.0

Arızalı Bara	Faz a	Faz b	Faz c
3	0	G	G

Sequence Voltages						
Bus	V0		V1		V2	
1	0.0703/	0.0	0.5117/	0.0	0.1177/	0.0
2	0.0909/	0.0	0.3896/	0.0	0.1472/	0.0
3	0.1943/	-0.0	0.1943/	0.0	0.1943/	0.0
4	0.0000/	0.0	0.3554/	-30.0	0.1554/	30.0

Phase Voltages						
Bus	Va		Vb		Vc	
1	0.6997/	0.0	0.4197/	-125.6	0.4197/	125.6
2	0.6277/	0.0	0.2749/	-130.2	0.2749/	130.2
3	0.5828/	0.0	0.0000/	-30.7	0.0000/	-139.6
4	0.4536/	-12.7	0.4536/	-167.3	0.2000/	90.0

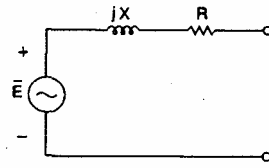
Sequence Currents							
Bus to Bus		I0		I1		I2	
1	2	0.4133/	90.0	2.4416/	-90.0	0.5887/	90.0
1	0	0.4133/	-90.0	2.4416/	90.0	0.5887/	-90.0
2	3	0.2067/	90.0	1.2208/	-90.0	0.2943/	90.0
2	3	0.2067/	90.0	1.2208/	-90.0	0.2943/	90.0
2	1	0.4133/	-90.0	2.4416/	90.0	0.5887/	-90.0
3	2	0.2067/	-90.0	1.2208/	90.0	0.2943/	-90.0
3	2	0.2067/	-90.0	1.2208/	90.0	0.2943/	-90.0
3	4	3.8854/	-90.0	3.2229/	90.0	0.7771/	-90.0
4	3	0.0000/	0.0	3.2229/	-120.0	0.7771/	120.0
4	0	0.0000/	-90.0	3.2229/	60.0	0.7771/	-60.0

Arızalı Bara	Faz a	Faz b	Faz c
3	0	G	G

Phase Currents							
Bus to Bus		Ia		Ib		Ic	
1	2	1.4396/	-90.0	2.9465/	153.0	2.9465/	27.0
1	0	1.4396/	90.0	2.9465/	-27.0	2.9465/	-153.0
2	3	0.7198/	-90.0	1.4733/	153.0	1.4733/	27.0
2	3	0.7198/	-90.0	1.4733/	153.0	1.4733/	27.0
2	1	1.4396/	90.0	2.9465/	-27.0	2.9465/	-153.0
3	2	0.7198/	90.0	1.4733/	-27.0	1.4733/	-153.0
3	2	0.7198/	90.0	1.4733/	-27.0	1.4733/	-153.0
3	4	1.4396/	-90.0	6.1721/	-55.9	6.1721/	-124.1
4	3	2.9132/	-133.4	2.9132/	133.4	4.0000/	-0.0
4	0	2.9132/	46.6	2.9132/	-46.6	4.0000/	-180.0

5.4 İlerideki Tahminler

Generatörler sistemde sadece kaynak değildir. Bütün döner makineler en azından bir anlık geçişi arıza akımına katkıda bulunmaya yeteneklidir. Senkron ve indüksiyon motorlar, arıza akımının kaynaklar fonksiyonu ve ataletinden dolayı dönmeye devam edecektir. Böyle makineler için kullanılan empedans genellikle transient reaktans $X'd$ veya koruyucu cihazlara bağlı olan subtransienti X''_d ve cevap hızıdır. 50 hp'den daha küçük motorlar sık sık ihmal edilir. Birleştiren sistemler Thevenin eşdeğerleriyle modellenirler.



Şekil 1.38 Arıza barasında görülen pozitif dizi devresi

Arıza hesaplamaları için ac devre tekniklerini kullanmamıza rağmen, problem ani anahtar hareketlere yol açtığı sürece geçici olmuştur. Dc ofset akımını göz önüne alalım. Pozitif dizi thevenin eşdeğer devresini tesbit etmekle, şekil 1.38'de gösterildiği gibi arızada pozitif dizi şebekelerin hazırlanmasıyla sistemi modelleriz.

Geçici arıza akım,

$$i(t) = I_{ac} \sqrt{2} \cos(\omega t - \beta) + I_{dc} e^{-t/\tau}$$

Bu ilk yaklaşımdır ve kesinlikle faz-faz ve üç faz arızalarına uygulanır. Toprak arızaları ayrıca sıfır dizi şebekelerine yol açar.

$$I_{ac} = \frac{E}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$
$$I_{dc}(t) = I_{dc} e^{-t/\tau} = d$$

Mümkün olan maksimum ilk dc offset

$$\text{Max } I_{dc} = I_{\max} = \sqrt{2}I_{ac}$$

Dc offset zaman sabiti ile eksponansiyel azalacaktır.

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{X}{\omega R}$$

Maksimum dc offset akımı $I_d(t)$ olacaktır.

$$I_{dc}(t) = I_{dc} e^{-t/\tau} = \sqrt{2}I_{ac} e^{-t/\tau}$$

ac ve dc durumlarının her ikisini açıklayan geçici rms akımı

$$I(t) = \sqrt{I_{ac}^2 + I_{dc}^2(t)} = I_{ac} \sqrt{1 + 2e^{-2t/\tau}}$$

I_{ac} , T_{top} zamanında çalışan bir kesicinin kesme kapasitesini tahmin etmek için k_i ile çarpılan bir k_i artırıcı faktör tanımlayalım. Bu yüzden

$$k_i = \frac{I(T_{op})}{I_{ac}} = \sqrt{1 + 2e^{-2T_{op}/\tau}}$$

k_i 'nin maksimum olası değeri $\sqrt{3}$ bulunur.

5.4.1 Örnek

Şekil 1.38'deki devrede $E=2400\text{ V}$, $X=2\Omega$, $R=0.1\Omega$ ve $f=69\text{ Hz}$ 'dir ve iki peryotta çalışmak için dizayn edilmişse devredeki kesici için kesme kapasitesini belirleyin. Arıza $t=0$ 'da uygulandı.

Çözüm:

$$I_{ac} \cong \frac{2400}{2} = 1200\text{ A}$$

$$T_{op} = \frac{2}{60} = 0.0333\text{ s}$$

$$\tau = \frac{X}{\omega R} = \frac{2}{37.7} = 0.053$$

$$k_i = \sqrt{1 + 2e^{-2T_{op} / \tau}} = \sqrt{1 + 2e^{-0.0067 / 0.053}} = 1.252$$

Bu yüzden;

$$I = k_i I_{ac} = 1.252(1200) = 1503\text{ A}$$

Arıza noktasındaki thevenin eşdeğeri normal sabit durum metodları ile belirlenir ve şekil 1.38'de gösterildiği gibi bir devrede sonuçlanıyor. I_{ac} sabit durum bileşenleri için yeterli sonuçlar sağladığında, elde edilen X/R değeri, gerçek arıza sistemi üzerinde osiloskoplarca ölçülen $I_t(n)$ düşüş oranıyla karşılaştırıldığında ciddi hatalar olabilir. Farklığın en büyük sebeplerden ilki sistemin geçici analiz cevabını gerçekten büyük değerde olmasıdır ve ikincisi genaratörler geçici durum özelliğinde sabit empedansı koruyamaz.

5.4.2 ÖZET

Güç sistemlerindeki arıza akımlarının hesabı bilgisayarca daha iyi yapılır. Esas basamaklar aşağıda özetlenmiştir:

- Ortak bazlarda per-ünit cinsinden hat bilgisi makine ve transformatörleri topla,yorumla ve depo et.

- Dizi empedans matrislerini formüleştirebilir.
- Arızalı bara ve Z_{f^*} tanımlarını tanımlar. Arıza tiplerini analiz eder.
- Dizi gerilimleri hesaplar.
- Dizi akımlarını hesaplar.
- Yıldız - üçgen bağlantılarını düzeltir.
- Faz akım ve gerilim dönüşümü yapar.

En büyük sistemlerde, dizi empedans matrislerinin hesaplamalı formülasyonu istenir. Daha fazla ayrıntı için Ek Bilgilere bakın. Birbirine (ortak geçiş hakkı üzerinde) yakın mesafedeki hatlar için sıfır dizi şebekeleri karşılıklı olarak eşleştirilmiştir. Eğer pozitif ve negatif dizi makine empedansları için aynı değerleri kullanmayı istersek;

$$[Z_1] = [Z_2]$$

Bu yüzden ayrılmış düzenlerde bu değerlerin depolanması, program basitleştirilmesi ve bilgisayar hafıza ihtiyaçlarının azaltılması gereksizdir. Bu yaklaşımlarla arıza tanıtıldığında genellikle önemsiz olur. Önceden tartışılan metodlar akımın bileşenleri, yük veya ön arızayı ihmal eder; Genel düşünce sistem boyunca akımlar arızadan önce sıfırdır. Bu kesinlikle daima doğru değildir; bununla birlikte hata üretimi genelde arıza akımları yük akımlarından daha büyük olduğu sürece küçüktür. Ayrıca yük akımları ve arıza akımları birbiriyle faz dışıdır, ön arıza akımları için kesin değerlerin seçimi, bir arıza oluştuğunda yüklenmiş sistemin durumu ne şekilde olduğu tahmin edilmediği için biraz tahmin niteliğindedir. Yük akımlarını dikkate almak önemli olduğundan, güç akış incelemesi sistemin her tarafındaki akımları hesaplamak için yapılır ve bu değerler arıza incelenmesinden elde edilen sonuçları zorla kabul ettirir.

Geniş endüstriyel kullanım ve kabul ifadesi bir baradaki MVA cinsinden arıza seviyesidir. Üç faz arızada baradan dışarı aktığı düşünülen akımın miktarıyla alakalıdır. Aslında, bu pozitif dizi empedans bilgilerini geliştirmek için alternatif bir yoldur.

İletim yolu i'deki mvA cinsinden arıza seviyesi:

$$\begin{aligned} &= V_{i_{pu\ nominal}} I_{i_{pu\ fault}} S_{3\phi\ base} \\ &= (1) \frac{1}{Z_{ii}^1} S_{3\phi\ base} = \frac{S_{3\phi\ base}}{Z_{ii}^1} \end{aligned}$$

Arıza inceleme sonuçları dc ofsetin etkilerine benzetmekle daha fazla geliştirilebilir. Arıza incelemelerini yapmanın temel nedeni koruyucu aletlerini ayar etmek ve büyüklüğüne göre ayırt etmek için kullanılabilen bilgileri geliştirmektir. Bunun gibi koruyucu aletlerin görevi güç sistemine ait zararı minimize etmek veya korumak için arızaları saptamak veya ortadan kaldırmaktır.

5.5 Tanımlayıcı Terimler

Dc ofset: (genellikle ilk durum exponansinel ifadeyle benzetilir) geçici arıza akımının normal cevap bileşeni.

Arıza: Elektriksel güç sisteminde arzu edilmeyen ve istek dışı iletim yolu.

Arıza MVA: Sistemde özel bir durum, ilk simetrik arıza akımı, önarıcı nominal hat-nötr gerilimiyle arttırılır.

Dizi (012) Sayıları: Simetrik bileşenler faz sayılarından (abc) hesaplanır. Gerilim, akım ve/veya empedans olabilir.

5.6 Kaynaklar

P.M.Anderson, Arızalı güç sisteminin analizi
M.E.El-Hawary ,Elektrik Güç Sistemleri:Dizayn ve Analizi
M.E.El-Hawary ,Elektrik Güç Sistemleri
O.I.Ekgerd ,Elektrik Enerji Sistem Teorileri
C.A.Gross,Güç Sistem Analizi
J.R.Neuenswander,Modern Güç Sistemleri

5.7 Ek bilgi

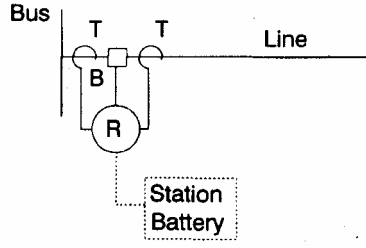
Genel arıza analizlerinin genişçe ayrıntısı için Poul M. Andersonun güç sistemlerde arızaların analizine bakınız. Ayrıca NewYork; Wiley, 1986'da C.A. Gross tarafından yazılan Güç Sistem Analizinin 9 ve 10'uncu bölümlerine bakın.

6. Koruma

Arun g. Phodke

6.1 Korumanın Ana Prensipleri

Koruyucu alet- röleler kısa devre gibi sistemde normal olmayan (arızalar) durumlara cevap için dizayn edilmiştir. Arıza oluştuğunda, röleler hata için uygun devre kesicilerini işaret etmek ve arızalı aletleri izole etmek zorundadır. Koruma sistemleri daha fazla ciddi hasardan bozuk aletleri korumak için sadece değildir, ayrıca çok uzunca sistemde kalan arızaların sonucunda güç sistemini korur. Modern Yüksek Gerilim sistemlerinde kişisel aletlerden ziyade güç sistemine zarar veren potansiyel daha az önemlidir ve güç sistemlerin güvenlik nedenleri koruma sisteminin dizaynını zorunlu hale getirmiştir. Koruma sistemi şekil 1.39'da gösterildiğini 4 büyük alt sistemden oluşur. Dönüştürücüler idare edilebilir en büyük seviyeye yüksek akım ve gerilimleri dönüştüren akım ve gerilim transformatörleridir. Amerikada, akım transformatörlerinin en yaygın standartı sabit durum koşulları altında sekonder akımı 5A (veya daha az) dır. Avrupada ve diğer yabancı ülkelerde 1 A standardı da yaygındır. Gerilim transformatörü standartı transformatörün sekonder tarafından faz-nötr 69.3 V ve faz-faz 120 V'dır. Dönüştürücüden sekonder akım ve gerilim oranlarının ayarlanması dönüştürücü ve rölelerin serbest gelişimlerine izin vermiştir. Dönüştürücülerin güç tutma kabiliyetleri önemli dalga formu bozulmaların dışında sağlanabilen volt-amper yüklenme durumunda ifade edilir. Genelde, dönüştürücülerin geçici durum cevapları röle uygulamalarında çok daha tehlikelidir.



