

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE ARIZA
ANALİZİNİN OTOMASYONEL ÇÖZÜMLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik.Müh. Mitat GÜLLÜDERELİ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Uğur ÇELTEKLİGİL

Haziran 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE ARIZA ANALİZİNİN OTOMASYONEL ÇÖZÜMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik.Müh. Mitat GÜLLÜDERELİ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez 08 / 06 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Uğur ÇELTEKLİGİL Doç. Dr. Nejat YUMUŞAK Yrd. Doç. Dr. Ahmet Y. TEŞNELİ
Jüri Başkanı Jüri Üyesi Jüri Üyesi

ÖNSÖZ

Bu tezin oluşmasında, katkılarından ve yardımlarından dolayı danışmanım sayın Hocam Prof. Dr. Uğur ÇELTEKLİGİL ve Öğr. Gör. Zekeriya ÖZDEMİR'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezin yazılı forma dönüşmesinde yardımcı olan tüm arkadaşlarıma ve de ele aldığım enerji iletim hatlarına yönelik döküman bilgilerini sağlayan ÖZ-KAL Elektrik Enerji firması ve SIEMENS firma yetkililerine ayrıca teşekkür ederim.

Mitat GÜLLÜDERELİ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Elektrik Enerjisinin Önemi	1
1.2. Elektrik Enerjisinin Kullanımı	4
1.3. Elektrik Enerjisinin Kalitesi.....	6
1.4. Elektrik Sisteminden Beklentiler.....	8
1.5. Elektrik Tesislerinde Arızalar	9

BÖLÜM 2.

BARA ADMİTANS ve EMPEDANS MATRİSLERİ	13
2.1. Admitans Matrisinin Tersini Alma Yöntemi	13
2.2. Bara Empedans ve Admitans Matrisi Elemanlarının Deneysel Olarak Elde Edilmesi.....	14
2.3. Bara Empedans Matrisinin Doğrudan Elde Edilmesi.....	17

BÖLÜM 3.

ENERJİ SİSTEMLERİNDE SİMETRİK KISA DEVRE ARIZALARININ ANALİZ. 21	
3.1. Kısa Devre Olan Bir Senkron Generatörün İncelenmesi.....	21
3.2. Senkron Makinaların Reaktansları ve Kısa Devre Akımları	24

3.3. Simetrik Kısa Devre Arızalarının Çözüm Yöntemleri	26
--	----

BÖLÜM 4.

ENERJİ SİSTEMLERİNDE ASİMETRİK KISA DEVRE ARIZALARIN ANALİZİ. 30	
4.1. Giriş	30
4.2. Bir Güç Sisteminde Tek Faz-Toprak Arızası.....	31
4.3. Bir Güç Sisteminde Faz-Faz Arızası	32
4.4. Bir Güç Sisteminde İki Faz-Toprak Arızası	35
4.5. Bir Güç Sistemlerinde Üç Faz Arızaları	37
4.6. Arıza Türlerine Göre Bileşen Devrelerin Bağlanması.....	38
4.7. Kısa Devre Arızalarının Bir Empedans Üzerinde Meydana Gelmesi Hali	39

BÖLÜM 5.

BARA EMPEDANS MATRİSİ KULLANARAK ASİMETRİK ARIZALARIN ANALİZİ	41
--	----

BÖLÜM 6.

AŞIRI GERİLİMLER.....	49
6.1. Giriş	49
6.2. Aşırı Gerilimin Etkileri.....	52
6.3. Aşırı Gerilim İçin Alınması Gerekli Önlemler	52
6.4. Geçici Aşırı Gerilimlerinin Şebeke Yönünden Analizi	54

BÖLÜM 7.

TOPRAK DEĞMESİ.....	56
7.1. Giriş	56
7.2. Toprak Değmesinde Gerilimler.....	57
7.3. Toprak Değmesinde Akımlar	58
7.4. Toprak Değmesi Akımının Giderilmesi	67

BÖLÜM 8.

KORUMA SİSTEMLERİ	74
8.1. Giriş	74
8.2. Koruma Sisteminin İşlevleri	75
8.2.1. Röle grubu	76
8.2.2. Rölelerin sınıflandırılması.....	77
8.2.3. Koruyucu röle sistemleri ve tasarımları	78
8.2.4. Röle sisteminde aranan nitelikler.....	79
8.3. İletim Hatlarının Korunması	83
8.3.1. Aşırı akım röleleri	83
8.3.2. Yönlü röleler	86
8.3.3. Mesafe röleleri	88
8.3.4. Pilot koruma.....	91
8.4. Transformator, Reaktör ve Generatör Koruma	92
8.4.1. Transformator koruma.....	92
8.4.2. Reaktör koruma.....	96
8.4.3. Generatör koruma	96
8.4.4. Bara koruma	97

BÖLÜM 9.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	99
9.1. Linetroll 110Eµ	99
9.1.1. Çalışma özellikleri	99
9.1.2. Standartlar.....	100
9.1.3. Fonksiyonel özellikler	100
9.1.4. Montaj	101
9.1.5. Normal çalışma durumuna geri dönme(resetleme)	101
9.1.6. Işıklı sinyalizasyon.....	102
9.1.7. Güç kaynağı	102
9.1.8. Ölçü üniteleri için karakteristik eğriler	102
9.1.9. Test.....	103
9.2. Linetroll 111K	103
9.2.1. Çalışma özellikleri	103

9.2.2. Standartlar.....	103
9.2.3. Fonksiyonel özellikler.....	104
9.2.4. Montaj	105
9.2.5. Normal çalışma durumuna geri dönme(resetleme).....	105
9.2.6. Işıklı sinyalizasyon.....	106
9.2.7. Güç kaynağı.....	106
9.2.8. Ölçü üniteleri için karakteristik eğriler	106
9.2.9. Test.....	106
KAYNAKLAR.....	107
EKLER.....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	114

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$ E_g $: Yüksüz halde faz-nötr geriliminin efikas değeri
f	: Frekans(Hz)
$f(t)$: Zaman domeni fonksiyonu
$F(w)$: Frekans domeni fonksiyonu
I_{II}	: Sürekli akım, efikas değeri
I'_{II}	: Transient akım, d.c bileşen hariç efikas değeri
I''_{II}	: Subtransient akım, d.c bileşen hariç efikas değeri
k	: Özdeğer
n	: örnekleme sayısı
S	: Kısa devre gücü
t	: zaman(sn)
X_d	: Senkron reaktans
X'_d	: Transient reaktans
X''_d	: Subtransient reaktans
Y_{aa}	:İletkenin öz admitansı
Y	: Bara admitans matrisi
Z	: Bara empedans matrisi
Δ	: Özdeğer
ϵ	: Dielektrik sabiti
Ω	: Fourier integral sınırı
μ	: Öz direnç

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Y_{12} , Y_{22} , Y_{33} admitanslarının ölçülmesi.....	14
Şekil 2.2. Z_{12} , Z_{22} , Z_{32} empedanslarının ölçülmesi.....	15
Şekil 2.3. K barasına yeni bir empedans bağlanması	17
Şekil 2.4. K barasındaki akım değişimi	19
Şekil 3.1. Akımın zamana göre değişimi	23
Şekil 3.2. Yüksüz halde çalışan generatörün kısa devre akım diyagramı.....	24
Şekil 3.3. Senkron generatörün Z_{ext} empedansı üzerinden senkron motoru besleyen sistemin eşdeğer Devresi	27
Şekil 3.4. Senkron generatörün Z_{ext} empedansı üzerinden senkron motoru besleyen sistemin eşdeğer Devresi	29
Şekil 4.1. Üç fazlı enerji iletim hatlarının gösterimi	30
Şekil 4.2. Tek faz toprak kısa devre arızası için iletim hatlarının bağlantısı	31
Şekil 4.3. Çift faz kısa devre arızası için iletim hatlarının bağlantısı	33
Şekil 4.4. Çift faz toprak kısa devre arızası için iletim hatlarının bağlantısı	35
Şekil 4.5. Üç faz toprak kısa devre arızası için iletim hatlarının bağlantısı.....	37
Şekil 4.6. Kısa devre arıza türlerine göre bileşen devrelerin bağlantı	39
Şekil 4.7. Kısa devre arızasının bir empedans üzerinden olması durumuna göre bileşen devrelerin Bağlantıları	40
Şekil 5.1. Üç baralı enerji sisteminin tek hat diyagramı	41
Şekil 5.2. Şekil 5.1'deki enerji sisteminin subtransient reaktans diyagramı.....	42
Şekil 5.3. İki nolu baradaki kısa devre geriliminin temsili	43
Şekil 5.4. Değişik arıza tipleri için bara empedans matrislerinin bağlantısı.....	47
Şekil 7.1. Toprak değmesinin bir geçiş direnci üzerinden meydana gelmesi halinde gerilimler	57
Şekil 7.2. Toprak değmesinin bir geçiş direnci üzerinden meydana gelmesi halinde gerilimlerin değişimi	61

Şekil 7.3. Yıldız noktası tam izole bir tesisatta T fazında meydana gelecek bir toprak değmesi Arızasında kapasitif akımların büyüklüğü ile yönleri ...	62
Şekil 7.4. Faz iletkenlerinden birinin toprağa değmesi dolayısıyla oluşacak arıza akımları ve yönleri.....	64
Şekil 7.5. Bir örnek uygulama	66
Şekil 7.6. Toprak değmesi akımının Peterson bobini ile giderilmesi	67
Şekil 7.7. Bir generatör uygulaması.....	70
Şekil 8.1. Bir koruma sisteminin alt sistemleri	75
Şekil 8.2. Koruma Bölgesi	80
Şekil 8.3. Bölgelerin birbirini kesme prensibi.....	81
Şekil 8.4. İletim hatlarının aşırı akım koruması.	84
Şekil 8.5. Aşırı akım rölesinin çalışma zamanı,	85
Şekil 8.6. Tipik bir ticari amaçlı zaman aşırı akım röle karakteristiği.....	85
Şekil 8.7. Kapalı bir sistemde hat koruma. Hattın her iki yanındaki karşılıklı kaynaklardan hat Üzerinde bir arıza durumunda hat çekilir	86
Şekil 8.8. Yönlü rölenin polarizasyonu için transformatör sıfır (nötr) akımının kullanılması.....	87
Şekil 8.9. Yüksek gerilimli iletim hatlarının mesafe koruması	89
Şekil 8.10. İletim hattının adım mesafe koruması.	91
Şekil 8.11. Bir transformatörün yüzde diferansiyel koruması.....	93
Şekil 8.12. Bir transformatörün enerjilenmesi esnasında ani mıknatıslanma akımı	95
Şekil 8.13. Yıldız - üçgen bağlı bir transformatörün yüzde diferansiyel röle koruması.	96
Şekil 8.14. Diferansiyel röle ile gerçekleştirilmiş bara koruma şeması.....	97
Şekil 8.15. Doyma esnasında bir akım transformatörü dalga şekli.	98
Şekil 8.16. Yüksek empedanslı diferansiyel röle üzerinde akım transformatörünün doyma etkisi.....	98
Şekil A.1 Bileşen fazörleri	109
Şekil A.2 Simetrik bileşenlerin grafiksel toplamı	109

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. OECD ve Avrupa Birliği ÷lkelerinde kurulu g÷ç ve t÷ketim değerleri	1
Tablo 1.2. T÷rkiye kurulu g÷c÷n÷n birincil enerji kaynaklarına g÷re 1992 – 2003 Yılları arasında dağılımı	3
Tablo 8.1. R÷lelerin Sınıflandırılması	78

ÖZET

Anahtar kelimeler: Arıza tespiti, güç sistemleri, enerji hatları, sınır parametreleri,

Bu çalışmada enerji iletim sistemlerine yönelik arıza çeşitleri ve bunlara karşı alınan tedbirler incelenmiştir.

Bir ülkenin sosyal ve ekonomik olarak kalkınmasında en önemli destek unsurlarından birisi hiç şüphesiz elektrik enerji kullanımınıdır. Gelişmişlik göstergelerinden biri kişi başına ülkede elektrik enerjisi tüketimidir. Bu pencereden bakıldığında ülkemiz kaynak açısından problemsiz, fakat üretim, dağıtım ve tüketim konularından birçok eksiğin olduğu görülmektedir. Kayıp ve enerji kalitesi ve de zaman zaman oluşabilecek arızaların hemen izolesi problemlerin minimuma indirgenmesi gerekmektedir.

Yaptığım çalışma yukarıda izah etmeye çalıştığım sahaya katkı yapmak amacıyla ki oluşabilecek arızalara en kısa zamanda müdahale ve de enerjinin sürekliliğini sağlayacak ortamın oluşturulmasıdır.

Enerji iletim sistemlerinde simetrik, asimetrik arızaların tümü incelenmiş olup teknik açıdan çözüm yollarının nasıl gerçekleştiği klasik yöntemler (Thevenin eşdeğer devresi, simetrik bileşenler) ve de günümüzde kullanılan pratik çözümler karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Son bölümde orta gerilim havai hat şebekelerinde hata akımı izleme sistemlerini içeren pratikte kullanılan cihazlar ve bu işlemlerin nasıl gerçekleştirildiğine dair bilgiler mevcuttur.

AUTOMATIONAL SOLUTIONS FOR FAULT ANALYSIS IN ENERGY TRANSMISSION SYSTEMS

SUMMARY

Key Words: Fault, Dedection, Power Systems, Energy Lines, Boundary,Conditions

In this study, defect kinds and precautions for these failures has been studied directed energy transmission systems. One of the most important component that development for a country is consumption. A developing sign for a country is energy consumption per person. When we look this part our country is not any problem which source area but another part for example production,transmission ,consumption there are a lot of lackings,leak and loss.

It needs to reduce minimum points which loss energy quality problems and espiacially forming energy loss. The aim of the study is for above saying that help like these area. If any place occurs a defect, we say that defect must have known and immeditely we must bring solutions for that area. This solution method helps us to observe and remove that defect points.

The method is independent of the number of sections in the system and is capable of high accuracy. The cross bonded sections of the cable are assumed to be electrically short so that they are represented by limped parameter networks . In the present work further savings in computation are obtained by assuming zero earthing resistance at the major bonding points with negligible loss of accuracy when results are compared.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Elektrik Enerjisinin Önemi

Elektrik enerjisi bugünkü sosyal ve ekonomik yaşamın en başta gelen temel gereksinimlerinden biridir. Gelişen teknoloji, yükselen yaşam düzeyi ve artan nüfusla birlikte bu enerjiye olan gereksinme her geçen gün büyük ölçüde artmaktadır. Bu önemli talebin istenen miktar ve kalitede, ekonomik olarak karşılanabilmesi için yapılan/yapılacak faaliyetler ekonomik sorunların yanında çevresel etkiler de oluşturmaktadır. Ancak üretim, iletim ve dağıtım tesislerinin kurulması, işletilmesi, kumandası, izlenmesi ve kontrol edilmesindeki kolaylıkların yanında temiz oluşu ve istenen enerji şekline istenen yerde, istenilen miktarda dönüştürülebilirle imkanlarından dolayı her zaman tercih edilir olmuştur ve rahatlıkla söylenebilir ki gelecekte de tercih edilir olacaktır. Bu özelliklerinin yanında bu enerjiden faydalanmak için geliştirilen/üretilen elektrikli makine, alet ve cihazların ucuz, işletilmelerinin kolay ve pratik olması da elektrik enerjisinin önemini bir kat daha arttırmıştır.

Tablo 1.1. OECD ve Avrupa Birliği ülkelerinde kurulu güç ve tüketim değerleri* [2002 yılı verileri ile]

Ülkeler	Kurulu Güç		Tüketim	
	[GW]	Kişi Başına [kW/kişi]	Net Tüketim [TWh]	Kişi Başına [kWh/kişi]
ABD	979.59	3408	3609.9	12558
Almanya	126.26	1531	514.2	6234
Avustralya	48.62	2462	193.6	9803
Avusturya	18.3	2240	56.1	6969
Belçika	15.55	1505	80.5	7793
Çek Cumhuriyeti	16.31	1597	53.5	5240
Danimarka	13.30	2472	33	6134
Finlandiya	16.57	3187	80.7	15539

Tablo 1.1.' in devamı.

Fransa	116.32	1900	419.3	6848
Hollanda	20.89	1293	104.1	5446
İngiltere	77.05	1301	343.7	5805
İrlanda	5.43	1389	21.9	5601
İspanya	60.40	1490	212.9	5250
İsveç	33.22	3720	133.5	14950
İsviçre	18.94	2596	53.8	7380
İtalya	76.49	1318	290.9	5013
İzlanda	1.51	5207	7.7	26552
Japonya	265.99	2087	995.2	7809
Kanada	114.98	3661	512.7	16323
Kore	58.95	1237	295.8	6209
Lüksemburg	1.6	3556	5.7	12667
Macaristan	8.51	838	33.4	3287
Meksika	45.82	456	173.1	1723
Norveç	27.97	6161	109.1	24031
Polonya	30.82	806	108	2826
Portekiz	11.24	1084	42.1	4060
Slovakya	8.08	1502	24.3	4517
TÜRKİYE	31.85	457	103	1479
Y. Zelanda	8.41	2113	34.9	8769
Yunanistan	11.58	1058	48.6	4438
OECD	2270.28	1983	8695.2	7593
Avrupa Birliği	603.93	1584	2387.2	6262

* IEA (International Energy Agency) Statics, Electricity information 2004

Bir ülkenin sosyal ve ekonomik olarak kalkınmasında en önemli destek unsurlarından birisi hiç şüphesiz elektrik enerjisidir. Gelişmiş ülkelerin sosyal ve ekonomik kalkınmasında bu enerji çeşidinin katkısı çok büyük olmuştur. Tablo 1.1' de kişi başına kurulu güç ve tüketim değerlerinin, ülkelerin gelişmişliği ile paralel olarak arttığı rahatlıkla görülmektedir[1].

Bu ülkeler gelişmişliklerini, kaynaklarını (ister yerli isterse Japonya'da olduğu gibi ithal ederek) verimli ve doğru kullanarak ürettikleri bol ve ucuz elektrik enerjisinden faydalanmalarına borçludurlar.

Elektrik enerjisi, özellikle kömür, petrol, doğal gaz, hidrolik ve nükleer enerji kaynaklarından, az miktarlarda rüzgar, atıklardan, güneş ve denizlerdeki dalgalardan yararlanılarak üç fazlı akım şeklinde üretilmektedir. Enerji kaynaklarının çok önemli bir kısmı doğası gereği yerleşim alanlarına ya da tüketim merkezlerine uzakta olup,

önemli bir kısmı da çevresel etkilerden dolayı daha ziyade yerleşim alanlarından uzakta tesis edilmekte ve daha sonra tüketim merkezlerine ekonomik bir gerilimle iletilmekte, daha düşük gerilimlere dönüştürülerek dağıtmakta ve ihtiyaca göre diğer enerji şekillerine çevrilerek çok yönlü amaçlar için kullanılmaktadır.

Tablo 1.2 Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre 1992 - 2003 yılları arasında dağılımı* [MW]

Yıllar	Termik							Hidrolik	Jeotermal	Rüzgar	Genel Toplam
	Linyit	Fuel Oil	Taş Kömürü	Motorin	Doğal Gaz	Diğer**	Toplam				
1992	5405	1157	353	373	2592	440	10320	8379	17.5		18716
1993	5609	1163	353	373	2701	439	10638	9682	17.5		20338
1994	5819	1169	353	373	2824	440	10978	9865	17.5		20860
1995	6048	1149	326	204	2884	463	11074	9863	17.5		20954
1996	6048	1168	341	219	3051	470	11297	9935	17.5		21249
1997	6048	1172	335	219	3490	508	11772	10103	17.5		21892
1998	6214	1225	335	219	4047	981	13021	10307	17.5	8.7	23354
1999	6352	1207	335	230	4959	2473	15556	10537	17.5	8.7	26119
2000	6509	1261	335	230	4905	2913	16053	11175	17.5	18.9	27624
2001	6511	1608	335	236	4851	3082	16623	11673	17.5	18.9	28332
2002	6503	2009	335	236	7247	3239	19569	12241	17.5	18.9	31846
2003	6439	2331	335	236	8862	4771	22974	125788	15	18.5	35587

* TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim A.Ş) enerji istatistikleri

** Çok yakıtlı santraller ile ithal kömürüne dayalı santrallerin üretimini kapsamaktadır.

Ülkemiz çok zengin olmamakla birlikte diğer enerji kaynaklarına oranla önemli linyit yataklarına ve hidrolik potansiyele sahiptir. Bu kaynakların tam olarak faaliyete geçirilmesi için büyük yatırımlara ve süreye ihtiyaç vardır. Son yıllarda tesis ve işletmesinin kolay, yakıtının ise nispeten ucuz olması dolayısıyla ithal kaynaklardan yararlanarak doğal gaz çevrim santralleri kurulmuştur. Bu tesisler daha ziyade ülkemizdeki liberizasyon atmosferine uygun olarak yap-işlet, yap-işlet-devret modelleriyle özel teşebbüs tarafından kurulmaktadır. Her ne kadar yakıt ithal olsa da ülkemizin acil ihtiyaçlarını karşıladığından, enerjideki önemli bir dar boğazı şimdilik aşmada çok faydalı olmuştur. Ülkemizin gelecekte daha fazla enerjiye ihtiyaç duyacağı göz önünde bulundurularak mevcut doğal kaynakların kısa sürede faaliyete geçirilmesi gerekir. Tablo 1.2 'de Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre 1992 - 2003 yılları arasında dağılımı verilmektedir[1].

1.2. Elektrik Enerjisinin Kullanımı

Elektrik enerjisi, üretim, iletim ve dağıtım tesislerinde kullanılan teçhizatın yapım tekniklerindeki gelişmeler, kumanda, kontrol ve ölçüm sistemlerindeki yenilikler sayesinde çok daha kullanışlı hale gelmiştir. Elektrik enerjisi sayesinde ülkemizin halen işletmede olan kaynaklarından, ülkemizin her tarafındaki tüketiciler ekonomik olarak çok uygun şekilde istifade edebilmektedirler.

Sanayinin, bilim ve teknolojinin gelişiminde, bu günkü uygarlık düzeyinin kurulmasında elektrik enerjisinin büyük katkısı olmuştur.