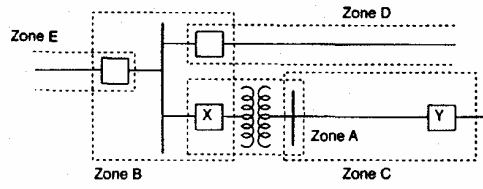
Şekil 1.39 Koruma sisteminin elamanları

Koruma sistemlerin ikinci elemanı röledir (R). Akım, gerilim ve diğer girişleri kullanan, sistemde arıza varsa tesbit eden, röle tarafından hangi durum için ihtiyaç duyulduğunu gösteren alettir. Aşağıda röleler daha detaylı görüşeceğiz Koruma zincirinin üçüncü elemanı gerçek faaliyeti arıza akımını kesmek olan devre kesicidir (B). Modern yüksek gerilim devre kesicileri yaklaşık 15- 30 ms’de 800.000 V’tan yukarı sistem gerilimlerine karşı 100.000 A üzeri akımları kesmeye gücü yeter. Alçak-gerilim devre kesicileri genelde işletme hızında daha küçüktür. Koruma dizisinin son elemanı röle ve devre kesicilerini enerjilendiren merkez bataryasıdır. Bazı diğer gerilim seviyeleri üretim merkezlerinde ve eski altmerkezlerde yaygın olmasına rağmen 125 V’ta standart edilmiştir.

Röleler ve devre kesiciler bozuk makineleri mümkün olan en çabuk şekilde sistemden çıkarılmak zorundadır. Ayrıca bozuk aleti enerjisiz bırakmanın birçok alternatif yolu var ise, Koruma sistemi tehzizatın minimum miktarını servisten çıkarma stratejisini uygulamalıdır. Bu düşünceler koruma bölgesi, röle hızı ve korumanın güvenilirliğinin kavramlarını da dahil eder.

6.1.1 Koruma bölgeleri

Koruma sistemi işletme sürecince güç sisteminden tehzizatın minimum miktarını ayırdığından emin olduğunda, güç sistemi koruma bölgeleri bölümlere ayırır. Her bir bölge birleştirilmiş koruma sistemine sahiptir. Bölge içindeki bir arıza çalışması için birleştirilmiş



Şekil 1.40 Güç sistemi için koruma bölgesi kesiciler tarafından sınırlanmış bölgeler

koruma sistemine neden olur. Diğer bölgedeki herhangi bir arıza, bir operasyona neden olmamalıdır. Koruma bölgesi genellikle iletim hatları gibi tehzizatın bir kısmını korur. Bölge sınırı, dönüştürücülerin yerleriyle (genellikle akım transformatörü) ve ayrıca bölgeyi izole etmek için çalışacak devre kesicileri tarafından tanımlanır. Koruma bölgelerinin grubu şekil 1.40’da gösterilir. Bütün bölgelerin komşularıyla beraber üst üste gösterildiğine dikkat edin. Bu sistemin hiçbir noktasını korunmasız bırakılmamasını sağlamak içindir. Bazen, bir devre kıyıcı bölge sınırında olmayabilir. Bu gibi durumlarda daha uzak devre kıyıcılar da yapılmalıdır. Örneğin şekil 1.40’da A koruma bölgesini göz önüne alalım. Bu bölgedeki bir arıza x ve y devre kıyıcıları tarafından izole edilmelidir. X kesici transformatör yanında olduğunda ve tek başına açılıp kapandığında, y merkezden uzaktır ve haberleşme kanalının bazı şekilleri y’ye açıp kapama emrini ulaştırmak için kullanılması zorunludur. Çoğu koruma bölgesi belli uzunluğa sahip olmasına rağmen genel şekilde tanımlı alana sahip bazı bölgeler vardır. Bunlar açık bölgeler olarak bilinir ve çoğu sık sık iletim hattı korumalarında rastlanır.

6.1.2 Koruma Hızı

Koruma fonksiyonunun daha hızlı çalışması, daha hızlı sistemden arızayı giderme olasılığıdır. Bu yüzden, bütün koruma sistemleri mümkün olduğunda daha hızlı yapılır. Bununla birlikte, minimum limitlerden daha hızlı korumayı gerçekleştirmeye karşı zorla kabul ettirilmiş görüşlerdir. Ayrıca, arasıra bazı özel sistem ihtiyaçlarını yerine getirmek için koruma sistemini yavaşlatmak gerekebilir. Genelde, en hızlı koruma arıza başlangıcından sonra yaklaşık 5 ile 10 ms çalışmadır. (Thorp, 197e). Eğer bu koruma bu durumdan daha hızlı yapılırsa, “tetikleme isabetli” olacak ve olmadığında yanlış çalışacaktır. Bir koruma sistemi bazı diğer korumalar için destekleyici olarak istendiğinde, destekleyici sistem çalışmadan önce ilk korumanın kendi zamanında çalışması için yavaş yavaş düşürmek gerekir. Göz önünde bulundurulmuş destekleyici sistemin tipine bağlı olarak, koruma bazı zaman çalışması için yavaşlatılabilir.

6.1.3 Korumanın Güvenilirliği

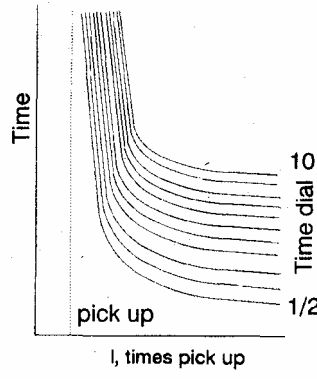
Röle alanında, güvenilirlik bazı çok özel kavramlar içerir (Mason, 1956). Güvenilir koruma sistemi iki özelliğe sahiptir:Güvenilirlik ve emniyet.Bu güvenilir röle, çalışmak için dizayn edilen durumlar için daima çalışan biridir. Emniyetli röle çalışması istenmeyen durumlarda çalışmayacak olan biridir. Modern güç sistemlerinde, bir arıza olduğundan güvenilirliğin olmayışı- çalışma arızası güç sisteminde çok ciddi sonuçlara sahiptir. Buyüzden, çoğu koruma sistemleri iki kat hesaplamalı techizatla, hesaplama fonksiyonlarıyla ve destekleyici korumanın çoğu seviyelerini sağlamakla güvenliği sağlanır.Bu yüzden modern sistemler çok güvenilir olma eğilimindedir. Örneğin, her hata belki birden fazla röle tarafından temizlenir. Sonuç olarak, emniyet az çok azaltılır: modern koruma sistemlerinde bazen techizat yanlışlıkla harekete geçer. Böyle oluşumlar çok nadirdir. Fakat yaygın olmadığı anlamına gelmez. Zayıf olan güç sistemleri gibi, üretim ve tüketim yedek payı yetersizdir. Emniyetsizlik yüzünden oldukça büyük zarar görebilir.Bu koruma sisteminin emniyet ve güvenlik arasındaki uygun dengeyi sağlamak için yeniden gözden geçirilmiştir.

6.2 Aşırı Akım Koruması

En basit koruma detektörü arızadan dolayı oluşan akımdaki artışı ölçen sensördür. Sigorta en basit aşırı akım korumasıdır. Gerçekte, tam koruma dizi sensör, röle ve paket devre kırııcıdır. Sigortalar alçak gerilim devrelerinde (dağıtım tevzi) kullanılır. Bunlar, yük ve arıza akımlarının aynı genlikte olduğu yüksek gerilim devrelerinde çalıştırmak zordur.Üstelik, uzun süre kesinti gerektiren sigorta yanmalarında değıştirilmelidir. Ayrıca sistem dengesizlikleriyle sonuçlanır. Yinede uygulandığında basit ve ucuzdurlar.

6.2.1 Ters Zaman Karakteristiği

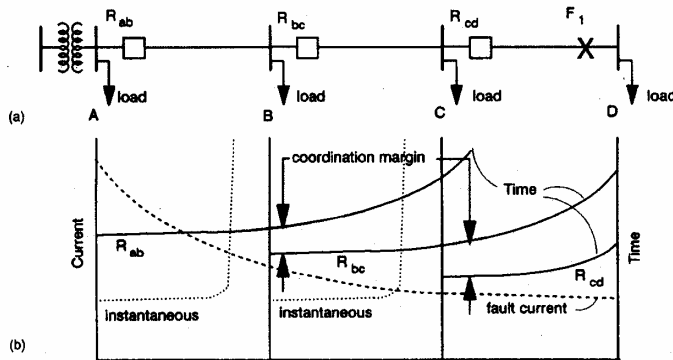
Devredeki akım büyüklüğünü hisseden aşırı akım röleleri ve ön setleme değeri ni aştığında (rölenin başlama ayarı olarak bilinir), röle çıkış kontaklarını kapatır, uygun devre kesicilerinin ani kontağını enerjilenir. Başlama ayarı devrenin taşıyabileceği en büyük yük akımından daha yukarı ayar yapılmalı ve röle çalışması için en küçük arıza akımından daha küçük olmalıdır.



Şekil 1.41 Ters-zaman röle karakteristiği

Bir taraftan maksimum yük ve diğer taraftan minimum arıza akım ve rölenin başlama ayarı arasında ikiden üçe kadar büyüklük faktörü arzu edildiği göz önünde bulundurulur. Aşırı akım rölesi genellikle şekil 1.41’de gösterildiği gibi ters zaman karakteristiğine sahiptir. Akım başlama ayarını aştığında, rölenin çalışma zamanı, akım büyüklüğüne göre ters orantılı olarak azalır.

Röle mekanizmasının bu özelliği yanında, röle ayrıca rölelerin ayarında daha çok esneklik göz önünde bulundurularak, ters-zaman eğrisi düşeyce kaydırıldığında zaman-dağıtım ayarı elde edilir. Zaman dağıtımını 11 başlama ayarına sahiptir, genellikle 1/2, 1,2... 10 isimlendirilir. En düşük ayarı en hızlı çalışmasıyla sağlanır. Ters-zaman karakteristiği bir paketteki koruma desteğini sağlamak için en başta ideal röleyi teklif eder.



Şekil 1.42 Ters –zaman aşırı akım kordinasyonu ve bir radyal sistem için ani röleler

F_1 'deki bir arıza Rad ve Rda rölesi tarafından fark edilmelidir. F_1 arızası için devre kesici B_{da} içinden geçen akım Rda rölesinin çalışması için fark edilir büyüklükte olmalıdır. Bununla birlikte, hatların empedansları F_2 arızasında B_{da} kesicisinden geçen akım F_1 arızasında geçen akımdan daha büyük olabilir. Bu yüzden, akım büyüklüğü sadece kriter ise, Rda rölesi F_1 arızasında olduğu gibi F_2 arızasında da çalışacaktır. Elbette F_2 için Rda'nın çalışma bölgesi A koruma bölgesinin dışında olduğundan uygunsuzdur. Bu problem yönlü aşırı akım röleler yapmakla çözülür. Koruma bölgesinin genişletilmesi yönünde, eğer arıza rölelerden ilerisinde oluşursa röleler aşırı akımla karşılık vereceği anlamına gelir. Yönlü olması röle yerindeki hat gerilimi gibi, bir referans büyüklüğü ve arıza akımı arasında faz açısı için röle hassasiyetini yapmakla sağlanır. Diğer referans kaynaklar ayrıca mümkündür, merkezi alt biriminde transformatör grubunun nötründe akımlar içeriyor.

6.3 Mesafe Koruma

Güç ağı çok kompleks olduğunda, yönlü aşırı akım rölesiyle koruma çok zor olur hatta imkansızdır. Rölelerin başlama ayarını hattın taşıması için beklenen maksimum yükün üzerinde ayarlanması gerekir. Bununla birlikte bir şebeke sistemi, maksimum yükü tanımlamak zor olduğundan farklı devre kısıyıcı çalışmaları yüzünden birçok mümkün konfigürasyonlara

sahiptir. Bu nedenle, minimum arıza akımı- başlama ayarı için tanımlanmış parametre- ayrıca belli değildir. Tüm sıkıntıları giderecek bu durumlar altında, aşırı akım rölelerinin başlama ayarı, imkansız olur. Mesafe röleler bu problemi çözer.

Mesafe röleleri röle yerindeki akım ve gerilimi oranına cevap verir. Oran empedansın boyutlarına sahiptir ve röle yeri ve arıza noktası arasındaki empedans arızanın uzaklığıyla orantılıdır. Koruma sınırı iletim hattının alıcı ve gönderici uç arasındaki uzaklıkla ilişkilidir, arıza mesafesini ideal hesaplamalı parametre oluşturur. Uzaklık akım büyüklüğünün serbest olduğu tek parametredir. Yukarıda bahsedilen yönlü aşırı akım röleleriyle bahsedilen çoğu zorluklardan böylece kurtarır.