Elektrik enerjisi günlük hayata ilk girdiği şekliyle, sadece aydınlatma aracı olarak kalmamış, başta tahrik sistemlerinde olmak üzere sosyal ve ekonomik hayatın her alanında uygulama bulmuştur. Sanayide verimli iş makinelerinin, kumanda ve kontrol sistemlerinin de kullanılmasıyla daha çok üretim daha ucuza mal edilir hale gelmiştir. Bilgisayar ve haberleşme teknikleriyle üretilen mal ve hizmetler daha rekabetçi ortamda hem ülke içinde, hem de ülke dışında rahatlıkla pazarlanır hale gelmiştir. Bütün bunların sonucunda ülkemizde daha müreffeh bir ortam, geleceğe daha güvenle bakan toplum yaratılmıştır.

Elektrik enerjisi sanayiden başka, bilimde, tarımda, tıpta, elektronikte, basım-yayımda, haberleşme hizmetlerinde, bilgisayar teknolojilerinde, askeri alanlarda, atölyelerde, resmi ve özel binalarda, ticarete, meskenlerde, turistik yerlerde, ulaşımda, eğlencede, özet olarak bugünkü sosyal ve ekonomik yaşamın her sahasında çok çeşitli uygulama alanları bulmuştur.

Bilindiği gibi elektrik, güneşten sonra çevremizi aydınlatan başlıca aydınlatma aracıdır. Elektrikli aydınlatmanın günümüzde önemi büyüktür. Göz sağlığı, iş emniyetinin sağlanması, iş veriminin artırılması, güvenliğin devamı, trafiğin düzenlenmesi gibi hususlarda elektrikli aydınlatma büyük önem kazanır. Fizyolojik aydınlatmanın yanında, dekoratif aydınlatma ile göz zevki geliştirilmiş, güzelliklerimiz, buna tarihi ve turistik eserlerimiz de dahil olmak üzere daha hoş

sunuma ulaşarak, daha etkileyici olmuştur. Reklam aydınlatmasıyla ticari ürünler daha çok alıcı bulmuştur.

Elektriğin uygulama alanlarından biri de ulaşımdır. Demiryolları, banliyö ve metrolar hem enerjinin temiz, hem de tesis, işletme, bakım ve kontrol özelliklerinden dolayı elektrik enerjisinden çok büyük oranda yararlanmaktadır.

Başlangıçta nüfusumuzun önemli bir kısmını teşkil eden kırsal kesim, son yıllarda sosyal yaşamdaki kaliteden daha fazla yararlanmak, daha iyi eğitim ve sağlık hizmeti almak ve daha fazla para kazanmak, iş bulup yeni iş alanları açmak için şehirlere göç etmiş ve sonuçta şehirleşme oranı %60'ların üzerine çıkmıştır. Dolayısıyla 1980'li yıllarda tarımda enerji kullanımı dolayısıyla artan talep, göçün şehirlere yönelmesiyle hızlı bir şekilde azalmıştır. Kırsal kesimde azalan nüfusa rağmen, makineleşme, sulu tarımın yaygınlaşması ve kaliteli tohumlar sayesinde üretim çok fazla düşmemiş hatta bazı ürünlerde oldukça artmıştır.

Bu gün elektrik enerjisi kırsal kesimde başta sulama, hayvancılık, süt ve ürünlerinin işlenmesi, soğuk hava depolarının yapılması ile meyvecilikte yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Elektrik enerjisi bugün konutların değişmez ve en acil ihtiyaçlarından biri olmuş, hayatımızı büyük ölçüde kolaylaştırmıştır. Başlangıçta aydınlatmada kullanılan elektrik enerjisi artık hemen hemen her konutta bulunan çamaşır, bulaşık, makineleri ile fırın, buzdolabı, televizyon, radyo, müzik seti, bilgisayar, ütü, ısıtma, klima vb. aletlerde kullanılmasıyla bireysel yaşamda da önemli değişimler olmuştur. Bunun sonucunda insanlara daha fazla zaman kaldığından, kendilerini bilime, kültüre, aile bireylerine ve sosyal yaşama vermeleri ile daha huzurlu, mutlu insanlardan oluşan toplum oluşturmaları beklenir.

1.3. Elektrik Enerjisinin Kalitesi

Sosyal ve ekonomik hayatın vazgeçilmez bir parçası olan elektrik enerjisinin faydalı olabilmesi için tüketicilerin arzu ettiği kalitede sunulması gerekir. Bu maksatla

Üretim, iletim ve dağıtım tesislerinde gerekli tedbirler alınarak tüketicilerin güven duyabileceği ve standartların öngördüğü kalitede enerjiyi kullanıma hazır tutmak gerekir. Uygulamalarda elektrik enerjisi diğer girdilerden oldukça farklıdır. Üretim merkezi, tüketim merkezinden çok uzakta ve diğer üretim merkezleriyle paralel olarak bir Őebekeyi besleyerek tüketim merkezlerine çok uzun havai hatlardan ve daha sonra çoğu kez yeraltı kablolarından ve birçok transformatörden geçtikten sonra ulaşır. Son yıllarda sisteme, zelleştirme faaliyetleri paralelinde bağlanan çok sayıdaki farklı üretim tesisleri arasında gerekli koordinasyonu sağlamak, enerji kalitesi açısından daha büyük önem oluşturmuştur. Enerji kalitesinin tüketim noktasında istenen düzeyde güvence altına alınması kolay değildir ve standart dışı enerjinin ret ya da uzaklaştırılması da mümkün değildir.

Çok hassas tüketiciler için enerjinin kalitesi çok daha önemlidir. Enerji kalitesi hakkında sınırlı istatistik bilgiler mevcut olmakla birlikte, üretici tarafından kabul edilebilir bir kalite düzeyi, tüketicinin ihtiyaç duyduğundan veya istediğinden farklı olabilir. Çok sık karşılaşılan kalite problemleri birkaç saniyeden birkaç saate kadar devam edebilen elektrik kesilmeleri, gerilim düşümleri ve frekanstaki oynamalardır. Uzun süreli kesintiler doğal olarak bütün tüketicileri etkilemekte, kısa süreli kesintiler ise işletmenin özelliğine göre son derece olumsuz etkiler yaratabilmektedir.

Sürekli alışan işletmelerde kısa süreli bir kesinti henüz ürüne dönüşmemiş önemli miktarda malzeme ve hammaddenin kullanılmayacak duruma gelerek hurdaya veya tekrar işlenmek üzere çeşitli depolara gönderilmesine neden olabilir, örneğin petrol rafinerisinin bir ünitesinde çok kısa süreli bir kesintinin maliyeti 2 milyon dolar civarında olup, tesisin tamamının devre dışı olması halinde bu maliyet 4 milyon dolara kadar çıkmaktadır. Maddi kaybın yanında kontrolsüz bir duruş olduğundan yangın, patlama ve tehlikeli gazların çevreye yayılmasıyla hem maddi kaybın boyutu büyük ölçüde artacak hem de can güvenliği büyük ölçüde tehlikeye düşecektir. Çevreye verilecek zararlar da oldukça büyüktür.

Çok aşamalı işletmelerde, prosesin her hangi bir aşamasında meydana gelebilecek bir enerji kesintisi, önceki operasyonları geçersiz kılabilir.

Bilgi işlem sistemlerinde proses maliyeti düşük buna mukabil yapılan işlemin değeri çok yüksektir. Bir ticari işlemin gerçekleştirilememesi operasyon maliyetinden çok daha fazla kayıplara neden olabilir.

Yukarıda örnekleri verilen kritik işletmelere çok sayıda ilave yapılabilir. Özellikle son yıllarda büyük ölçüde elektronik ortama kayan bankacılık hizmetleri, haberleşme sistemleri, bilgisayar ortamında yapılan her türlü faaliyetler sayılabilir. Bunların hemen hemen hepside son derece kaliteli enerjiyi talep etmektedirler. Kaliteli enerji olarak "enerjinin her zaman kullanıma hazır, gerilim ve frekans değerleri standartların öngördüğü limitler dahilinde ve sinüs eğrisi şeklindeki dalga formuna sahip kaynak" anlaşılmalıdır. Mükemmellikten sapmanın hangi ölçüde ve kabul edilebilir limitler içinde olacağı kullanıcı uygulamalarına, tesis edilen cihaz ve sistemlere ve kullanıcının kendi ihtiyaçlarına olan bakış açısına bağlı olarak değişir.

Elektrik enerjisinin en önemli özelliği güvenli olsa da, bu talebin her zaman karşılanması hem teknik, hem de ekonomik değildir. Önemli olan kesintileri en aza indirerek kayıpları azaltmaktır. Finlandiya'da 1993 yılında yapılan bir araştırmaya göre kesintilerden en fazla ticari hayat ve daha sonra sırası ile endüstri, tarım, hizmet sektörü ve en az olarak da (ilk dört saatlik kesintide) aile yaşantısı etkilenmektedir.

Elektrik enerjisini tüketiciler için olabildiğince sürekli kılmanın çok çeşitli yolları vardır. Yükün büyüklüğü, yer, önemi ve kesintiye dayanabilme süresi alınacak tedbirlerin, yapılacak ilave yatırımların belirlenmesinde önemlidir. İşletmeler veya tüketiciler sistemdeki kesintilerden şebekenin başka bir noktasına yapacakları bağlantılarla daha az etkilenebilirler. Sistemin her iki noktasının aynı anda etkilene olasılığı düşüktür. Bir kesinti halinde ilave kaynak el ile veya otomatik olarak çok kısa sürede devreye girerek, tüketicileri besler. İşletmeler veya genel olarak tüketiciler sistemdeki kesintilerde devreye otomatik olarak girecek ve belirli bir süre için çalışacak çeşitli yakıtlarla çalışan generatörler tesis edebilirler. İşletmeler sistemdeki kalitesizliklerden çok etkileniyorsa bağımsız olarak kendi enerjilerini üretebilir, sistemle paralel çalışabilir ya da bir arıza halinde sisteme bağlanabilirler. Düşük güçlü ve çok hassas tüketiciler, elektriksiz büyüklükleri filtre eden kesintisiz güç kaynakları (UPS - Uninterruptable Power Supply) üzerinden beslenebilir. Bu

cihazlar sürekli olarak şebekeyle bağlıdır ve bir taraftan filtre edilmiş gerilimi tüketiciye verirken, bir taraftan da bir enerji kesintisi halinde devreye girecek aküleri besler. Bu cihazlar alternatif akımı doğru akıma daha sonra tekrar alternatif akıma dönüştürür. Yükün önemine göre kendi içinde yedekleri vardır, özellikle bilgisayar, DSC, PLC ve benzeri elektronik, mikroişlemcili cihazların beslemesinde kullanılır.

Sonuç olarak elektrik enerjisinde kalitenin garanti altına alınması, başlangıç aşamasında iyi bir tasarım, etkin ve uygun besleme kaynağı, cihaz seçimi, enerjiyi sunan kuruluşlarla sürekli işbirliği, sürekli kontrol ve dikkatli bakım gerektirmektedir.

1.4. Elektrik Sisteminden Beklentiler

Elektrik enerjisinin tüketicilere arzında ortaya çıkan kalite bozukluklarının kökeninde çok çeşitli nedenler vardır. Bunlardan en önemlisi enerjinin çok çeşitli tipteki tüketiciler tarafından ortak kullanımı vardır. Örneğin ana dağıtım sisteminde oluşan bir arızadan dolayı meydana gelen gerilim düşümü müşterilerin çok önemli bir kısmını etkiler. Arızanın büyüklüğüne göre bu müşterilerin kullandığı alet ve cihazların arızalanmasına neden olabilir. Harmonikler gibi müşterilerin kendi tesisinden kaynaklanan bazı problemler dağıtım sistemine yayılarak başka müşterileri de etkileyebilir. Şüphesiz iyi bir tesis dizaynı ve iyi bir koruma ile bu etkiler asgariye indirilir.

Çok kaliteli enerjinin, çok çeşitli ve sayıdaki müşterinin bulunduğu ortamda dağıtım kuruluşlarınca sağlanması ekonomik değildir. Bu durumda çok özel işletmeler bu gereksinimlerini gerekli maliyetlere katlanarak kendilerinin temin etmeleri gerekir.

Enerji kesintilerinde tüketicilerin parasal kayıpları ile, sistemin sürekliliğini sağlamak için yapılacak masraflar birbirine zıt ekonomik kavramlardır. Yani enerji akışının yüzde olarak sürekliliği için yapılacak masraflar artarken, müşterilerin kesintilerden dolayı uğrayacakları parasal kayıplar azalmaktadır.

Yüzde yüz güvenli bir elektrik sistemi tesis etmek ekonomik olarak mümkün değildir. Böyle bir sistemi ekonomik olarak yapabilmek için optimum bir noktanın tespit edilmesi gerekir.

Elektrik enerjisinin teminindeki kalite problemlerinin etkilerini ortadan kaldırmak veya azaltmak için çeşitli mühendislik çözümleri olup, bu alanda yeni yeni gelişmeler kaydedilmektedir.

Enerji kalitesini belirleyen en önemli faktör besleme gerilimidir. Bu gerilimin tüketicilerin terminallerinde istenen limitler içinde olması demek olup, değerinin değişmesi cihazların arızalanmasına, hatta hiç kullanılmaz hale gelmesine neden olabilir. Aşırı gerilimler izolasyonun bozulmasına, düşük gerilimler ise aşırı akımlara, gerilim düşümlerine ve en önemlisi de dalga şeklinin bozulmasından dolayı tüketicilerin, özellikle de yaygın olarak kullanılmakta olan elektronik cihazların arızalanmasına neden olur.

Elektrik enerjisinden beklenen en önemli özelliklerden birisi de emniyetli olmasıdır. Elektrik sistemleri insan ve hayvanların can güvenliğini emniyete alacak, mal kayıplarını en azda tutacak şekilde tesis edilmelidir. Bu amaçla aşırı akım ve gerilimlerin oluşmasını önleyecek, şayet oluşurlar ise çok kısa sürede etkisiz kılacak önlemler alınmalı, hava hattı iletkenlerinin birbirleri ve yer ile olan mesafelerinde gerekli emniyet paylarına dikkat edilmeli, cihazların metal kısımlarının topraklanması iyi yapılmalı, işletme topraklamaları ihmal edilmemelidir. En önemlisi de insanların elektrik ve tehlikeleri hakkında eğitilmesine ve uyarılmasına önem verilmelidir.

1.5. Elektrik Tesislerinde Arızalar

Enerji dağıtım sistemlerinde meydana gelebilecek bir arızadan dolayı tüketicilerin etkilenmesi, üretim ve iletim sistemlerinde meydana gelebilecek arızalardan daha fazladır.

Üretim ve iletim sistemleri çok dağınık olarak tesis edildiğinden, bunların tamamının ya da önemli bir kısmının aynı zamanda devre dışı olması söz konusu değildir ve her zaman için tüketim bölgelerine bir alternatif besleme vardır. Buna karşın dağıtım sistemlerinde bu imkanlar ya azdır ya da hiç yoktur.

Elektrik sisteminde genel olarak arızaların üretim, iletim ya da dağıtım sistemlerinden herhangi birinden kaynaklandığı düşünülür, ancak bu arızaların önemli bir kısmı tüketicinin kendi sahası içindeki tesisat elemanlarının, cihazlarının her hangi birinden kaynaklanacağı gibi çeşitli bağlantılardan da olabilir. İstenmeyen arızalar dikkatli hazırlanmış tasarımlar, koruma elemanları kullanarak veya alternatif besleme imkanları tesis ederek asgariye indirilebilir.

Elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtımını genel olarak bütünüyle simetrik bir yapıya sahiptir. Yani her faz iletkeninden geçen akım ile iletkenler arasındaki gerilimler mutlak değer olarak birbirine eşittir. Tek fazlı yükler fazlara eşit olarak dağıtılarak iletkenlerde denge sağlanmaya çalışılır. Ancak üç fazlı simetrik kısa devre olayı hariç, elektrik sisteminde ya dengesiz yüklenmelerden ya da iletken değmesi, iletkenler ile toprak, iletkenlerin kendi aralarında kısa devre olayları gibi arızalardan dolayı faz iletkenlerinde simetrik olmayan akımlar akar, büyüklükleri farklı gerilimler oluşur.

Elektrik sistemindeki arızaların çok önemli bir kısmı kısa devre olaylarıdır. Kısa devrelerin çeşitli sebepleri vardır[1].

Bunların başlıcaları;

i - Kaynağı tamamıyla elektrik olanlar. Bu durum iletkenlerin izolasyonunun işletme gerilimine dayanımını kaybetmesiyle ortaya çıkar.

ii - Kaynağı mekanik olanlar. Havai hat iletkenlerinin üzerine ağaç düşmesi, her hangi bir cismin çarpması, yeraltı kablolarına kazma vurulması veya heyelan, yer kayması gibi nedenlerden dolayı kablunun gergiye gelerek kopması, izolatörlerin her hangi nedenle kırılması gibi nedenlerden dolayı kısa devreler meydana gelir.

iii - Kaynağı atmosferik olanlar. Bu durum havai hat iletkenlerine veya yakınlarına yıldırım düşmesi veya statik olarak yüklü bir bulutun hattın üzerinden geçmesi esnasında meydana gelebileceği gibi, izolatörlerin kirlenmesi, iletkenlerin buzlanması veya yağmur dolayısıyla emniyetli mesafenin kaybolmasıyla da meydana gelebilir.

iv - Şebekede geçici olaylar sonucu oluşan aşırı gerilimlerin, tesisat elemanlarının izolasyonunun bozulmasına, sonucunda da kısa devre arızalarına neden olur.

v - Tesisatta insan hatasına bağlı olarak yapılan yanlış manevralar sonucu meydana gelen kısa devre arızaları.

Genel olarak, tesisatta bir kısa devre arızasının varlığı dengeli ya da dengesiz olarak kaynaklardan büyük miktarlarda çekilen akımlar ve sonucunda oluşan büyük gerilim düşümleri, elektromagnetik kuvvetler, aşırı ısınmalar ve arklar şeklinde belli olur. Arızanın büyüklüğü kaynakların büyüklüğü kadar, kaynaklara olan uzaklığa, tesisatın yapım şekline (kablolu, havai hattı - paralel, radyal, gözlü şebeke vb.), oluşumuna (simetrik, asimetric kısa devre tiplerinden her hangi biri) ve arıza noktasının özelliklerine (doğrudan, bir direnç üzerinden oluşması gibi) bağlıdır.

Elektrik sisteminde kısa devre arızalarına ilaveten salt olaylarında olduğu gibi kaynağı sistemin içinden , ya da hat iletkenlerine , iletkenlerin yakınına bir yıldırım düşmesi, elektrikle yüklü bir bulutun iletkenlerin üzerinden geçmesi veya yüklü bulutun boşalması durumlarında olduğu gibi kaynağı tamamıyla sistemin dışında olan olaylardan kaynaklanan aşırı gerilimlerde önemli arızalardır.

Elektrik sisteminde varlığı daha önceden bilinen, ancak etkileri dolayısıyla dikkate alınmayan harmonikler, son yıllarda yarı iletken teknolojisinin elektrikle çalışan cihazlarda yaygın bir şekilde kullanılmasıyla diğer bir arıza kaynağı olmuştur. Harmonik içeren devrelerde akı, akım ve gerilim gibi temel elektriksel büyüklüklerin sinüs eğrisi şeklindeki yapısı bozularak, temel frekansın tam sayı katlarıyla orantılı istenmeyen dalga şekilleri oluşur. Harmonik içeren devrelerde genelde aşırı akım,

aşırı gerilim gibi olaylar meydana gelerek tesisat elemanları ile tüketicilerin arızalanarak bozulmalarına neden olur.

Elektrik sisteminde çeşitli nedenlerden dolayı meydana gelen kısa devreler, dengesizlikler, aşırı gerilimler, harmonikler gibi istenmeyen olayların önceden saptanması, hesaplanması, tesisat elemanlarının, gerekse bu tesisatla bağlantılı diğer tesisat elemanlarının ve tüketicilerin seçimi, sistemin emniyetli bir şekilde çalıştırılabilmesi açısından önemlidir.

Bu şekilde hesaplara uygun olarak tesis edilmiş bir elektrik sisteminde meydana gelebilecek bir arızada, dengesizlikte veya aşırı gerilimde tesisat elemanları arızanın olumsuz etkilerine rahatlıkla dayanabilecek ve arıza en kısa sürede sistemden izole edilecektir.

BÖLÜM 2. BARA ADMİTANS VE EMPEDANS MATRİSLERİ

Bara admitans matrisleri devreden bakılarak direkt olarak yazılabilir. Arıza analizinde kullanılacak bara empedans matrisleri ise aşağıda bahsedilen üç farklı yöntemle bulunabilir.

2.1. Admitans Matrisinin Tersini Alma Yöntemi

Düğüm admitans matrisi Y_{bara} sembolü ile tariflenmiştir. Üç bağımsız düğümü olan bir şebeke için bara admitans matrisi devreye bakarak,

$$Y_{\text{BARA}} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

şeklinde yazılır. Bara admitans matrisinin tersi alınarak bara empedans matrisi bulunur ve Z_{bara} olarak adlandırılır.

$$Z_{\text{bara}} = Y_{\text{bara}}^{-1} \quad (2.2)$$

olduğundan ve üç düğümlü bir şebeke için,

$$Z_{\text{BARA}} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

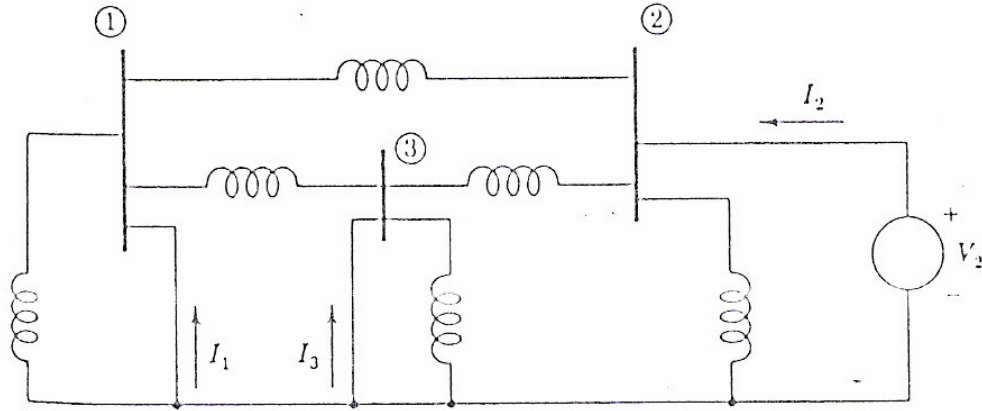
olur.