Üç faz güç sisteminde, 10 tip arıza mümkün: üç tek faz toprak arızaları, üç faz-faz arızadan, üç iki faz-toprak arızaları ve bir üç faz arızasıdır. Üçgen geriliminin oranına duyarlı röleler üretir ve üçgen akımlar bütün çok fazlı arızaların doğru mesafesini ölçer. Üçgen nicelikler herhangi iki faz nicelikler arasındaki farklılık olarak tanımlanır; örneğin, E_a-E_b , a ve b fazları arasındaki üçgen gerilimdir. Böylece x ve y fazları arasındaki çok fazlı arıza;

$$\frac{E_x - E_y}{I_x - I_y} = Z_1$$

x ve y a, b veya c olabilir ve Z_1 arıza ve röle yeri arasındaki pozitif dizi empedansdır. Toprak mesafeli röleler için, arızalı faz akımı, ve kompenze edilmiş arızalı faz akımı kullanmak zorunludur.

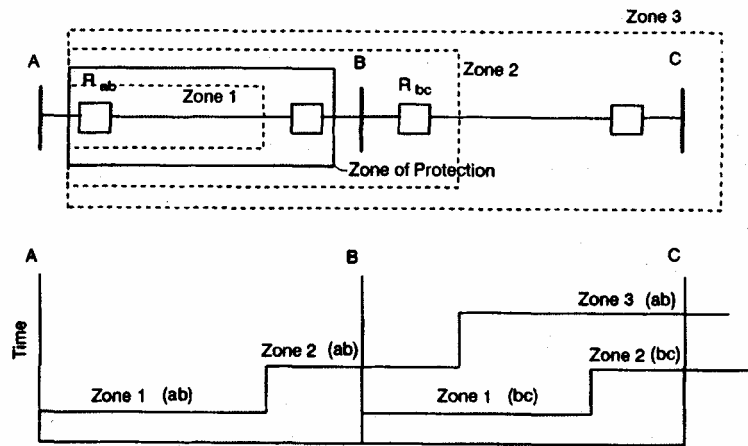
$$\frac{E_x}{I_x + mI_0} = Z_1$$

m hat empedansına bağlı olarak sabittir ve I_0 iletim hattının sıfır dizi akımıdır. Rölelerin tüm tamamlayıcısı üç faz mesafe röleleri ve üç faz toprak mesafe rölelerinden oluşur. Önceki açıklamalara göre, toprak koruma röleleri faz gerilimlerinin her biri tarafından

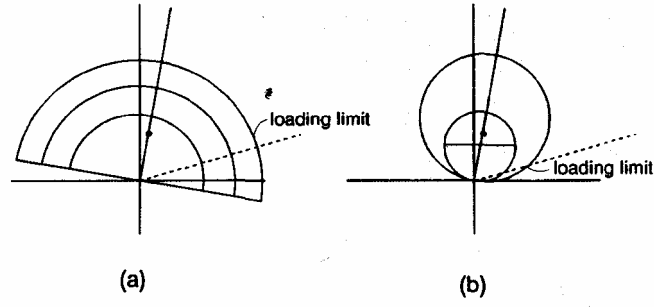
enerjilendiğinde faz röleleri üçgen niceliklerce enerjilendirilir ve uygun olanı faz akımları kompanze etmektir. Çoğu örneklerde, toprak mesafe koruması tercih edilmez, ve aşırı akım röle zamanı toprak arıza konması için kullanılabilir.

6.3.1 Basamak – Mesafe Koruma

Arızaların mesafe ölçümünün prensibi yukarıda açıklanmıştır. Bu prensipten yararlanan koruma sistemi, ölçme prensibinin birçok tipini göz önüne almalıdır ve tam koruma tasarımları geliştirmelidir. Şekil 1.44’de gösterilen sistemi göz önüne alır. Mesafe rölesi R_{ab} sıçrama hattı tarafından bahsedildiği gibi koruma bölgesiyle AB hattını korumak zorundadır. Bununla birlikte, röle tarafından yapılan mesafe hesabı B barası yakınında, bölge içindeki bir arıza ve bölge dışındaki bir arıza arasında ayırtedebilmek yeterince mümkün değildir. Bu problem iki bölge tasarımı sağlanmasıyla çözülür, örneğin arıza koruma içerisinde hissedilirse röle anlık hata yapar ve eğer bir arıza koruma 2 içinde hissedilirse, röle yaklaşık 0,3 sn’lik zaman geçilmesiyle hata yapar. Böyle bölge sınır yakını arızalar için, yakın arızalar esnasında, arıza zaman gecikmesiyle temizlenir. Temizleme anidir. Bu düzenleme basamak mesafe koruma tasarımı olarak bilinir.



Şekil 1.44 Basamak –mesafe koruma tasarımlarında koruma bölgeleri.Bölge 3hat röleleri için destek sağlar.



Şekil 1.45 (a) Yönlü empedans karakteristiği.(b) Mho karakteristiği.Gösterildiği gibi yüklenme limitleri

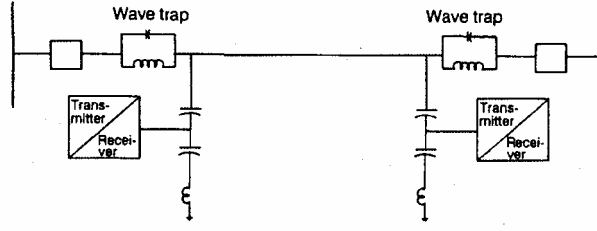
Komşu hattın (BC) röleleri, Rbc rölesinin koruma bölgesinin dışında tesir eden rölenin 3. bölgesi tarafından ayrıca desteklenebilir. Bölge 3, BC hattındaki arızayı çalıştırmak ve temizlemek için Rbc'nin bölge 1 ve bölge 2'sine müsaade edilenden daha fazla gecikme yapar.

Mesafe röleleri koruma karakteristiklerinin şekline bağlı olarak kotogorilerde daha fazla alt birimlere ayrılır. Daha çok ortaklaşa kullanılan röleler yönlü mesafeye ve mho karakteristiğe sahiptir. İki karakteristik şekil 1.45'te gösterilir. Yönlü empedans rölesi, yönlü buluş fonksiyonu ve mesafe ölçü fonksiyonu olmak üzere iki fonksiyondan oluşur. Mho karakteristiği röle dizaynı tarafından mho periyodu doğuştan yönlüdür, RX düzleminin orjininden geçer. Şekil 1.45'de ayrıca basamak mesafe korumanın birçok bölgeleri gösterilir.

6.3.2 Mesafe Rölelerinin Yüklenebilirliği

İletim hattı tarafından yük taşınması, röle tarafından görülen görülen empedansta taşınır.

$$Z_{app} = \frac{|E|^2}{P - jQ}$$



Şekil 1.46 Hatların pilot koruması için taşıyıcı sistem. Alıcılar ve vericiler rölelerle bağlıdır.

P-jQ yük kompleks gücü ve E mesafe rölesi bağlanmış baradaki gerilimdir. RX düzlemindeki bu empedans, diğer bütün görülebilir empedanslarda yapıldığı gibi düzenlenir ve bu görülebilir yük empedansı mesafe rölesi tarafından arıza için yanlışlık olup olmadığı konusunda sorular artıyor. Kullanılan mesafe koruma karakteristiğinin şekline bağlı olduğu açıktır. Mesafe rölesinin yüklenebilirliği, mesafe rölesinin koruma bölgesi görülür empedansın içine girmeden önce hattın taşıyabileceği maksimum yük gücünden (minimum görülür empedans) bilinir. Tipik yük hattı şekil 1.45’de gösterilmiştir. Mho karakteristiğinin yönlü empedans rölesinden daha fazla yüklenebildiği şekilden açıktır. Gerçekte, diğer röle karakteristikleri rölelerin yüklenebilirliği arttırması için dizayn edilebilir.

6.3.3 Mesafe Rölelerin Diğer Kullanım Alanları

Mesafe rölelerinin iletim hatlarını koruması başlıca kullanım alanı olmasına rağmen, bazı diğer koruma görevleri mesafe rölesince ayrıca sağlanır. Örneğin, generatörün alan kayıpları koruması mesafe rölesinin üzerinde kurulur. Dış kademe röleleri ve koruyucu reaktörler için röleler mesafe röleleri olabilir. Mesafe röleleri, ileride açıklanacak pilot koruma tasarımlarında ve güç aygıtları için destekliyiçi röleler olarak ayrıca kullanılır.

6.4 Otomatik Koruma (Pilot)

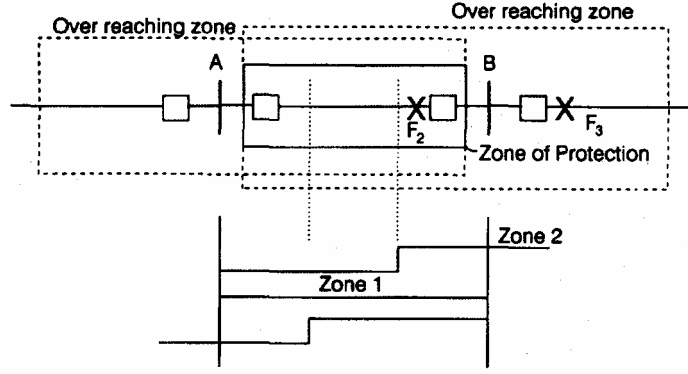
İletim hatlarında pilot koruma, koruma sisteminin hat terminalleri arasında koruma sisteminin integral elamanı olarak haberleşme kanalları (pilot kodlar)’ndan yararlanır. Genelde, pilot tasarımlar kullanılan haberleşme aracına göre alt kategorilere ayrılır. Örneğin, kanalları,

kiralanmış telefon devreleri, telefon devrelerinin tahsisi, mikrodalga kanalları, güç hat taşıyıcıları ve fiber optik kanalları olabilir. Pilot koruma tasarıları açma kapama pilot veya tıkayıcı pilotlara gibi fonksiyonlarına göre kategorize edilirler. İlkinde, haberleşme aracı uzak hatta açma-kapama sinyalini göndermek için kullanılır, daha sonra pilot kanal rölelerin koruma bölgesi dışındaki arızalarda açma-kapamayı önlemek için bir sinyal gönderir.

Güç hat taşıma sistemi Amerikada kullanılan sistemde daha yaygındır. 30 ve 300 kHz arasındaki değişen bir taşıyıcı sinyal frekansı ile birlikte bir haberleşme kanalı kullanılır, en çok kullanılan band genişliği 100 kHz civarındır. Modüle edilmiş taşıyıcı sinyal, eşleştirilmiş kapasiteler sayesinde enerji hattının bir veya daha fazla faz halinde eşleştirilir. Hemen hemen bütün durumda, kapasitif eşli gerilim transformatörlerin kapasiteleri bu fonksiyon (şekil 1.46'da görülüyor) için kullanılır. Taşıyıcı sinyal ayarlanmış alıcılar tarafından iletim hattını alıcı uç ve verici uçlarının her ikisinden de alınır.

6.4.1 İletim Hattının % 100'ünün Sigorta Sayısı

Kademe mesafe tasarımı iletimin hattını % 100 korumak için 1. bölge ve 2. bölge kombinasyonlarından yararlanır. Hattın iki ucundaki rölelerin 1. bölgesinde bulunan iletim hattının orta kısmını her iki uçtan yüksek hızda korunur. Bu yüzden, hattın gereken kısımlarındaki arızalarının, uzak uç 2. bölge süresinde arızayı temizlerken yakın arıza 1. bölge süresinde yüksek hızda arızayı temizler. Gerçekte böyle arızalar 0,3'den 0,5 saniyeye kadar 2. bölge süresince sistemde kalır. Bu kararlılık sınırını oldukça sınırlandırabilen modern güç sistemlerinde istenmeyen durumdur. Nasıl olursa olsun, iletim hattını her iki uçtan bütün iç arızaları yüksek hızla temizlemekle tüm hattı korumak için iyi bir koruma yapılmış olur. Pilot koruma bu işi gerçekleştirir.



Şekil 1.47 Aşırı bölge korumasında pilot koruma. Bu tıkayıcı tasarım yönlü karşılaştırmalarında daha çok kullanılır.

6.4.2 Yönlü Karşılaştırma Tıkayıcı Tasarımı

Şekil 1.47’de gösterilen F_2 ’deki arızaya dikkat edin. Yukarıda tartışıldığı gibi, bu arıza A barasındakinde bölge 2 süresince arızayı temizlerken B barasındaki basamak mesafe rölesince bölge 1 süresince temizlenecektir. Gerçekten rölelerin koruma bölgesi içinde olan F_2 gibi bir arızayı yüksek seviyeyle B barasındaki röleler tarafından belirlenebildiği sürece, F_2 gibi böyle bir arıza gerçekten rölelerin koruma bölgesi içindeyse, F_2 ‘deki arızayı açmak –kapamak için local devre kesicisine neden olan terminal A’ya bu bilgiyi bildirir. Eğer bütün koruma ve haberleşme görevi çabukça yerine getirilirse, hattımız % 100 yüksek hızda korunabilir. Bitirilmiş bu çalışmalardan en yaygın kullanılan metodlardan biri her iki terminalide koruma bölgesi dışı olarak kullanmaktır ve eğer bir arıza bu alan içerisinde belirlenirse ve eğer uzak terminal, koruma alanı içindeki arızayı doğrularsa, bundan sonra lokal rölenin kesmesine müsaade edilir. Güncel uygulamalarda, bu bilginin tamamı uzak uçta arızayı engelleyici olarak kullanılır. Bu nedenle uzak uç terminal B olduğu takdirde, koruma bölgesinin dışındaki arızayı fark eder ve bu arızalar için arıza emrini engellemek için A terminalindeki röle için gereken bir sinyal gönder. Böylece, F_3 gibi bir arıza için, A rölesi açıp-kapayacak, bu özel arıza koruma bölgesi dışında olduğundan B terminalinden haber alınmadıkça A’daki röle açılıp-kapanacaktır. Tıkayıcı taşıyıcı olarak bilinen bu yöntem, iç arızalar sayesinde taşıyıcı sinyal kayıpları ürettiği için veya arızayla alakalı olmayan nedenler yüzünden tercih edilir ve uzak uçtaki arızayı önleyemeyecektir. Bu son derece güvenilir sistemdir ve azçok emniyetli olduğu kesindir. Buna rağmen, daha önce tartışıldığı gibi, kullanımda yeni arızalar için

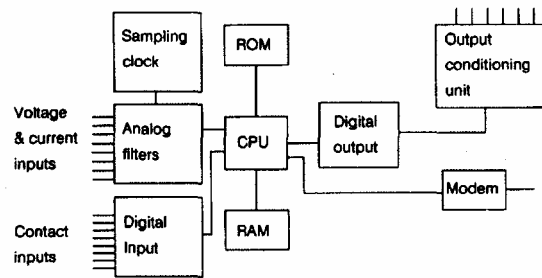
gereksiz açma-kapama ile sonuçlansa bile, çoğu güç sistemi mümkün olduğunca arızayı uzaklaştırmak isterler.