Y_{bara} diagonale göre simetrik olduğundan, aynı şekilde Z_{bara} 'da simetrik olmak mecburiyetindedir. Z_{bara} 'yı elde etmek için, bara admitans matrisinin hesaplanmasına

gerek yoktur. Z_{bara} 'nın hesaplanması için hızlı metodlar geliştirilmiştir. Bu şekilde Z_{bara} , hesaplandıktan sonra Z_{bara} 'nın inversi alınarak Y_{bara} da hesaplanabilir. Bara admitans matrisi, arıza hesaplarının incelenmesinde yaygın şekilde kullanılır[3].

2.2. Bara Empedans ve Admitans Matrisi Elemanlarının Deneysel Olarak Elde Edilmesi

Bara empedans ve admitans matrisleri kısa devre analizinde önemli bir unsurdur. Verilen bir sistemde bara empedans ve admitans değerlerinin ölçme yöntemiyle nasıl hesaplandığı üç baralı bir düzenek (Şekil 2.1) üzerinde açıklanacaktır.



Şekil 2.1 Y_{12} , Y_{22} , Y_{33} admitanslarının ölçülmesi

Bu şebekenin (Şekil 2.1) 2.düğümü için akım denklemi aşağıdaki gibi yazılır.

$$I_2 = Y_{21}.V_1 + Y_{22}.V_2 + Y_{23}.V_3 \quad (2.4)$$

1 ve 3 düğümleri referans düğümlerle kısa devre edilerek , V_1 ve V_3 bara gerilimleri sıfıra düşürülür ve I_2 akımı 2 düğüme injekte edilirse, Y_{22} düğümünün self admitansı:

$$Y_{22} = \frac{I_2}{V_2} \Big|_{V_1=V_3=0} \quad (2.5)$$

olur. Böylece belirli bir düğüm için self admitans diğer bütün düğümler referans düğümü ile kısa devre edilerek ve sonra düğüme enjekte edilen akımın düğümdeki sonuç gerilime oranından ölçülür.

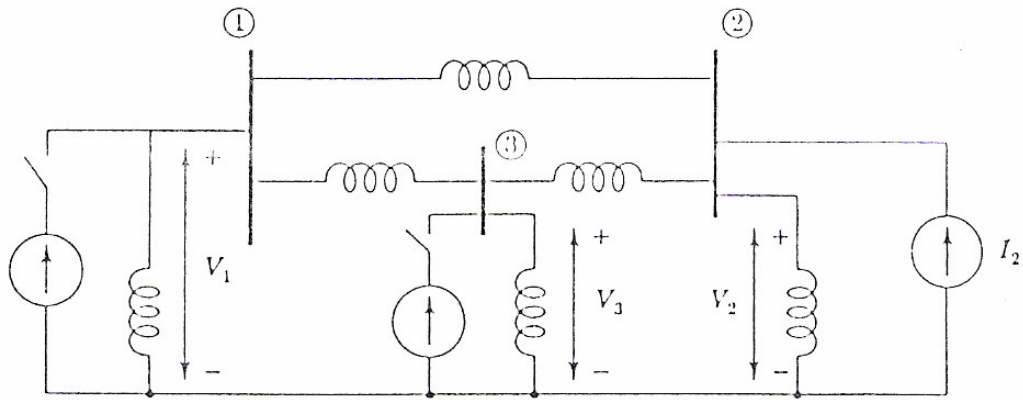
Birinci düğüm için akım denklemleri açık olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$I_1 = Y_{11} \cdot V_1 + Y_{12} \cdot V_2 + Y_{13} \cdot V_3 \quad (2.6)$$

Yukarıda ifade edildiği gibi Y_{12} aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Y_{12} = \frac{I_1}{V_2} \Big|_{V_1=V_3=0} \quad (2.7)$$

Böylece karşılıklı admitans, 2 düğümü hariç bütün düğümler referans düğümü ile kısa devre edilir ve şekil 1.2'de görüldüğü gibi 2 düğümüne I_2 akımı enjekte edilerek ölçülür. Bundan sonra Y_{12} , 1 düğümü kısa devre edildiğinde, şebekeden ayrılan akımın negatif işaretlisinin V_2 gerilimi oranına eşittir. I_1 şebekeye giren akım olarak tarif edildiğinde, 1 düğümünden ayrılan akımın negatifi kullanılır. Sonuçta elde edilen admitans, beklendiği gibi 1 ve 2 düğümleri arasında direk olarak bağlanmış adımlansın negatif işaretlisidir.



Şekil 2.2 Z_{12} , Z_{22} , Z_{32} empedanslarının ölçülmesi

$$Y_{\text{bara}}^{-1} = Z_{\text{bara}} \quad (2.8)$$

olduğu dikkate alınırsa,

$$V=Z_{\text{bara}} \cdot I \quad (2.9)$$

olur. Burada V ve I sırasıyla düğüm gerilimlerini ve akım kaynaklarından düğümlere giren akımları gösteren sütun matrislerdir. Denklem (2.9) açılırsa üç bağımsız düğüm için,

$$V_1 = Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2 + Z_{13} \cdot I_3 \quad (2.10)$$

$$V_2 = Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2 + Z_{23} \cdot I_3 \quad (2.11)$$

$$V_3 = Z_{31} \cdot I_1 + Z_{32} \cdot I_2 + Z_{33} \cdot I_3 \quad (2.12)$$

elde edilir. (2.11) denkleminde Z_{22} , 1 ve 3 düğümlerindeki akım kaynakları açık devre ve 2 düğümüne I_2 akımı enjekte edilerek aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$Z_{22} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{I_1=I_3=0} \quad (2.13)$$

Z_{22} empedansı diğer noktalara bağlı bulunan akım kaynakları açık devre edilerek bulunur. Y_{22} ise, diğer düğümler kısa devre edilerek bulunur.

Şekil 2.2'deki devre aynı zamanda bazı transfer empedanslarını ölçme imkanı verir. Denklem (2.10) da I_1 ve I_3 akım kaynakları açık devre edildiğinde:

$$Z_{12} = \left. \frac{V_1}{I_2} \right|_{I_1=I_3=0} \quad (2.14)$$

bulunur ve benzer şekilde (2.12) denkleminde,

$$Z_{32} = \left. \frac{V_3}{I_2} \right|_{I_1=I_3=0} \quad (2.15)$$

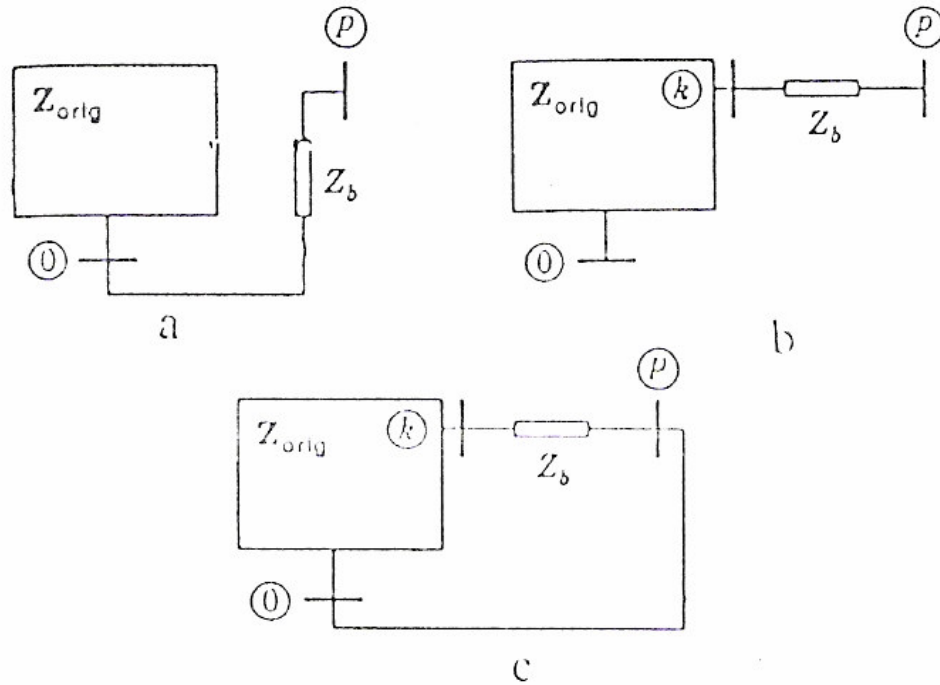
elde edilir. Böylece Z_{12} ve Z_{32} transfer empedansları, 2 düğümü hariç diğer bütün düğümlerdeki kaynaklar açık devre edildiğinde, V_1 ve V_3 ün 2 düğümündeki injekte

akıma bölünmesi ile ölçülebilir. Bir karşılıklı admitans, bir düğüm hariç diğer bütün düğümlerin kısa devre bir transfer empedansı ise biri hariç diğer kaynakların açık devre edilmesi ile ölçüldüğüne dikkat edilmelidir. Aynı şartlar altında; (2.11) ve (2.12) denklemlerinden görüleceği gibi I_1 akımını 2 ve 3 baralarında aşağıdaki şekilde hesaplanan gerilimlerin doğmasına neden olur.

$$V_2 = I_1 \cdot Z_{21} \quad \text{ve} \quad V_3 = I_1 \cdot Z_{31} \quad (2.16)$$

2.3. Bara Empedans Matrisinin Doğrudan Elde Edilmesi

Güç sistemlerinin analizinde Z_{bara} önemli bir araçtır. Z_{bara} nın elde edilme yöntemlerinden biri Y_{bara} nın direkt olarak yazılması ve bunun tersini alarak Z_{bara} nın bulunmasıdır. Bunun yanında Z_{bara} direkt olarak da elde edilebilir. Aşağıda bu yöntem verilmiştir.



Şekil 2.3 K barasına yeni bir empedans bağlanması

- P barasının referans noktasına bağlanması
- P barasının K barasına bir empedans üzerinden bağlanması
- K barası ile referans noktasına bir empedans bağlanması

Orjinal bara empedans matrisi $N \times N$ boyutunda Zorig şeklinde tanımlanmıştır. Bahsedilecek analiz yönteminde var olan baralar h, i, j ve k indisleriyle gösterilmiştir. P ve q indisleri ise şebekeye dahil edilecek yeni baralar için kullanılacaktır. K barasındaki orjinal gerilim V_k^0 ile gösterilmiştir. Yeni bir eleman eklendikten sonraki bara gerilimi V_k şeklinde tanımlanmıştır. $\Delta V_k = V_k - V_k^0$ ise baradaki gerilim değişimini ifade etmek için kullanılmıştır[3].