6.4.3 Diğer Pilot Koruma Tasarımları

Pilot koruma tasarımlarının diğer birçok tipi uygundur. Özel tasarı seçimi birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerden bazıları güç sistemi hattının önemi, uygun haberleşme ortamı, haberleşme ortamının güvenilirliği, iletim hattının yük seviyesi, geçici kararlı osilasyonlu sistemin hassasiyeti, seri ve şönt kompanzasyon aletlerinin hazır bulunması, çok çıkışlı hatlar vb. bu konuların bütün görüşleri kaynakta bulunur. [Westinghouse, 1982; Blackbur 1987, Haraultz Vand Phodke ,1993]

6.5 Hesaplamalı Röle

Hesaplamalı röle 1960'lerin ortasında teknik literatürde tartışılmaya başlanmıştır. İlk, bu bir akademik çalışmadır, ne bilgisayarın hızı nede fiyatı hesaplamalı rölelerin kullanmayı haklı gösterir. Bununla birlikte yüksek performanslı mikroişlemcilerin gelişiyile, bilgisayarlı yedekleyici, araştırılması ve geliştirilmesi daha pratik ve çekici hale gelmiştir. Elektrik güç ekipmanlarının bütün büyük imalatçıları, güç sistem mühendislerin bütün ihtiyaçlarını karşılamak için bilgisayar röleleri imal ederler. Hesaplamalı röle birçok üniversitede öğretilmekte ve mezun öğrenciler için araştırma konusu olarak birçok olanak sağlar. Hesaplamalı röle güç sistem parametrelerinin ölçümünde yeni yollar ortaya çıkarmıştır ve güç sistemlerinin kontrolü ve kontrol fonksiyonlarının gelecekte gelişimini etkileyebilir.



Şekil 1.48 Hesaplamalı röle yapısının blok diyagramı

6.5.1 Hesaplamalı Rölenin Nedenleri

Bilgisayar rölelerinin kabul edilmesi mikrobilgisayarlar son derece ucuz olmasından kaynaklanan ekonomik faktörler yüzündendir. Bu ekonomik avantajlara ilave olarak, hesaplamalı röleler ayrıca çok yönlüdür. Onların kendi kendine fark etme yeteneği yüzünden, elde edilebilir bir güvence sağlarlar. Böylece geleneksel röleler gibi alanda aynı sayıda başarısızlıklara uğramamasına rağmen, başarısızlıkları kontrol merkezlerine bildirilebilir ve bakım grubu arızayı derhal tamir için uyarılır. Fark etme yeteneğinin bu yönü geleneksel koruma sistemlerinden kusur oluşturur ve uzayan periyotlarda fark edilmemeye giden röle başarısızlıklarına götürür. Hesaplamalı rölelerle uygun güç hesabı, çoğu örnekte daha iyi ve yeni konuma fonksiyonlarını yapabilmek için ayrıca verilmiştir. Geliştirilmiş transformatörlerin koruması, çok terminalli hatlar, arıza yeri ve kapalı çevrimi, muhtemel önemli etkilere sahip olan hesaplamalı rölelerin konuma fonksiyonların birkaç tanesidir. Hesaplamalı röle alanında çok önemli gelişmeler muhtemelen gelecek yıllarda ortaya çıkacaktır.

6.5.2 Bir Rölesinin Yapısı

Bilgisayar tabanlı röleleri oluşturmanın birçok yolu vardır. Şekil 1.48, bir bilgisayar röle yapısının az çok tipik bir blok diyagramıdır. Giriş sinyaller akım ve gerilimlerden oluşur ve kontak durumları zaman veren dalgaları ve istenmeyen frekans bileşenlerini yok etmek için filtre edilir. Bu sinyaller örnekleme zamanının kontrolü altında CPU tarafından örneklenir. Modern dijital rölede kullanılan örnekleme frekansı, nominal güç sistem frekansını 4 ile 32 zamanları arasında örnekler. Örneklenmiş veri, uygun hesaplama miktarını tahmin eden dijital filtre algoritmasıyla CPU tarafından hazırlanmıştır. Tipik bir hesaplama miktarı akımın, gerilim veya akım fazörünün veya görülür empedansın rms değeri olabilir. Tahmin edilen parametreler daha sonra önceden depolanan röle karakteristikleriyle karşılaştırılır ve uygun kontrol faaliyeti başlatılır. Rölenin kararı çıkış portlarından devre kesicileri gibi alt durumlara bildirilir. Bu çıkışlar, çıkış hatlarından röleyi çalıştıran herhangi bir dalgayı engellemek için ayrıca filtre edilir. Çoğu durumlarda, röle, modemden dış dünyayla ayrıca haberleşebilir. Arızadan oluşan bilgi hesaplamalı röle tarafından genellikle kurtarılır ve arıza analizlerinde veya güç sistem bozulmasına takriben sıfırdizi analizlerinde kullanılabilir. Kullanıcı,

klavyeden, kontrol panelindeki veya bir haberleşme portundaki röleyle karşı karşıyadır. Ne olursa olsun, röle ayarlarını girmeye ve güç merkezinde arıza oluştuğu takdirde bu ayarları kurtarmaya zorunlu olunur. Şekil 1.48'deki blok diyagramı farklı özel alt sistemleri göstermesine rağmen, altsistemin gerçek hardware tertibi bilgisayar imalatçılarına bağlıdır. Bu yüzden, bir veya daha fazla kontrol sisteminin her birini kontrol eden birçok mikrobilgisayar bulabiliriz. Ayrıca, hardware teknolojisi sürekli değişim içindedir ve birkaç yılda bilgisayar rölelerinin tamamıyla farklı uygulamalarını görebiliriz.

6.5.3 Deneyimler ve Gelecek Eğilimler

Hesaplamalı rölelerle alan deneyimi şimdiye kadar mükemmel olmuştur. geleneksel röle imalatçıları büyük ölçülerde bu teknolojiyi benimsemişlerdi. Daha fazla deneyim hesaplamalı rölelerin özel istekleriyle kazanıldığı için, diğer geleneksel olmayan röle üreticilerin bu alana girecekleri muhtemeldir.

Hesaplamalı rölede, güç sistem mühendisleri yeni olanakları ortaya çıkarmakta alet sağladığı açıkça görülüyor . Şu anda haberleşme ağlarının geliştirilmesiyle bilgisayarlar geliştirilmiş kontrol edici, koruma ve güç sistemlerinin kontrolü idare edebilir. Ortaya çıkan yeni bir alan, adaptif röleler son yıllarda tanıtılmıştır. (Phadke ve Horowitz, 1990). Koruma sistemleri güç şebekelerinin durum değişimlerine adapte olabildiği fikridir. Bu durumda, koruma sistemleri çok hassas ve güvenilir olur. Hesaplamalı rölelerin izini takip eden diğer gelişme ,güç sistemlerinde senkronize edilmiş fazör ölçmeleridir. (Phadke ve Thorp, 1991) Evrensel yer belirleyici sistem uydularının gelişimi röleler ve diğer güç sistemindeki ölçü aletleri tarafından örnekleme zamanının senkronizasyonu mümkün yapmıştır. Bu teknoloji elektrik güç şebekelerinin kontrolü üzerinde ve statik ve dinamik durum tahmini üzerinde büyük etki sağlayacağı beklenilir.

6.6 Tanımlayıcı Terimler

Hesaplamalı Röleler: lojik elemanlar olarak dijital bilgisayarlarca kullanılan röleler.

Mesafe Koruma: Röle prensibinin temelini arıza yerlerini tahmini oluşturur ve cevap vermesi arıza mesafesine bağlıdır.

Elektromekaniksel röleler: Elektromekaniksel lojik elemanlarının kullanıldığı röleler.

Pilot: Kesin arızaların güvenli teşhisine yardım için röleler tarafından kullanılan bir haberleşme aracı.

Röleler: Güç ekipman ve sistemlerinde arızayı hisseden alet ve arızalı aletlerin enerji olmaksızın en uygun kontrol yöntemi

Emniyet: Röleler için, emniyet güvenilirliği vurgular. Gerektiğinde mutlaka çalışmasını, güvenlik gerekmediğinde çalışmamaktır.

Sıvı seviye röleleri: Lojik elemanlarla sıvı seviye analog bileşenlerini kullanan röleler.

Dönüştürücüler: Rölelerin kullanabildiği düşük genlikli sinyalleri tek tipe indirmek için yüksek genlikli işaretleri azaltan akım ve gerilim transformatörleri.

İlişkili Konu

1.3 Transformatörler

6.7 Kaynaklar

J.L.Blackburn , 'Koruma hesaplamas

A.G.Phadke ve S.H.Horowitz, 'Adaptif koruma'

A.G.Phadke ve S.H.Horowitz, 'Senkronize edilmiş fazör ölçümlerinden güç sistemlerinin kontrol ve korunması'

6.8 Ek Bilgi

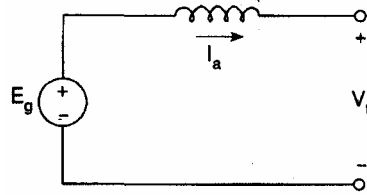
Verilen referanslara göre, raporlar IEEE'nin Güç Sistem Röle Komisyonu tarafından himaye edildi ve koruyucu röle denemeleri ve sistemleri hakkında bilgi çokluğu içeren Güç Dağıtımını IEE İdarelerinde yayımlanmıştır.Röleler ve röle sistemleri genellikle standartları takip eder.

Hesaplamalı röle sahası, A.G. Phodke ve J.S. Tharp tarafından Güç Sistemler için hesaplamalı röleler içine alır. (New York: Wiley, 1988)

7. Güç Sistemlerinin Geçici Davranışları

R.B.Gungor

Güç iletim sistemlerinin kararlı davranışları eski güç dağıtım şebekelerinin başlangıcından beri kuruluşların büyük bir ilgisini uyandırmıştır. Geçici davranış ve geçici davranış altındaki kararlılık, gelecek işletmeler için dizayn edilmiş sistemler gibi var olan sistemler içinde incelenir.



Şekil 1.49 İdeal senkron genaratörün faz modeli

Güç sistemleri, yavaş sistem için sabit durumda normal olarak çalışması ışıklı arklar, bazı generatör kayıpları ve arızalar yüzünden bazı iletim hatlarının kayıpları gibi acil durumlar altında anahtarlama etkileri altında değişirken sabit olmalıdır.

Sabit çalışmasını sürdürmek için torkları geliştirmek amacıyla güç sisteminin davranışı kararlılık olduğu bilinir. Sistemin kararlılığının belirlenmesi senkron genaratörlerin statik ve dinamik karakterlerine dayandırılır. Büyük indüksiyon makineler, bozulmaya başladığı son bir veya iki peryottaki substransient çevrim süresince sisteme enerji katkısında bulunmasına rağmen, genelde, indüksiyon makine yükleri geçici durum hesaplamasında statik yük gibi davranır. Bu diğerleri arasında basitleştirme yöntemlerinden biridir.

Stotor direnci ihmal edilmiş ve lineer olmayan ideal senkron genaratörün faz başına modeli, E_g üretilen (uyarma) gerilim ve X_s sabit durum senkron reaktansının olduğu şekil 1.48 de

gösterilmiştir. Transient ve subtransient akımların hesabında, X_s transient reaktans X_s' ve subtransient reaktans X_s'' 'e göre değiştirilir.

Bu modeldeki generatörünün faz başına elektriksel çıkış gücü 61.71 eşitliğinde verilmiştir.

$$P_e = \frac{E_g V_t}{X_s} \sin \delta = P_{\max} \sin \delta \quad (61.71)$$

δ güç açısı uç gerilimi ve üretilen gerilim arasındaki açıdır. Eşitlik 61.71 nin basit güç açısı ilişkisi, reaktans tarafından ayrılmış herhangi iki gerilim arasındaki gerçek güç akışı için kullanılabilir.

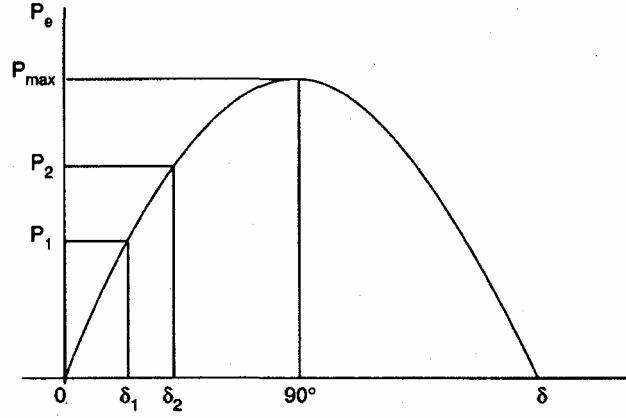
Senkron makine için toplam güç akısı, gerilimin volt ve reaktansın ohm olarak kullanıldığı eşitlik 61.71 sayesinde üç kere değeri hesaplanılır. Diğer yandan, eşitlik (61.71), per-unit gerilimler ve reaktansın kullanıldığı per-unit gücü verir.

Şekil 1.50, eşitlik 61.71'in güç-açı ilişkisinin taslağını gösterir. Buradaki P_1 gücü, δ_2 'den P_2 ve δ_1 'den makine tarafından taşınır. Çıkış gücünün $\delta=90$ için $P_{\max}$ 'a aşamalı olarak değiştirme süresinde, makine kararlı olacaktır. Sabit durum kararlılığını limit olarak bu şekilde tanımlayabiliriz.

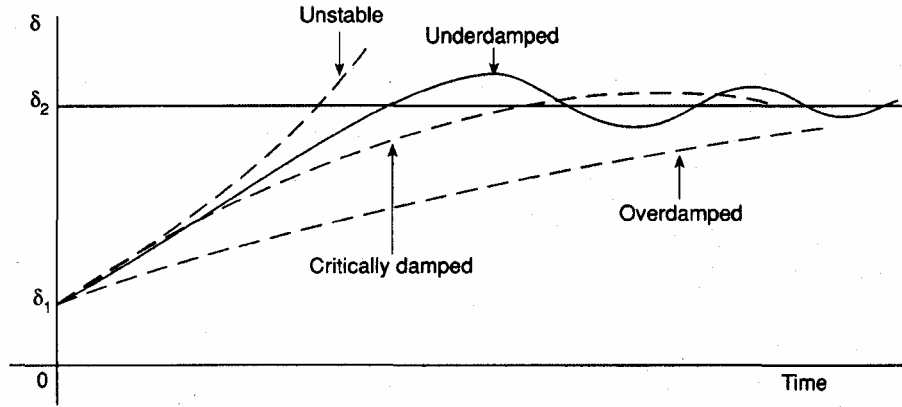
$$\delta \leq 90^\circ \quad \frac{\partial P}{\partial \delta} > 0 \quad (61.72)$$

Generatör yükünde ani bir değişiklik, örneğin P_1 den P_2 'ye, güç açısı δ yüke sağlanan toplam gücün artması için rotorun yavaşlamasına neden olacaktır. Bununla birlikte, rotorun dönüşü ani olarak durdurulamaz. Bu nedenle, δ_2 'de geliştirilen güç yükün ihtiyacın karşılamaya yeterli olduğu halde, rotor dönüşü durdurmak için yeterli derecede büyük zıt Emk elde edilmesine kadar δ_2 sınırını aşar. Fazla enerji δ 'yı azaltmak için rotoru hızlandırmaya başlayacaktır. Atalet ve nemliliğe bağlı olarak bu osilasyonlar bastırılacak veya makine kararsız olacak ve sistemi devam ettirmek için sekronizasyonu kaybolacak. Bu senkron generatörün geçici davranışının temelidir. Bu çalışma boyunca δ 'nın 90° den daha büyük

olması mümkün olabilir ve makine hala kararlı kalır. Bu yüzden $\delta = 90^\circ$ geçici kararlılık limiti değildir.



Şekil 1.50 İdeal senkron generatörün güç-açı karakteristiği



Şekil 1.51 Tipik güç açısı-zaman ilişkisi

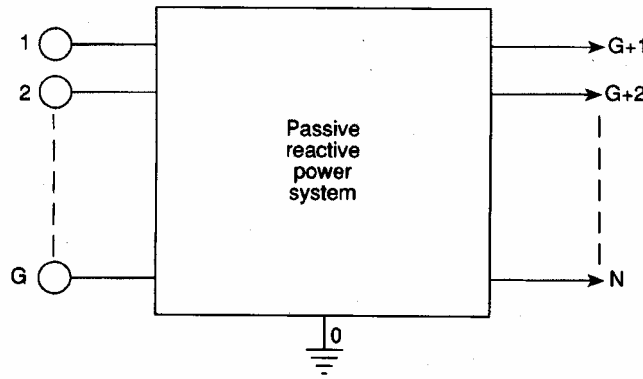
Tartışmaların sonucu olarak, uyarma sisteminin dengede tutucu etkilerini (1); hız regülatörleri (2); ve türbin kanatları (senkron generatörlerin kutuplarının içine yerleştirilmiş bakır kafes) ihmal edilir.

7.1 Güç Sistemlerin Kararlı Davranışı

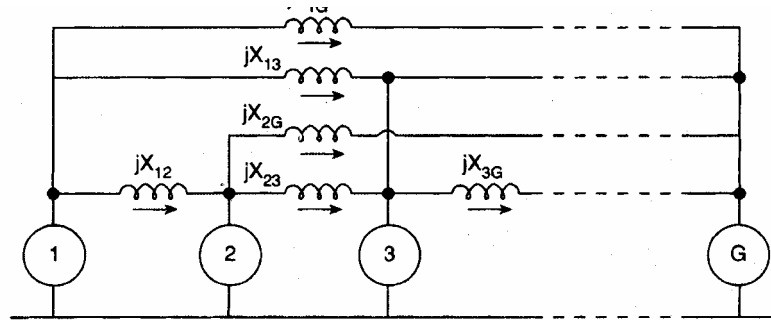
Şekil 1.52 G- generatörleri ile bir N-bara güç sistemini gösterir. Çok makineli iletim sistemlerinin kararlılığını incelemek için, iletim hatları ve transformatörlerin dirençleri ihmal edilir ve reaktif şebekeler yükleri atmakla ve yük baraları çıkarmakla generatör iç gerilimini düşürür. Böyle bir düşürücü şebeke Şekil 1.53’de çizilmiştir.

Düşürücü şebekenin reaktanslarından akan güç;

$$P_{ij} = \frac{E_i E_j}{X_{ij}} \sin \delta_{ij} \quad i, j = 1, 2, \dots, G \quad (61.73)$$



Şekil 1.52 Çok makineli reaktif güç sistemi



Şekil 1.53 Çokportlu düşürücü reaktif şebeke

Generatör güçleri

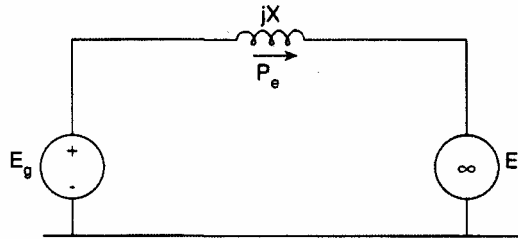
$$P_i = \sum_{k=1}^G P_{ik} \quad (61.74)$$

Sistemin hala kararlı olması için;

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_{ij}} > 0 \quad i = 1, 2, \dots, G \quad (61.75)$$

61.75 Eşitlik, sabitler olarak eşitlikteki (61.74) güçlerin hemen hemen ikisini göz önünde bulundurarak aynı zamanda iki makinenin incelenmesini yapar.

$$dP_i = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_{i1}} d\delta_{i1} + \frac{\partial P_i}{\partial \delta_{i2}} d\delta_{i2} + \dots + \frac{\partial P_i}{\partial \delta_{iG}} d\delta_{iG} = 0 \quad (61.76)$$



Şekil 1.54 Sonsuz baraya bağlı bir ideal genaratör

Bu G-2 eşitlikleri G-2 döijs için eş zamanlıca çözölür, daha sonra eğer i=k ve i=n 'e uygun eşitlik (61.75) yerine getirilirse, δ_{kn} ile ilgili olarak P_k ve P_n 'nin kısmi türevini hesaplamak için dP_k ve dP_n eşitliklerinde yerine koyulur. Daha sonra bu metot kalan çiftler içinde tekrarlanır.

Yöntem özetlendiğinde zorlaştırılmış görünmesine rağmen, verilen sistem için bilgisayar algoritması yapmak çok zor değildir. Geçici kararlılık incelenmesi için, sekron makinelerin dinamik davranışları göz önüne alınmalıdır. Bir reaktans vasıtasıyla sınırsız baraya (ideal kaynak) bağlanmış bir ideal generatör şekil 1.54’de çizilmiştir.

İvmelendirici güce ilişkin güç açısının ikinci türevi olarak adlandırılan hareket eşitliği eşitlikte (61.77) verilmiştir. (δ ’nın fonk. olarak elektriksel güç ve mil gücü arasındaki farklılık)

$$P_a = P_s - P_e$$

$$M \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_s - \frac{E_g E_i}{X} \sin \delta \quad (61.77)$$

M=HS/180f (Ml/elektriksel derece); H atalet sabiti, (Ml/MvA); S makine kapasite (MVA); F frekans (Hz);Ps mil gücü (MW)

G makinelerini içeren sistem için eşitlikte (61.78) verilmiş olan G hareket eşitliklerinin tümü eş zamanlıca çözülmelidir.

$$M_i \frac{d^2 \delta_i}{dt^2} = P_{s_i} - P_{\max_i} \sin \delta_i \quad i = 1, 2, \dots, G \quad (61.78)$$

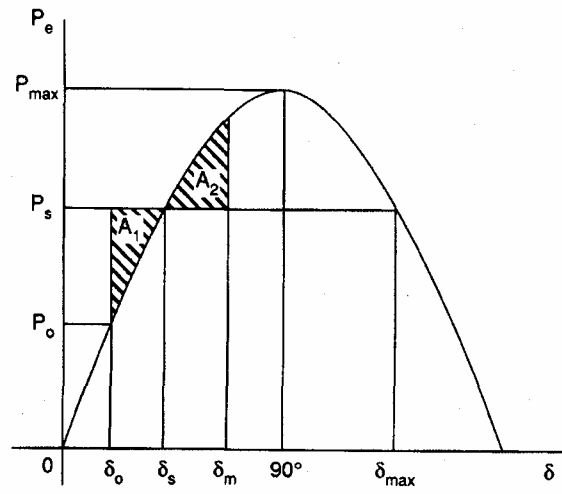
Şekil 1.54’deki tek makineli sistemin hareket eşitliği grafiksel ve analitiksel yöntemlerin her biriyle çözülebilir. Eşit alan kriteri olarak adlandırılan grafiksel integrasyon için, subtransient reaktansları tarafından makineyi gösteririz, farzedilen elektriksel güç eşitlik (61.71) sayesinde hesaplanabilir ve geçici davranışlar boyunca mil gücü P_s sabit kalır. Daha sonra, güç açısı dalgalarını kullanarak, dalgaların çalışma noktalarının yerlerini çizeriz ve kararlılık için olanlar eşitlenir. Şekil 1.55, makine mil gücünün P_0 ilk değerinden P_s ’ye ani olarak arttığını gösteren bir örnektir.

Aşırı enerji, P üstündeki alan aşağıdaki alana eşitlendiğinde δ_o 'dan δ_m 'e δ 'nın artması için rotoru hızlandırmaya başlayacaktır. Bu alanlar

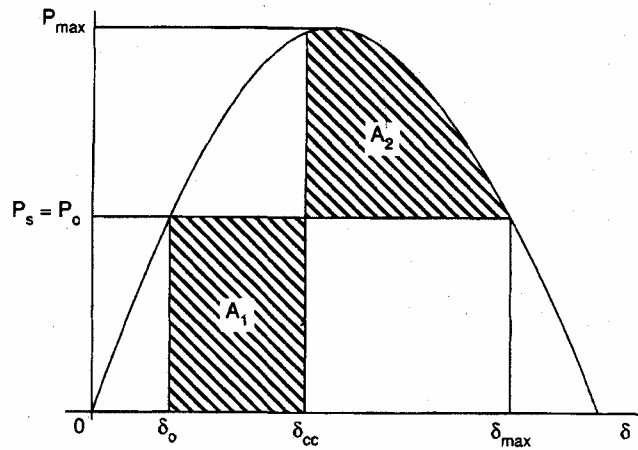
$$A_1 = P_s(\delta_s - \delta_o) - \int_{\delta_o}^{\delta_s} P_{\max} \sin \delta d\delta$$

$$A_2 = \int_{\delta_s}^{\delta_m} P_{\max} \sin \delta d\delta - P_s(\delta_m - \delta_s)$$
(61.79)

P_o , P_s , δ_o ve δ_s , δ_m yerine koyulduğunda hesaplanabilir.



Şekil 1.55 Senkron genaratörün ani yüklenmesi

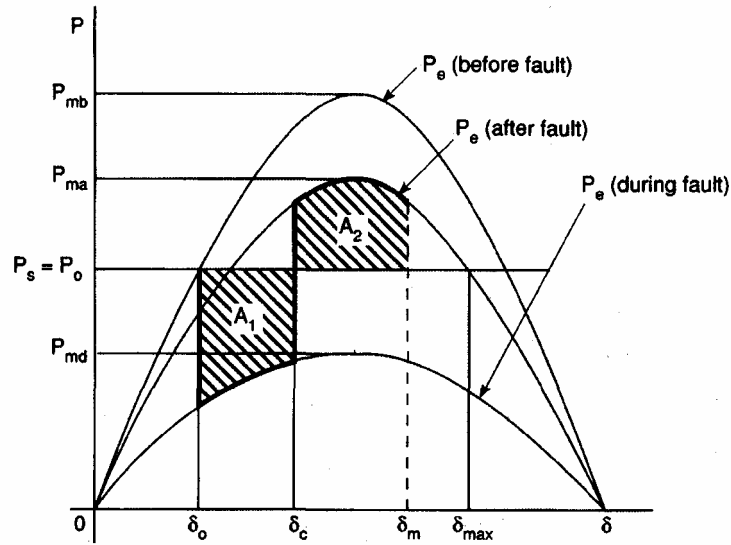


Şekil 1.56 Kararlılık için kritik temizleme açısı

Sıfır için sonsuz baraya güç transferini düşüren üç faz arıza şekil 1.56 diğer örneği açıklar. δ_{cc} makinenin kararlı kalmayacağı kritik temizleme açısıdır. Şekil 1.57’de gösterilen üçüncü örnek güç transferinden önceki, esnasında ve daha sonraki arıza farklılığını gösterir.