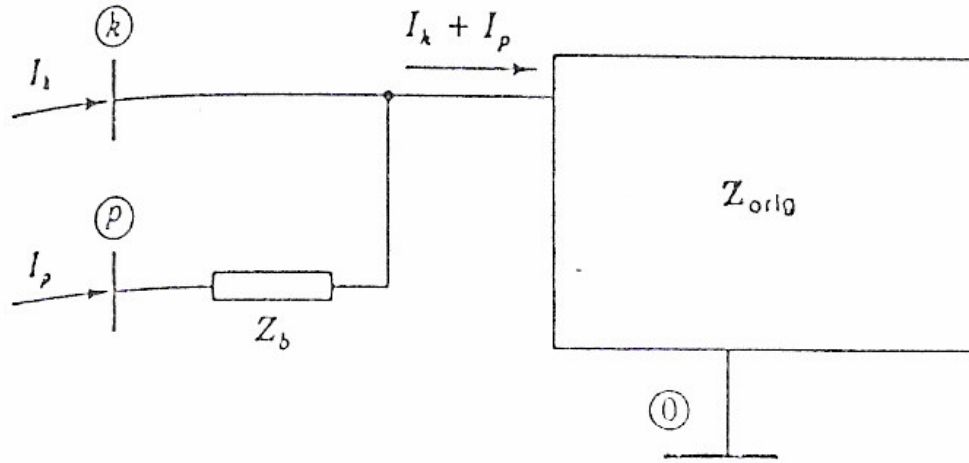
a. Yeni bir P barasının Z_b direnci üzerinden referans noktasına bağlanması durumu (Şekil 2.3a):

P barası Z_b direnci üzerinden referans barasına bağlandığında orjinal devrenin bara gerilimleri değişmez. P barasındaki gerilim $V_p = I_p \cdot Z_p$ olur. Bunun sonucu olarak yeni bara empedans matrisi aşağıdaki gibi olur.

$$\begin{pmatrix} V_1^0 \\ V_2^0 \\ \vdots \\ V_N^0 \\ V_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} & & & & 0 \\ & & & & 0 \\ & & & & \vdots \\ & & & & 0 \\ & & & & Z_p \\ 0 & 0 & \dots & 0 & Z_p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \\ I_p \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

b. K barasına p barasının Z_b empedansı üzerinden bağlanması durumu (Şekil 2.3b):

Bu durumda orjinal devreye giren akımlar k barasından injekte edilen akım ile p barasından injekte edilen akımların toplamıdır (Şekil 2.4). Sisteme enjekte edilen akımlar arttığından dolayı k barasındaki orjinal gerilim $I_p \cdot Z_{kk}$ kadar arttırır.



Şekil 2.4 K barasındaki akım değişimi

$$V_k = V_k^0 + I_p \cdot Z_{kk} \quad (2.18)$$

V_p gerilimi ise yeni V_k dan $I_p \cdot Z_b$ kadar büyük olacaktır.

$$V_p = V_k^0 + I_p \cdot Z_{kk} + I_p \cdot Z_b \quad (2.19)$$

V_k^0 gerilimini açık şekilde yazılır ve V_p de yerine koyulursa,

$$V_p = I_1 \cdot Z_{k1} + I_2 \cdot Z_{k2} + \dots + I_N \cdot Z_{kN} + I_p (Z_{kk} + Z_b) \quad (2.20)$$

olur. V_p değerini bulmak için Z_{orig} empedans matrisine yeni bir satır eklenmelidir.

Yeni bara empedansı matris formunda aşağıdaki gibi olur.

$$\begin{pmatrix} V_1^0 \\ V_2^0 \\ \vdots \\ V_N^0 \\ V_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{orig} & Z_{1k} \\ & Z_{2k} \\ & \vdots \\ & Z_{Nk} \\ Z_{k1} & Z_{k2} & \dots & Z_{kN} & Z_{kk} + Z_b \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \\ I_p \end{pmatrix} \quad (2.21)$$

$$Z_{hi(yeni)} = Z_{hi} - \frac{Z_{h(N+1)}Z_{(N+1)i}}{Z_{kk} + Z_b} \quad (2.22)$$

c. Var olan k barası ile referans noktasına Z_b , empedansının bağlanması durumu (Şekil 2.3c):

Bu bağlantı durumunda yeni bir p barası oluşur. P barası referans noktasına bağlı olduğundan $V_p=0$ olur. Elde edilen Z_{bara} yeni empedans matrisi denklem (2.21) deki gibi olur. $V_p=0$ olduğundan bu matrisin indirgenmesi gerekir. İndirgeme işlemi (2.22) denklemi ile yapılır. Burada N bara sayısını, $Z_{hi(yeni)}$ ise yeni bara empedans değerlerini göstermektedir.

BÖLÜM 3. ENERJİ SİSTEMLERİNDE SİMETRİK KISA DEVRE ARIZALARININ ANALİZİ

Bir güç sisteminde arıza meydana geldiğinde, akan akım, sistemdeki makinaların iç e.m.k 'ları, bu makinaların empedansları ve arıza yeri ile makinalar arasındaki şebekenin empedansı dikkate alınarak bulunur. Arıza esnasında makinalarda üretilen gerilim endüvi reaksiyonu dolayısı ile değişir. Makinaların reaktansları da başlangıç değerlerini muhafaza edemez. Bu nedenle, arıza meydana geldiği ilk anda ve bunu takip eden anlarda arıza akımı aynı değerde kalmayıp, çok büyük bir başlangıç değerinden daha küçük sürekli bir değere doğru değişik değerler alır. Arıza akımının aldığı bu değerlerin bilinmesi güç sistemlerinin tesisi, işletilmesi ve güvenilirliği yönünden önemlidir.

3.1. Kısa Devre Olan Bir Senkron Generatörün İncelenmesi

Senkron generatör kısa devre olduğunda meydana gelen olayların incelenmesine başlamadan önce a.c gerilim uygulanan sabit bir R ve sabit bir L 'den meydana gelen bir devre göz önüne alınsın.

Böyle bir RL devresine $t=0$ anında $V=V_m \sin(\omega t + \alpha)$ olan bir a.c gerilim uygulanırsa bu gerilimin değeri α 'ya bağlı olarak değişir. Şalter kapatılarak devreye gerilim uygulandığında, gerilimin ani değeri sıfır ve pozitif yönde artıyorsa $\alpha=0$ 'dır. Gerilim, şalter kapatıldığında pozitif maksimum ani değerinde ise $\alpha=\pi/2$ olur. Bu devrenin diferansiyel denklemi;

$$V_{\max} \sin(\omega t + \alpha) = Ri + L \frac{di}{dt} \quad (3.1)$$

olur. Bu denklemin çözümü ise,

$$i = \frac{V_{\max}}{|Z|} \left[\sin(\omega t + \alpha - \theta) - e^{-\frac{R}{L}t} \sin(\alpha - \theta) \right] \quad (3.2)$$

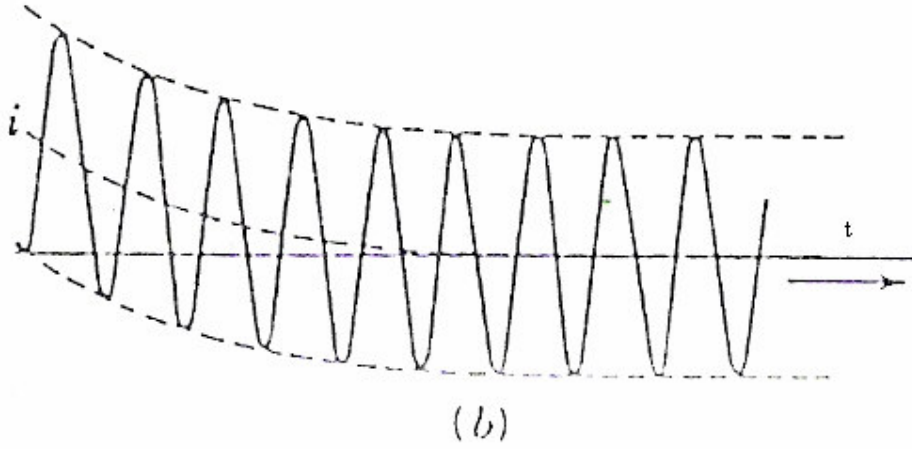
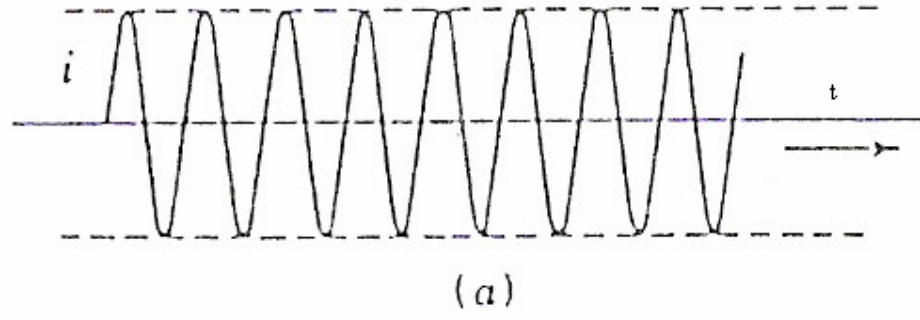
şeklindedir. Burada,

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad (3.3)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right) \quad (3.4)$$

dir.

Denklem (3.2)'nin birinci terimi zamana bağlı olarak sinüzoidal olarak değişir. İkinci terim periyodik değildir ve R/L zaman sabitine bağlı üstel olarak değişir. Bu periyodik olmayan akımın d.c bileşeni olarak adlandırılır. Sinüzoidal terim ise sürekli bir akım olup a.c bileşeni olarak anılır. Şalterin kapatılarak gerilimin tatbik edildiği t=0 anında henüz bir akım geçmeye başlamadığından (3.2) denkleminde akımın 1. terimi bu anda sıfırdır. t=0 olduğunda akımın 1. teriminin değeri sıfır değilse, çözümde d.c. bileşeni de bulunur. Gerilim dalgası $\alpha - \theta = 0$ veya $\alpha - \theta = \pi$ noktalarında iken şalter kapatılırsa (3.2) çözüm denklemindeki d.c. bileşeni kalkar. Şekil 3.1 'de $\alpha - \theta = 0$ için akımın zamana göre değişimi gösterilmiştir. Gerilim dalgası $\alpha - \theta = \pm \pi/2$ noktasında iken şalter kapatılırsa, d.c. bileşeni, sahip olabileceği maksimum başlangıç değerini alır. Bu değer aynı zamanda sinüzoidal bileşenin maksimum değerine eşittir. Bu durum Şekil 3.1'de $\alpha - \theta = -\pi/2$ gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Akımın zamana göre değişimi

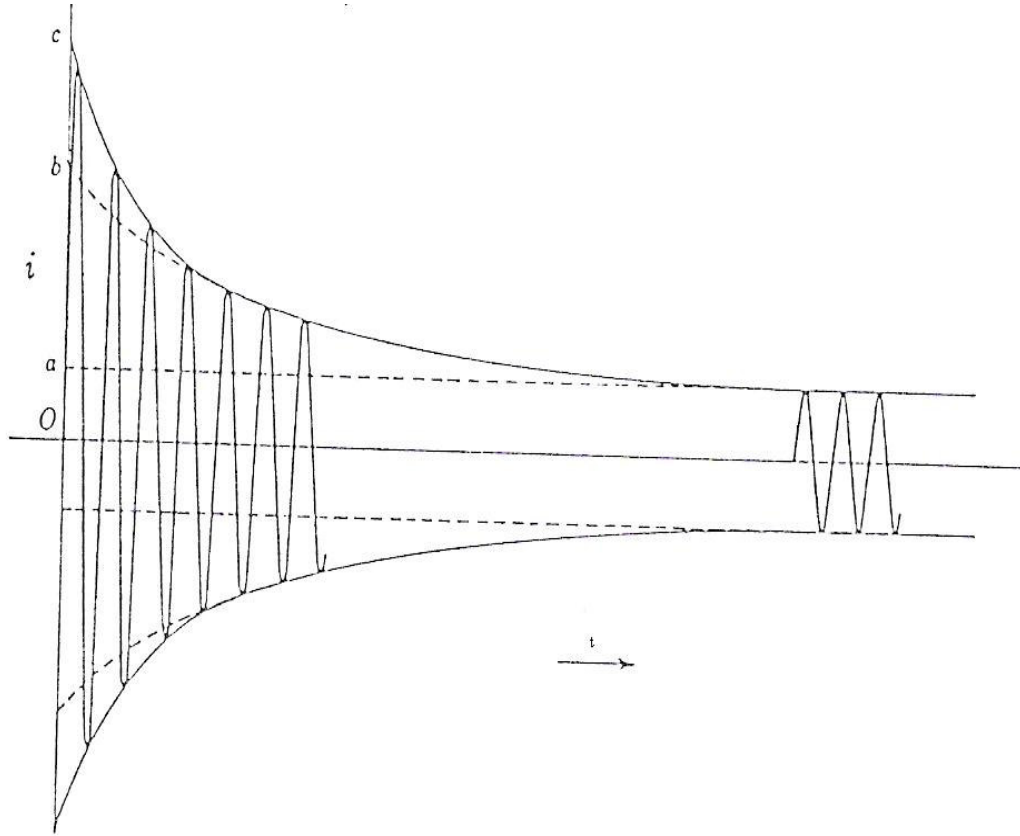
- a. $\alpha - \theta = 0$ için akımın değişimi
- b. $\alpha - \theta = -\pi/2$ için akımın değişimi