Hareket denkleminin analitiksel çözümü için i bir numerik integrasyon tekniği kullanılır (Euler metodu, değiştirilmiş Euler methodu, Runge Kutte methodu, vb.). Daha sonraları daha yaygın olarak bilgisayar algoritmaları kullanılmıştır.

Geliştirilmiş çözüm metodları değişik fikirler üzerine kurulmuştur. Makineler subtransient reaktanslarca gösterilir, elektriksel güçler 61.71 eşitliğinden hesaplanır ve mil gücü seçici durum boyunca değişmez. Ayrıca, hız artışları zamanın artışlarının başlangıcın da çalıştırıldığı farzedilir ve ivme artışları zaman artışlarının ortasında başlar; sonunda averaj ivme ivmenin devam etmediği yerde kullanılabilir. (örneğin, devre kesicilerin açılıp veya kapanması)



Şekil 1.57 Arıza süresince güç transferi için güç-açı ilişkisi

Şekil 1.58 yukarıda çizildiği gibi açı, hız ve ivmenin zamana göre değişiminin şeklini gösterir. Bu düşünceler doğrultusunda, δ açısının yeni değeri önceki değerlerden çıkarılabilir.

$$\delta_{k+1} = \delta_k + \Delta_{k+1}\delta = \delta_k + \Delta_k\delta + \frac{(\Delta t)^2}{M} P_{ak} \quad (61.80)$$

İvme gücü;

$$P_{ak}' = P_s - P_{ek}$$

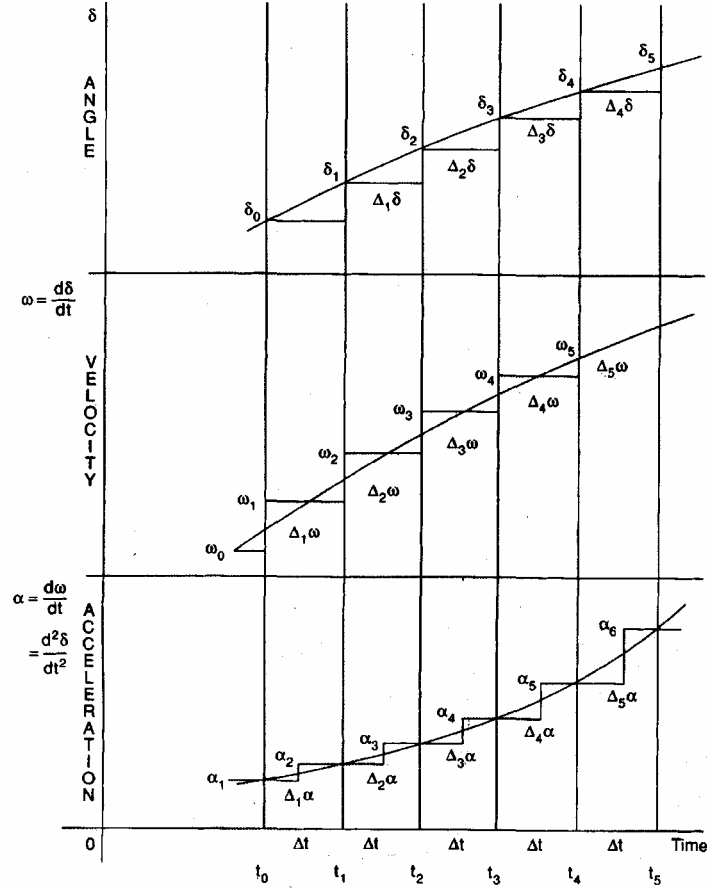
Ve

$$P_{ek} = P_{\max k} \sin \delta_k$$

Tablo 61.5’de gösterildiği gibi el hesaplamalı bir tablo için hızlı işlem amacıyla başlatılabilir.

TABLE 61.5 Numerical Calculations of Swing Equations

n	t	$P_{\max}$	P_e	P_{ak}	$\frac{(\Delta t)^2 P_a}{M}$	$\Delta_{k+1}\delta$	δ_k
0	0 ₋						
0	0 ₊						
0	0 _{av}						
1	Δt						
2	$2\Delta t$						
3	$3\Delta t$						
4	$4\Delta t$						
5	$5\Delta t$						
6	$6\Delta t$						



Şekil 1.58 Artan açı,hız ve ivmenin zamana göre değişimleri

Bilgisayar algoritmaları, subtransient reaktanslarca gösterilen genaratörlerde reaktif şebekeyi generatör iç gerilimine düşüren arıza öncesi, arıza süresince ve arıza sonrası Z_{BUS} matrisinin kullanılmasıyla geliştirilir. Her generatörünün hareket eğrileri belirtilen durum için güç açısının sayısal integrasyonu ile elde edilir, daha sonra hareket eğrilerinin tümü geçici kararlılığının gözlemlenmesi için grafiği oluşturulur.

7.2 Tanımlayıcı Terimler

Tehlikeli açma açısı: Tehlikeli açma zamanına uygun güç açısı

Tehlikeli açma zamanı: bir arızada geçici kararlı kalması için sistemin açılması gereken maksimum zaman.

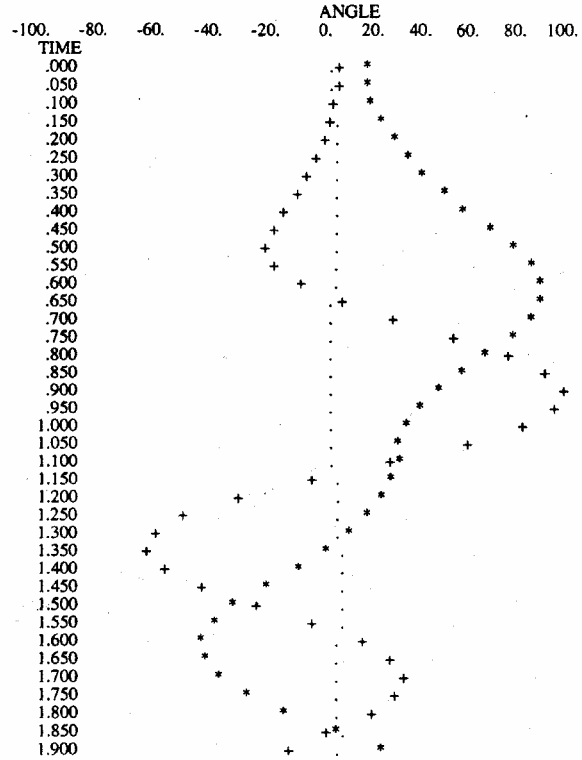
Bozukluk (Arıza): Bir güç sisteminin oluşumu veya bileşenlerdeki değişmelerin sırası veya ani bir değişme

Transient stability program
7-Bus system with 3 generators
3-Phase fault at bus 6, cleared at
0.5 seconds by removing the line 1-6

Time	Gen	Angle	Power
.000	1	3.46	118.38
.000	2	5.80	111.90
.000	3	15.16	95.65
.050	1	3.46	118.59
.050	2	5.31	110.95
.050	3	15.86	96.24
.100	1	3.46	119.21
.100	2	3.84	108.12
.100	3	17.97	97.99
.150	1	3.46	120.15
.150	2	1.47	103.59
.150	3	21.45	100.83
.200	1	3.46	121.31
.200	2	-1.66	97.62
.200	3	26.27	104.66
.500	1	3.46	55.48
.500	2	-26.55	-215.72
.500	3	79.92	481.86
.900	1	3.46	-198.56
.900	2	100.99	458.41
.900	3	49.43	72.78
1.950	1	3.46	125.86
1.950	2	-30.18	-216.29
1.950	3	41.40	425.31
2.000	1	3.46	125.86
2.000	2	-34.60	-216.29
2.000	3	57.78	425.31

3-PHASE FAULT AT BUS 6, CLEARED AT 0.5 SECONDS

GEN NO. 1 ONE
+ GEN NO. 2 TWO
* GEN NO. 3 THREE



Büyük bozulma: Dinamik davranıştaki eşitlikler analiz için lineer edilemediği durumdaki bozulma

Güç açısı: Senkron generatörün giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki fark.

Küçük bozulma: Dinamik davranıştaki eşitlikler analiz için lineer edilebildiği durumdaki bir bozulma

Kararlılık: Bir bozulmada kararlı davranışın devam ettirmek için torkları geliştirmeye ilişkin bir güç sisteminin yeteneği

Sabit durum kararlılığı: Bir küçük arızadan sonra diğer sabit durum davranış noktasına kayarsa, güç sistemi sabit-durum değişmezdir.

Geçici davranış: Bir arıza yüzünden normal olmayan durumlar altındaki bir güç sistem davranışı

Geçici kararlılık: Büyük bir arızadan sonra sabit durum davranış noktası kayarsa bir güç sistemi geçici kararlıdır.

İlişkili Konu

12.1 Tanıtım

7.3 Kaynaklar

J.Arrillaga,C.P.Arnold, ve B.J.Harker ,Elektrik güç sistemlerinin bilgisayar modellenmes
A.R.Bergen ,Güç sistem analizleri
H.E.Brown ,Matriks metoduyla büyük şebekelerin çözümü
A.A.Fouad ve Vittal,Güç sistem geçici kararlılık analizi
J.D.Glover ve M.Sarma ,Güç sistemlerinin dizayn ve analizi

7.4 Ek Bilgi

Yukarıda listelenen kaynaklara göre, ek ve daha yeni bilgi, güç sistemlerindeki IEEE idareleri, Güç Dağıtımındaki IEEE işlemleri enerji dönüşümündeki IEEE işlemleri ve otomatik kontroldaki IEEE işlemleri gibi IEEE yayınlarında bulunabilir.

IEEE'nin Güç Mühendislik Mecmuası ve Güçte Bilgisayar uygulamaları rapor özetleri için iyi kaynaklardır. Son olarak, 1950'den önceki zamanki yapılmış sistemleri ve Güç cihazları hakkındaki IEEE işlemleri göz önünde tutulabilir.

8. Planlama

J. Duncan

Bir elektrik iletim sistemi üç temel fonksiyonu yerine getirir.:Genaratörlerden sisteme çıkış gücü dağıtımı ,dağıtım sistemine güç sağlanması ve diğer kuruluşlarla enerji değişimini sağlamak .Elektrik kkuruluş endüstrisi planlama prensipler ve iletim sistemi güvenilirliği bu temel fonksiyonların yerine getirildiğinden emin olmak için kriterler geliştirmiştir.Kuzey

Amerika Elektrik Güvenilirlik Meclisi güvenilirlik ,uygunluk ve emniyet terimlerini vermişlerdir.

Sistem güvenilirliği iki perspektiften bakılabilir:kısa dönem güvenilirliği ve uzun dönem güvenilirliği .Sistem davranışı kısa dönemde gerçek zaman emniyetiyle gözönüne alınır.İletim planlama mühendisi kısa dönemde sadece emniyeti dikkate almaz ayrıca uzun dönemde gelecekte 25 veya daha fazla yıl için uygunluk ve güvenlik durumlarını dikkate alır.

Üç ile beş yıllık veya daha fazla istenen büyük iletim tesislerinin kurulması oturmuş ve sertifikalı yöntemlere bağlıdır.Planlama yöntemi, istenilene uygun olanı temin etmek için bu kuruluşların çalışmadan önce on yıldan fazla ihtiyaç gösterir.Uzun başlama süresi ,çevresel etkiler ve yeni iletim tesisatları için gereken yüksek maliyetler yeni optimal planlama için dikkat gerektirir.Uzaysal yük değişimleri ve genaratör çiftleri gibi sistem çalışma durumlarındaki gelecek değişimler ,teknik olmayan faktörler nedeniyle çoğu alternatif arasında en iyi tekniksel çözümü seçmek için iletim planlama mühendisinin kabul etmediği kesin olmayan durumlar yaratır.İletim planlama gelecekte kesin olmayan durumlar altında maliyet ,çevresel etkiler ve sistem güvenilirliği arasında bir optimal dengeyi devam ettirmek için çabalar.

İletim planlama başlamadan önce ,uzun dönem yük tahmini ve genaratör planlama tamamlanır.Uzun süre yük tahmininde,çalışma altında sistemin her bölgede azami yük yıldan yıla projelendirilir.Bugibi tahminler nüfus büyüme hızı ve ekonomik etkanler ve şimdiki ve geçmiş yük eğilimlerini temel alır.Üretim planlamasında ,üretim kaynakları ekonomik anlamda güvenilirlik ve uygun kaliteyle alıcı yükleri tanıştırmak için yeterli üretim yedek marjınlarıyla seçilir.Yeni tesislerde ve var olan tesislerin herikisinde yeni üretim üniteleri seçilir ,ve inşaat programları projelendirilmiş yükleri karşılamak için hatlarda yeni üretim yöntemlerine gidilerek kurulur.

Uzun dönem yük tahminleri ve üretim planlamasının sonuçları ,temel fonksiyonları yerine getiren ileriki iletim sistemlerinin dizaynı için iletim planlama mühendisleri tarafından kullanılır.Aşağıdaki iletim planlama yöntemi boyunca seçilir.

- Yeni hatlar için güzergahlar
- Her güzergah veya doğru istikamet için devrelerin numaralandırılması

- HVDC hatlara karşı EHV
- Yer altı hat yapımına karşı havai hat
- Havai hatlar için direklerin tipleri
- Gerilim seviyeleri
- Hat kapasiteleri
- Şönt reaktif ve seri kapasitif hat kompanzasyonu
- Altmerkezlerde bara ve devre kesici konfigrasyonu
- Devre kesici kapasiteleri
- Güç sistem transformatörlerin kapasiteleri,yer ve sayısı
- Gerilim-regüleli transformatörler ve faz-kaydırmalı transformatörlerin kapasiteleri,yer ve sayısı
- Statik VAR sistemler ,senkron kondansatörler ve gerilim kontrolü için şönt kapasite gruplarının kapasiteleri,yer ve sayısı
- Temel izalatör seviyeleri
- Koruyucu hesaplama tasarımları
- Haberleşme kolaylıkları
- Sistem bağlantılarının güçlendirilmesi

8.1 Planlama Aletleri

Planlama yöntemleri gitgide karmaşık olduğu durumda yukarıdaki seçimler yapıldığında elektrik kuruluşları hacimce büyümüşür ve bağlantı sayıları artmıştır.Zamların maliyetleri arttırması ve modifikasyonlar planlama mühendislerinin dizayn seçeneklerini büyük ölçüde gözönünde bulundurulmasını zorunlu yapmıştır ve her seçeneğin sistem üzerindeki etkilerini ayrıntılı olarak inelenmesini sağlamıştır:normal ve acil çalışma durumları,azami ölçüde yüklenme ve işletmenin şimdiki ve gelecek yılları.Planlama mühendisi yardım için ,aşağıdaki dijital bilgisayar programlarını kullanmıştır:

1. Güç –akış programları:Güç akış(ayrıca yük akış) programları gerilim genlikleri,faz açıları ve sabit-durum çalışma durumları altında güç sistem şebekesi için iletim hat güç akışlarını hesaplamak.Diğer çıkış gücü sonuçları,malzeme kayıpları ve genaratör ve diğer aletlerin reaktif güç verimi ayrıca hesaplanabilir.Bütün yüklerin çalışma karakteristikleri ve sistemin genaratör

kaynakları giriş olarak tanımlanır.Diğer girişler iletim hatları,transformatörler ve diğer techizatın karakteristikleri ve şebeke konfigrasyonunu içerir.Ayrıca güç akış programları vardır,güç akış sonuçları tek hat diyagramı şeklinde bilgisayar ekranında görülür;mühendis bir fareyle veya klavyeden şebekede değişiklik yapmak için bunları kullanır.Bilgisayarların yüksek hafızası ve yüksek hız yetenekleri planlama için gerekli olan çoğu farklı durumları işletmeyi mühendise olanak sağlar.

2. Geçici kararlılık programları: Geçici kararlılık programları bozulma durumunda sistem kararlılığının devam edip etmediğini ve senkron genaratörlerin senkronizmden kalıp kalmadığını tahmin etmek için güç sistemlerinin incelenmesinde kullanılır.Sistem bozulmaları iletim hatlarında veya genaratörde ani kayıplardan,ani yük artışı ve azalmalardan ,ve kısa devre ve anahtarlama durumlarından oluşabilir.Program ayrıca şebeke arızaları için kritik temizleme zamanını hesaplar ve kontrol tasarımları,arıza tipleri,makine parametreleri ve çeşitli şebeke modifikasyonlarının etkilerini araştırmak için planlama mühendisine olanak sağlar.
3. Kısa-devre programları:Kısa-devre programları, devre kesicilerini ve arızaları farkedilen röleleri ve kontrol devre kesicilerini sırayla çalıştırmak için güç sistem şebekesinde üç-faz ve faz-toprak arızaları hesaplanır.Maksimum ve minimum kısa devre akımları hatların ve genaratör ünitelerinin servis dışı kalması gibi çeşitli çalışma durumları altında röle ve her devre kesicisi için hesaplanır.
4. Geçici programlar:Geçici programlar yıldırım çarpması ve anahtarlama çalışmalarında sonuçlanan geçici aşırı gerilimler ve akımların biçimlerini ve genliklerini hesaplar.Planlama mühendisleri iletim hatları,transformatörler ve diğer techizat ve geçici aşırı gerilimlere karşı techizatı korumak için dalga tutucuları seçmek için geçici programların sonuçlarını kullanırlar.

Örnekler ve kaynaklar Back [1989] ve Smolleck [1989] tarafından verilmiştir.İletim planlaması için diğer programlar üretim maliyeti,yatırım maliyeti ,röle kordinasyonu ,güç sistem merkezi transformatör termik analizi ve iletim hattı dizayn programlarını içerir.İletim planlaması için software paketleri sunan satıcıların bazıları aşağıda verilmiştir:

- ABB Network Control Ltd.,İsviçre
- CYME International,Burlington,Mass

- EDSDA Micro Corporation ,Bloomfield,Mich
- Electric Power Consultants ,Inc.,Scotia,N.Y.
- Electrocon International iInc.,Ann Arbor,Mich
- Power Technologies,Inc.,Schenectady,N.Y.
- Operation Technology ,Inc.,Irvine ,Calif

8.2 Temel Planlama Prensipleri

Elektrik endüstrisi bütün sistem bileşenleri arasında bir denge sağlamak için temel planlama prensiplerini kabul etmiştir.İletim planlama kriteri mümkün olan ihtimaller ve gerçek sistemlerle bu prensiplerden geliştirilir.Bu planlama prensipleri aşağıda verilmiştir:

1. Yük hacmi üretim ,ünitelerinin hacmi ve güç tesisleri ,herhangibir iletim hattı veya hat gruplarının güç transferinin miktarına bağlı olarak güç sistem bileşenleri arasında dengeyi devam ettirmek
 - a)Bir ünite de ,bir tesiste veya bir alanda aşırı üretim kapasitesinin önüne geçmek
 - b)Herhangi tek bir transformatör,herhangibir iletim hattı ,kule veya doğru güzergah içinden aşırı güç transferinin önüne geçmek
 - c)Üretim üniteleri ,güç tesisleri ve sistem yüklenmesi aynı olan komşu tesislerle birbirine bağlı kapasite sağlamak
2. Çalışmanın esnekliğini yüksek dereceyle devam ettirmek için genaratörlerden yüklere normal güç transferi için istenilen geniş ölçüde iletim yeteneği sağlamak
3. Dizayn yetenekleri içinde kalan bütün cihaz yüklenmeleri gibi güç sistem davranışını sağlamak
4. Anahtarlama düzenlerinde birleştirilmiş röle tasarımları ve uygun görülen kontrollerden yararlanmak
 - a)Kontrolsüz güç kesilmelerinin aşırı risk olmaksızın cihazların bakımı ve efektif çalışması
 - b)Arızalı bileşenlerin izalasyonu ve hızlı yer değiştirmesi
 - c)Sistemin herhangibir bölümünde kayıp olduğu takdirde çabuk onarımı

8.3 Techizat Kapasiteleri

Planlama mühendisleri tarafından kullanılan iletim sistemi yüklenme kriteri techizat kapasiteleri üzerine kurulur. Normal ve acil tahminlerin her ikisi açıkça belirtilmiştir. Acil Tahminler tipik olarak acil çalışma durumları veya techizat onarım süresi için istenilen süreye bağlıdır. Örnek olarak ,uygun hat-anahtarlama çalışmalarını sağlamak için ve diğer üretim kaynaklarını getirmek için bir kritik iletim imkanı veya geniş bir üretim ünitesinin kaybı olarak büyük bir olay gerektirebilir. Bir arızalı iletim hattını onarmak için geçen süre hattın tipine bağlı olarak (havai hat, kanallarda yer altı kablosu veya boru tip kablo) 2 ‘den 10 güne kadar değişir. Bozuk bir güç transformatörünü değiştirmek için gerekli süre tipik olarak 30 gündür. Bunun gibi her iletim hattının veya transformatörünün sınıfları 2 saat ani tehlikeyi ,2 ile 10 gün ani tehlikeyi ve bazı durumlarda 30 gün ani tehlikeyi normal kabul eder. Havai hat iletim hattının sınıfı iletkenin maksimum sıcaklığına bağlıdır. İletken sıcaklığı, kuleler ve iletkenin gerilme gücü arasında iletken gerilmesini etkiler. Eğer sıcaklık çok yüksekse ,iletkenin elastik limiti soğukken orijinal uzunluğu küçülmediğinden artabilir. İletken sıcaklığı akım genliğine ve devam süresine ,rüzgar hızına ,güneş radyasyonuna ve iletkenin yüzey durumlarına bağlıdır. Ortam sıcaklığındaki standart değerler ,rüzgar hızı havai hat iletim sınıflarını seçmek için kullanılır. Mevsim sıcaklık farklarına göre yaz ve kış normal hat sınıfları için yaygınca uygulanır. Ayrıca sahil arızaları gibi çok yüksek derecede hüküm süren rüzgarların olduğu yerlerde ,daha büyük normal hat sınıfları seçilir. Ani tehlike sınıfları normal sınıfların %110’undan %120 ‘sine kadar değişir. Son zamanlarda bir iletim hattı boyunca iletken sıcaklığının gerçek-zaman kontrolü dinamik iletim hat sınıfları için kullanılmıştır.

Güç-sistem transformatörünün normal sınıfları imalatçıların tabela sınıfları tarafından belirlenir. Tabela sınıfları ANSI/IEEE standart durumlarına bağlıdır: (1) Tabela çıkış gücünde devamlı yüklenme; (2) 30 °C ortalama sıcaklık (hiçbir zaman 40 °C’ı aşmamalıdır); ve (3) 65 °C ortalama sargı-transformatörü [ANSI/IEEE C57.92-1981,1990] için 110 °C ortalama iletken sıcaklığı (hiçbir zaman 120 °C aşmamalı). Güç sistem transformatörünün gerçek çıkış gücü, sargılarda sıcaklık artışına ve ortam sıcaklığına bağlı olarak tabela sınıfından daha az veya daha fazla olması beklenen normal çalışmayla her zaman dağıtılabilir. Ani tehlike transformatör sınıfları, tabela sınıflarını %130’dan 150’ye değiştirir.

8.4 Planlama Kriteri

İletim sistem planlama kriteri yukarıdaki planlama prensiplerinden ve gerçek sistem işletme verilerinden belirlenen techizat sınıflarından, belki çalışma modlarından ve techizat bozulma oranlarından geliştirilir. Bu kriter makul techizat kesinti ihtimalleri altında müşterilere gücü güvenli bir şekilde sağlamak için uygun marjinlerle iletim hattını inşası ve planını yapmak için kullanılır. İletim sistemi çalışma durumlarının geniş alanı altında temel fonksiyonları yerine getirebilir. İletim planlama kriteri ,techizat yüklenme kriteri ,iletim gerilim kriteri ,kararlılık kriteri ve bölgesel planlama kriterini içerir.

8.4.1 Techizat Yüklenme Kriteri

Tipik techizat yüklenme kriteri ,tablo 1.6’de gösterilir. Techizat kesintisi olmaksızın iletim techizat yüklenmesi genaratörün bütün gerçekçi kombinasyonları için normal oranları aşamaz. Yüklü bütün genaratör ünitelerinin çalışması ve genaratörlerin çeşitli kombinasyonlarının çalışması gibi azami yük periyodu boyunca peak üniteleri gözönünde bulundurulmalıdır. Ayrıca normal sınıflar ,servisteki transformatörler ve bütün iletim hatlarıyla ve servis dışı üretim üniteleriyle aşma olmamalıdır.

Herhangibir tek-ihtimal kesintiyle ani tehlike sınıfları aşılmamalıdır. Tek yüklenme kriteri ,herhangibir iletim hattı veya transformatörün servis dışı olduğu durumda 2 saat ani tehlike sınıfı aşılmamalıdır. Bu, üretim seviyesini değiştirmek ve anahtarlama çalışmasını sağlamak için zaman verir.

Benzer çift-ihtimalli kesintilerin bazıları ,ani tehlike sınırları aşılmaksızın yüklü bütün sistemlere uygulanır. Tek kriter herhangibir hat ve transformatörü servis dışı olduğunda veya herhangibir hat ve genaratör servis dışı olduğunda ani tehlike sınıfları 2 ile 10 günü aşmamalıdır. Bu hattı onarım için zaman verir. Herhangibir transformatör ve genaratör kesintisiyle ,30 gün ani tehlike sınıfları yedek transformatör yüklemek için verilen zamanı aşmamalıdır.

Tablo 1.6 Tipik İletim Techizat Yükleme Kriteri.

Equipment Out of Service	Rating Not to Be Exceeded	Comment
None	Normal	
Any generator	Normal	
Any line or any transformer	2-h emergency	Before switching.
Any line and any transformer*	2- to 10-day emergency	After switching required for both outages. Line repair time.
Any line and any generator*	2- to 10-day emergency	After switching required for both outages. Line repair time.
Any transformer and any generator*	30-day emergency	After switching required for both outages. Install spare transformer.

*Some utilities do not include double-contingency outages in transmission system loading criteria.

Tablo 1.7 Tipik Minimum İletim Gerilim Kriteri

System Condition	Planned Minimum Transmission Voltage at Substations, % of Nominal		
	Generator Station	EHV Station	HV Station
Normal	102	98	95-97.5
Single-contingency outage	100	96	92.5-95
Double-contingency outage*	98	94	92.5

*Some utilities do not include double-contingency outages in planned minimum transmission voltage criteria.

Tablo 1.6 'daki yükleme kriteri çift –ihtimalli kesintilerin bütün tiplerini içerir.Örnek olarak,bir çift-devre iletim hattı veya aynı güzergahtaki iki iletim hattının kesintisini içermez.Ayrıca aynı yükteki iki transformatörün kaybını içermez.Bu çift-ihtimal kesintisi altında ağır yük peryotlar boyunca bazı yüklerden kurtulmak için gerekli olabilir.Bu kesintiler bir dereceye kadar istenmemesine rağmen sonuçları özel durumlarda değerlendirilir.Değerlendirilen faktörler servisteki yükün hacmini ,riskin derecesini ve destel maliyetini içerir.