Devrenin güç faktörüne ve şalterin kapatıldığı andaki gerilimin ani değerine bağlı olarak d.c. bileşeni sıfırdan V_{\max}/Z 'ye kadar değerler alabilir. Gerilimin uygulandığı anda, d.c. ve a.c. bileşenlerinin mutlak değerleri daima aynı fakat ters işaretlidir.

Senkron makinanın endüvi sargılarının da direnç ve reaktansı olduğundan, makinada meydana gelen olaya bir RL devresine benzer fakat şüphesiz aralarında bazı önemli farklar vardır[3].

3.2. Senkron Makinaların Reaktansları ve Kısa Devre Akımları

Kısa devre akımların zamana göre değişimini gösteren grafik (Şekil 3.2) incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilir.



Şekil 3.2 Yüksüz halde çalışan generatörün kısa devre akım diyagramı

Oa mesafesi sürekli kısa devre akımının maksimum değeridir. Bu akımın 0,707 katı sürekli kısa devre akımının efektif değeri III'dır. Yüksüz haldeki genaratör gerilimi E_g 'nin "sürekli kısa devre akımı" III'ya bölünmesi ile elde edilen değer, alternatörün senkron reaktansı x_d olarak adlandırılır. Burada küçük olan armatür direnci ihmal edilmiştir.

Azalmanın çok hızlı olduğu ilk birkaç periyot ihmal edilir ve akım dalgasının zarf eğrisi geriye doğru uzatılırsa, şekil 3.2 'deki b noktası bulunur. İşte bu ob mesafesi ile

gösterilen akımın efikas değeri veya amper cinsinden 0,707 .ob "transient akım" II' olarak bilinir. Arızadan önce yüksüz çalışan bir alternetör için yeni bir makine reaktansı tariflenebilir ve buna transient reaktans x_d denir ve $|E_g| / |II'|$ eşittir.

Azalmanın çok hızlı olduğu ilk birkaç periyotta dikkate alınan akım dalgasının zarf eğrisinin akım eksenini kestiği c noktası bulunur. (Şekil 3.2). İşte bu oc mesafesi ile gösterilen akımın efikas değeri veya amper cinsinden 0,707 oc subtransient akım II'' olarak adlandırılır. Bu subtransient akım daha çok başlangıç simetrik kısa devre akımının efikas değeri olarak adlandırılır. Bunun nedeni, arıza meydana geldikten hemen sonra akımın a.c bileşeninin efikas değeri alınarak ve de bileşeni ihmal edilerek elde edilmesindedir. Yüksüz olarak çalıştırılan bir generatörün uçlarında üç faz arızası meydana gelmeden önce subtransient reaktansı $x'' = |E_g| / |II''|$ dir.

Kısaca sonuçlar özetlenirse, uçlarında üç fazlı arıza meydana gelmeden önce yüksüz olarak çalışan bir alternatör için yukarıda incelenen akımlar ve reaktanslar aşağıdaki denklemlerle tariflenir.

$$III = \frac{oa}{\sqrt{2}} = \frac{|E_g|}{X_d} \quad (3.5)$$

$$|II'| = \frac{ob}{\sqrt{2}} = \frac{|E'_g|}{X'_d} \quad (3.6)$$

$$|II''| = \frac{oc}{\sqrt{2}} = \frac{|E''_g|}{X''_d} \quad (3.7)$$

Burada,

III : Sürekli akım, efikas değeri

|II'| : Transient akım, d.c bileşen hariç efikas değeri

|II''| : Subtransient akım, d.c bileşen hariç efikas değeri

X_d : Senkron reaktans

X'_d : Transient reaktans

X''_d : Subtransient reaktans

$|E_g|$: Yüksüz halde faz-nötr geriliminin efikas değeri

(3.5) ten (3.7) kadar olan denklemler genaratör reaktansları bilinmesi halinde genaratör arıza akımını hesaplamaya yarar. Arıza genaratör uçlarında meydana gelmeyip arıza noktası ile genaratör arasında dış empedanslar mevcut ise, bu empedansların da dikkate alınması gerekir. Dış empedans X_e ise kısa devre akımları:

$$|I| = \frac{|E_g|}{X_d + X_e} \quad (3.8)$$

$$|I'| = \frac{|E_g|}{X'_d + X_e} \quad (3.9)$$

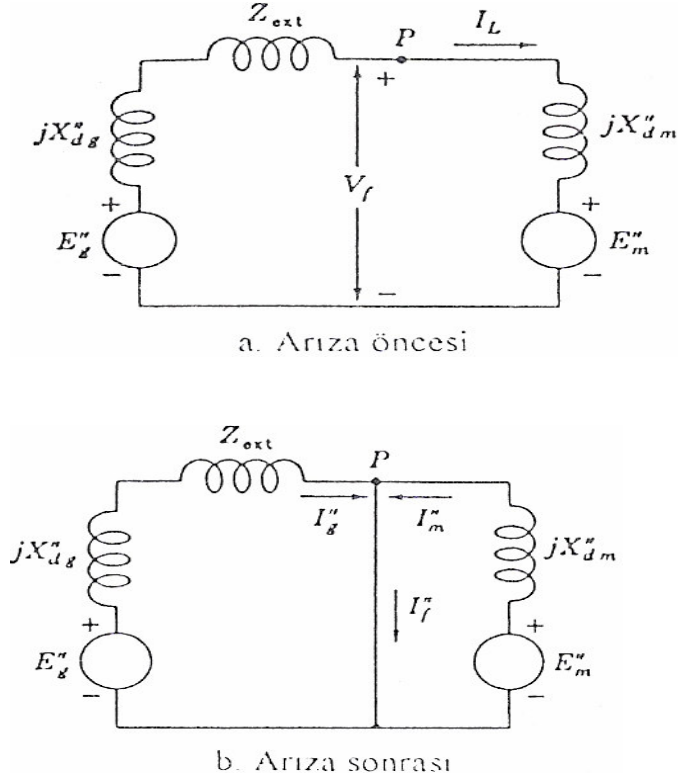
$$|I''| = \frac{|E_g|}{X''_d + X_e} \quad (3.10)$$

ile hesaplanır.

3.3. Simetrik Kısa Devre Arızalarının Çözüm Yöntemleri

Bir güç sistemde simetrik kısa devre arıza akım ve gerilimleri iki yöntemle çözülebilir. Birinci yöntemde elemanların dahili subtransient gerilimleri hesaplanarak arıza akımları ve gerilimleri hesaplanır. İkinci yöntemde ise arıza akım ve gerilimleri Thevenin teoremi yardımıyla hesaplanır[3].

Senkron genaratörün Z_{ext} empedansı üzerinden senkron motoru besleyen bir sistem ele alınsın. Motor terminallerinde simetrik bir arıza olmadan önce genaratörden I_L akımı çekiliyor olsun. Arıza öncesi sistemin eşdeğeri Şekil 3.3 'te gösterilmiştir. Makinaların senkron reaktansları subtransient reaktanslarla yer değiştirerek eşdeğer devre elde edilir. Arıza öncesi V_f ve I_L akımları aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.



Şekil 3.3 Senkron generatörün Z_{ext} empedansı üzerinden senkron motoru besleyen sistemin eşdeğer devresi

$$E_g'' = V_f + (Z_{ext} + jX_{dg}'')I_L \quad (3.11)$$

$$E_m'' = V_f - jX_{dm}''I_L \quad (3.12)$$

P noktasında bir arıza olduğunda motor ve senkron generatörden akan arıza akımları aşağıdaki eşitlikten bulunur.

$$I_g'' = \frac{E_g''}{Z_{ext} + jX_{dg}''} = \frac{V_f}{Z_{ext} + jX_{dg}''} + jI_L \quad (3.13)$$

$$I_m'' = \frac{E_m''}{jX_{dm}''} = \frac{V_f}{jX_{dm}''} - I_L \quad (3.14)$$

Arıza noktasından geçen arıza akımı,

$$I_f'' = I_g'' + I_m'' = \frac{V_f}{Z_{ext} + jX_{dg}''} + \frac{V_f}{jX_{dm}''} \quad (3.15)$$

olur.

Arıza akımını Thevenin yöntemi ile de hesaplayabiliriz. Bu yöntemde arıza öncesi gerilimlerin bilinmesi gereklidir. Arıza öncesi P noktasının gerilimi ve makinaların subtransient reaktansları Şekil 3.4 'de gösterilmiştir. I_f'' arıza akımı ve diğer kollarındaki arıza akımları (I_g'' , I_m'') P noktasına arıza öncesi V_f gerilimi uygulanarak bulunabilir. Sistemin Thevenin eşdeğeri Şekil 3.4b 'deki gibi olur. Enerji sisteminin Thevenin eşdeğeri,

$$Z_{th} = \frac{jX_{dm}''(Z_{ext} + jX_{dg}'')}{Z_{ext} + j(X_{dg}'' + X_{dm}'')} \quad (3.16)$$

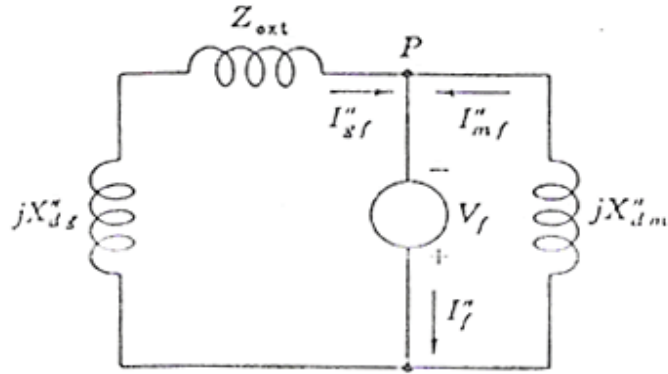
olur.