Özel yükleme kriteri ayrıca servis yapan kritik techizat yükleri için gerekli olabilir.Tek kriter herhangi bir genaratörde kesinti olmadan önce bir çift-ihtimalli kesinti altında kritik yüklenmeler için hizmeti devam ettirmektir.

8.4.2 İletim Gerilim Kriteri

İletim gerilimleri normal ve makul ani tehlike durumları için uygun sınıfın sınırları içinde devam etmelidir.Anormal iletim gerilimleri zarara veya devre kesicileri veya transformatörler gibi iletim techizatının fonksiyon bozukluğuna neden olabilir ve çoğu müşteriye etkiler.Düşük iletim gerilimleri müşteri yüklerinde ve güç tesis yardımcılarında daha yüksek

motor akımları yüzünden dağıtım kayıplarının artmasına neden olan düşük dağıtım gerilimlerine yol açar.İletim gerilim planlama kriterinin tutucu olması gerekir.

Maksimum planlanmış iletim gerilimi normal ve makül ani tehlike durumları için nominal gerilimin %105'dir.Tipik minumum planlı iletim gerilimleri tablo 1.7'de verilir.Tablo 1.7'de sistem durumları tablo 1.6'daki servis dışı techizatın karşılığı uyar.Tek –ihtimalli kesintiler herhangi bir hat ,transformatör ve genaratörün kaybının karşılığıdır.Çift-ihtimalli kesintiler herhangi bir iletim hattı ve transformatör ,herhangibir hat ve genaratör ,herhangibir transformatör ve genaratör ve iki genaratörün kaybının karşılığı olur.

EHV (34.5 Kv ve daha yukarısı) altmerkezleri için ve genaratör altmerkezleri için tablo 1.7'de verilen tipik planlı minumum gerilim kriteri güç sistem yardımcı barasında , alçak gerilim iletim sistemlerinde ve birbirine bağlı durumda uygun gerilim seviyesini devam ettirmek için seçilirler.Alçak HV (138 Kv ,230 Kv) iletim altmerkezleri için tipik planlı minumum gerilim kriteri normal sistem durumları altında nominalin %92.5 'in aşağısı olarak değişir.

Kontrol iletim gerilimleri için kullanılan techizat üretim üniteleri(uyarma kontrolü) ,regüleli transformatörler ,senkron kondansatör ,senkron reaktörler ,şönt kapasite bankları ve statik VAR cihazlarını içerir.

8.4.3 Kararlılık Kriteri

Sistem kararlılığı ,bir sistem çalışma durumundan diğerine geçerken birbiriyle senkronizm içinde kalmak için işletmedeki bütün senkron genaratörlerin yeteneğidir.Sabit-durum kararlılığı normal yük değişimleri gibi çalışma durumları içinde küçük değişimlere bakar.Geçici kararlılık senkronizm ve senkronizm kayıplarının birkaç derecede olduğu ,devre kesicilerinin açılmasıyla bir kısa devre veya geniş genaratör kaubının olduğu ani geniş değişimlere bakar.Dinamik kararlılık ,dakikalardan yarım saate kadar uzun zaman peryotlarınca ,buhar(kazan)genaratörleri ,otomatik üretim kontrol ve sistem operatörü çalışmalarının kararlılığı etkilediği ani değişimlere bakar.

Planlama yöntemlerinde sabit-durum kararlılığı sabit-durum koşulları altında iletim gerilim kriteri ve techizat yüklenme kriteriyle tanışmak için sistem yeteneği tarafından güç akış programları üzerinden değerlendirilir.Geçici kararlılık ,bozulmaların değişik tipleri ,kısa devre

ve diğer ani şebeke değişimleri için sistem geçici cevabını simule ederek kararlılık programları üzerinden değerlendirilir. Planlama mühendisi aşağıdaki tipik sorunlar yüzünden kararlılığı devam ettirmek için sistemi dizayn ederler :

1. Sistemdeki bütün iletim hatlarıyla ,sürekli üç-faz arıza (kısa devre) herhangi bir iletim hattında ,çift –devreli iletim hatlarında veya herhangi bir barada oluşur; Arıza birincil rölelerle başarılı bir şekilde temizlenir.
2. Servis dışı herhangi bir iletim hattıyla ,sürekli üç-faz arıza herhangi bir iletim hattında oluşuyor;Arıza birincil rölelerle başarılı bir şekilde temizlenir.
3. Servisteki bütün iletim hatlarıyla ,sürekli bir üç-faz arıza herhangi bir iletim hattında oluşur; Destekleyici koruma bir devre kesicisinin arızası yüzünden ,bir zaman gecikmesinden sonra arızayı temizler.

8.4.4 Bölgesel Planlama Kriteri

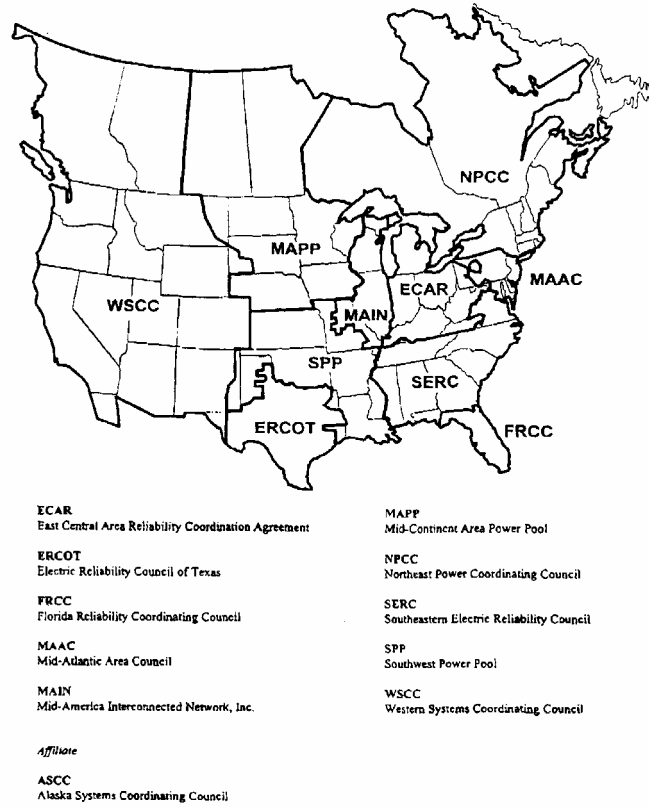
Kuzey Amerika Elektrik Güvenilirlik Meclisi (NERC) şekil 1.59’da [NERC,1958] gösterildiği gibi Kuzey Amerikada 9 coğrafi bölge tanımlar.İletim planlam çalışmaları iki seviyede sağlanır:(1) Kişisel elektrik şirketleri ayrı ayrı iç sistemlerinin incelenmesini sağlar ve (2) şirketler bölgesel ve bölge dışı planlama çalışmalarını sağlamak için çalışma grupları veya NERC şirketlerine ortaklaşa iştirak ederler.Bölgesel planlama çalışmalarının amacı birbirine bağlı sistemler arasında taşıma yeteneklerini ve ağır arızaların etkilerini değerlendirdir.

Tek tipik bölgesel kriteri artımlı güç transfer yeteneğidir,Programlara göre aşağıdaki durumlar altında makul üretim yedek marjini sağlamaktır:aşırı yüklenme,servis dışı en tehlikeli iletim hattı,aşırı yüklenme bileşenlerinin olmaması.

Diğer kriter birbirine bağlı iletim şebekeleri için ağır sorunlar,sistem kararsızlığı veya sistem çöküşüyle sonuçlanmamalıdır.Ağır sorunlar aşağıdakileri içerir:

1. Herhangibir üç üretim ünitesiyle veya alanda servis dışı sistem yükünün %30’u kadar ünitelerin kombinasyonu ve herhangi bir hat veya transformatörünün ani kesintisi meydana gelir.
2. Herhangibir iki üretim ünitesiyle veya herhangi bir alanda servis dışı yükünün %20’si kadar ünitelerin kombinasyonu ,herhangibir genaratör veya çift-devreli iletim hattının ani kesintisi meydana gelir.
3. Herhangibir iletim hattı veya servis dışı transformatörle , herhangi bir iletim hattı veya transformatörün ani kesintisi meydana gelir.

4. Herhangibir iletim hattı veya sistem yükünün %20'si kadar ünitelerin kombinasyonu veya iki üretim ünitesi gibi bir alanda transformatörün servis dışı kalması ,iletim hattının ani kesintisine yol açar.
5. Bir güç tesisinde bütün üretim ünitelerinin ani kesintisi meydana gelir.
6. Ortak güzergahta bütün iletim hatları veya iletim alt merkezlerinin ani kesintisi meydana gelir.
7. Büyük yükün veya çok büyük yük merkezinin ani kesintisi meydana gelir.



Şekil 1.59 9 bölgesel güvenilirlik Meclisi NERC tarafından kuruldu.

Yukarıdaki ağır sorunların etkileri değerlendirildiğinde bölgesel planlama çalışması ,sabit- durum kararlılığı,geçici kararlılık ve dinamik kararlılık gözönünde bulundurulmalıdır.Bu çalışmalar ayrıca üç-faz arıza ve yanlış koruma veya beklenilmeyen yük kapasiteleri ve çeşitli çalışma durumlarında açmak için devre kesicisinin başarısız olması yüzünden yavaş arıza temizlenmesinin etkileri gözönünde bulundurulmalıdır.

8.5 Değer-Tabanlı İletim Planlama

Son zamanlarda bazı kurumlar iletim planlama servis değer kavramını kullanmaya başlamıştır.[EPRI,1986].Bu kavram denge güvenilirliği ve maliyet açısından güvenilirliğin değişik seviyelerini dolar değeriyle belirten bir metot ortaya çıkarır.Her özel kesinti hizmet vermeyen enerjinin dolar değeri ve miktarı belirlenir.Servis yapmayan enerjinin dolar değeri müşterilerin değişik tileri için tetkik oranları üzerine kurulur.Eğer kesintiyi yok etmek için istenilen iletim projesinin maliyeti servis değerini aşarsa ,proje daha düşük önceliğe verilir.

8.6 Tanımlayıcı Terimler

Kuzey Amerika Elektrik Güvenlik Meclisi (NERC) güvenilirlik ve ilişkili terimleri uygunluk ve emniyet aşağıdaki gibi tanımlanır.

Uygunluk:Programlı tasarıların ve sistem bileşenlerinin programdaki kesintilerinde ,bütün zamanlarda müşterilerin ihtiyaç duyduğu enerji ve elektrik gücünü sağlayan güç elektrik sisteminin yeteneği

Güvenilirlik:Güç elektrik sisteminde ,sistem müşterilere kabul edilir standartlarda ve istenilen miktarda gücü dağıttığında elamanların performans derecesidir.Güvenilirlik derecesi frekans ,devam süresi ve müşteri servisinde karşı etkenlerin genliği tarafından ölçülebilir.

Emniyet:Elektrik kısa devreleri ve sistem bileşenlerinin beklenilmeyen kayıpları gibi ani bozulmalara karşı direnen güç elektrik sisteminin yeteneği

8.7 Kaynaklar

ANSI C2-1993, National Electrical Safety Code, 1993 Edition, Piscataway, N.J.: IEEE, 1993.

ANSI/IEEE C57.92-1981, IEEE Guide for Loading Mineral-Oil Immersed Power Transformers Up to and Including 100 MVA with 55°C or 65°C Average Winding Rise, Piscataway, N.J.: IEEE, 1990.

ANSI/IEEE Std. 738-1985, Calculation of Bare Overhead Conductor Temperature and Ampacity under Steady-State Conditions, Piscataway, N.J.: IEEE, 1985.

H. Back et al., "PLATINE—A new computerized system to help in planning the power transmission networks," *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 4, no. 1, pp.242–247, 1989.

- Electric Power Research Institute (EPRI), Value of Service Reliability to Consumers, Report EA-4494, Palo Alto, Calif.: EPRI, March 1986.
- J.D. Glover and M.S. Sarma, *Power System Analysis and Design with Personal Computer Applications*, 2nd ed., Boston: PWS Publishing Co., 1994.
- R.K. Henke and S.C. Sciacca, "Dynamic thermal rating of critical lines—A study of real-time interface requirements," *IEEE Computer Applications in Power*, pp. 46–51, July 1989.
- NERC, *Reliability Concepts*, Princeton, N.J.: North American Electric Reliability Council, February 1985.
- NERC, *Overview of Planning Reliability Criteria*, Princeton, N.J.: North American Electric Reliability Council, April 1988.
- NERC, *Electricity Transfers and Reliability*, Princeton, N.J.: North American Electric Reliability Council, October 1989.
- NERC, *A Survey of the Voltage Collapse Phenomenon*, Princeton, N.J.: North American Electric Reliability Council, 1991.
- H.A. Smolleck et al., "Translation of large data-bases for microcomputer-based application software: Methodology and a case study," *IEEE Comput. Appl. Power*, pp. 40–45, July 1989.

8.8 Ek Bilgi

Kuzey Amerika Elektrik Güvenilirlik Meclisi (NERC) 1968 'de Kuzey Amerika 'nın elektrik güç sistemlerinin güvenliğini sağlamak için kuruldu. Burada temsil edinen iletim planlama kriteri üç elektrik şirketinden iletim planlama bölümleri tarafından özel kriterler kullanılarak NERC kriteri kuruldu: Amerika Elektrik Güç Servis Kurumu, Commonwealth Edison Şirketi ve Pasific Gas&Elektrik Şirketi. NERC 'in yayınları endüstri için standart olmuştur.