P noktasındaki arızayı simüle etmek için S anahtarı kapatılır ve arıza akımı,

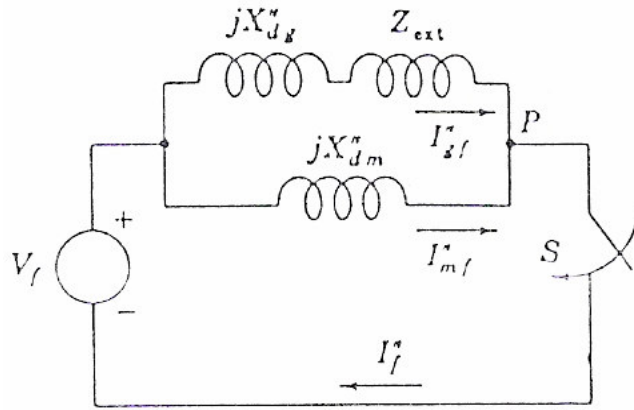
$$I_f'' = \frac{V_f}{Z_{th}} = \frac{V_f [Z_{ext} + j(X_{dg}'' + X_{dm}'')] }{jX_{dm}''(Z_{ext} + jX_{dg}'')} \quad (3.17)$$

şeklinde hesaplanır.

Üç fazlı simetrik arızalar yukarıda bahsedildiği gibi ya Thevenin teoremi yardımıyla ya da generatör ve motorların subtransient dahili gerilimlerinden hesaplanır.



(a)



(b)

Şekil 3.4 Senkron generatörün Z_{ext} empedansı üzerinden senkron motoru besleyen sistemin eşdeğer devresi

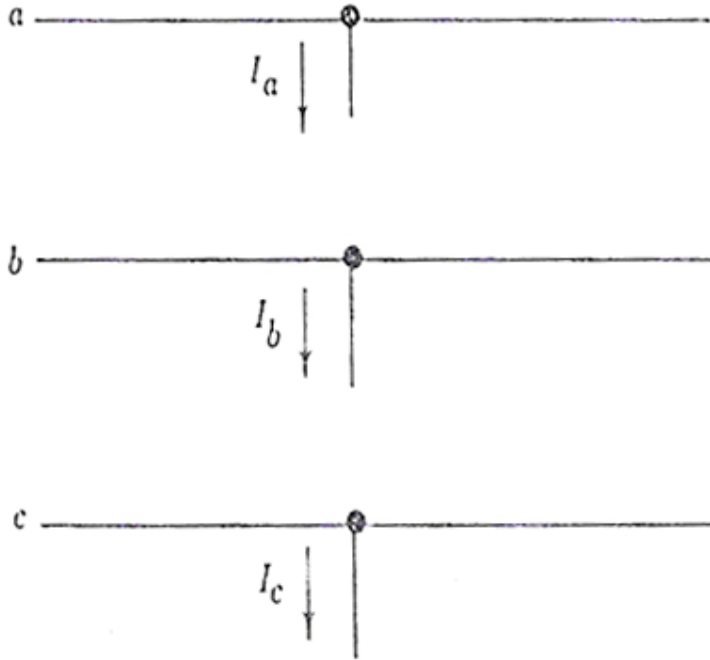
- Arıza noktasına V_f geriliminin uygulanması
- Sistemin Thevenin eşdeğeri

BÖLÜM 4. ENERJİ SİSTEMLERİNDE ASİMETRİK KISA DEVRE ARIZALARIN ANALİZİ

4.1. Giriş

Enerji sistemlerinde oluşan arızaların çoğu asimetrik arızalardır. Asimetrik arızalar faz-toprak, faz-faz, iki faz-toprak ve empedans üzerinden oluşan arızalardır. Oluşan asimetrik bir arızada arıza sonrası sistemden akan akımların, gerilimlerin hesabında simetrik bileşenler yöntemi kullanılır.

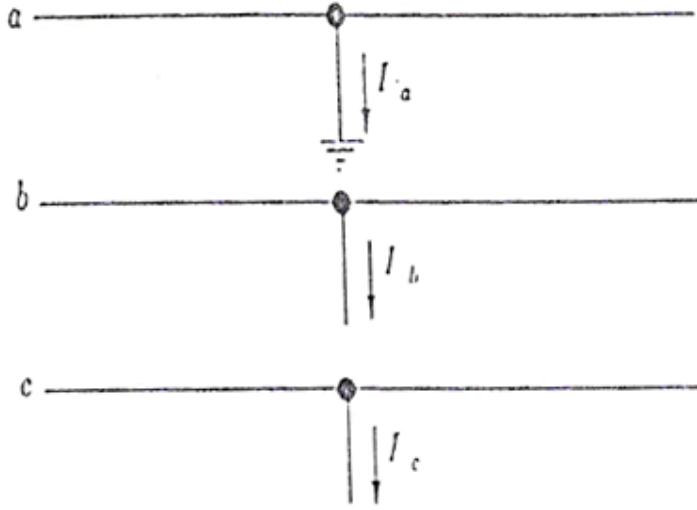
Arızanın meydana geldiği yerde, üç fazlı enerji sistemin hatlarından akan I_a , I_b , I_c akımları Şekil4.1 'deki gibi gösterilir. Buradaki hayali hatların uygun bağlantıları, çeşitli arıza tiplerini temsil etmekte kullanılır[3].



Şekil 4.1 Üç fazlı enerji iletim hatlarının gösterimi

4.2. Bir Güç Sisteminde Tek Faz-Toprak Arızası

Hayali hatlar kullanılarak bir güç sisteminde tek faz toprak arızasının gösterilişi Şekil 4.2 'deki gibidir.



Şekil 4.2 Tek faz toprak kısa devre arızası için iletim hatlarının bağlantısı

Tek faz toprak kısa devresinde sistemin boşa olduğu kabul edilirse aşağıdaki şartlar mevcut olur.

$$I_b=0, I_c=0, V_a=0 \quad (4.1)$$

Bu üç şart yüksüz bir generatörün tek faz toprak arızası için geçerli olan şartların aynısıdır. Bileşen akımları hesaplamak için,

$$\begin{pmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

eşitliğinden faydalanarak bileşen akımların

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = I_a / 3 \quad (4.3)$$

olduğu hesaplanır. Arızalı fazda arıza öncesi gerilim V_f ise gerilimin simetrikli

$$\begin{pmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{pmatrix} \quad (4.4)$$

bileşenlerinde yerine konursa

buradan,

$$V_{a0} = -Z_0 I_{a1} \quad (4.5)$$

$$V_{a1} = V_f - Z_1 I_{a1} \quad (4.6)$$

$$V_{a2} = -Z_2 I_{a1} \quad (4.7)$$

bulunur. Bu ifadeler taraf tarafa toplanır ve I_{a1} için çözülürse,

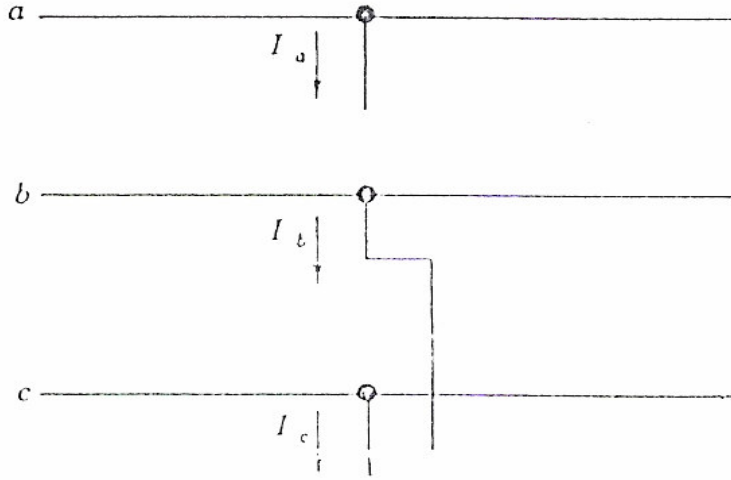
$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad (4.8)$$

bulunur.

(4.8) eşitliği tek faz-toprak kısa devre arızası için bileşen devrelerin arıza noktası boyunca seri olarak bağlanması gerektiğini gösterir.

4.3. Bir Güç Sisteminde Faz-Faz Arızası

Hayali hatlar kullanılarak bir güç sisteminde faz-faz arızasının gösterilişi şekil 4.3 'deki gibidir.



Şekil 4.3 Çift faz kısa devre arızası için iletim hatlarının bağlantısı

Çift faz kısa devre arızasında sistemin boşa olduğu kabul edilirse, aşağıdaki şartlar mevcut olur. Bileşen devrelerin nasıl bağlanacağını belirlemek için bileşen akım ve gerilimlerin hesaplanmasına gerek vardır[6].

$$I_a = 0, I_b = -I_c, V_b = V_c \quad (4.9)$$

Gerilimin simetrik bileşenleri,

$$\begin{pmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} \quad (4.10)$$

ile bulunur. (4.10) ifadesi düzenlenirse,

$$V_{a1} = V_{a2} \quad (4.11)$$

olduğu görülür.

Akımın simetrik bileşenleri ifadesinden yararlanarak ve $I_b = -I_c$ olduğunu göz önüne alarak

$$\begin{pmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ -I_c \\ I_c \end{pmatrix} \quad (4.12)$$

ve bu eşitlik çözüldüğünde,

$$I_{a0} = 0 \quad (4.13)$$

$$I_{a1} = \frac{I_c}{3} (a^2 - a) \quad (4.14)$$

$$I_{a2} = \frac{I_c}{3} (a - a^2) \quad (4.15)$$

bulunur. Buradan görüleceği gibi $I_{a0} = 0$ ve $I_{a2} = -I_{a1}$ olur. Sıfır bileşen akımı akmadığından $V_{a0} = 0$ olur. Yukarıdaki ifadeler (4.4) matrisinde yerine konur ve çözümlerse,

$$V_{a1} = V_f - Z_1 I_{a1} \quad (4.16)$$

$$V_{a2} = -Z_2 I_{a1} \quad (4.17)$$

olur. $V_{a1} = V_{a2}$ olduğu ifade edilmişti. Buradan,

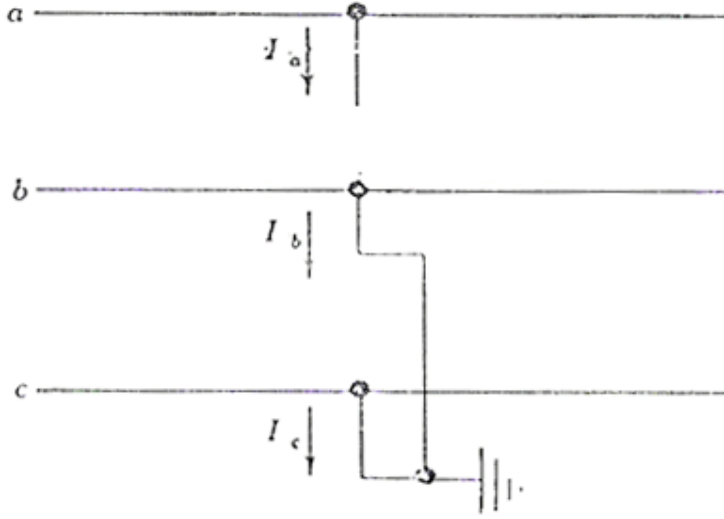
$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \quad (4.18)$$

olduğu hesaplanır.

(4.18) eşitliğine göre çift faz arızasında pozitif ve negatif bileşen devreleri paralel bağlanır.

4.4. Bir Güç Sisteminde İki Faz-Toprak Arızası

Bir güç sisteminde çift faz-toprak arızasının hayali hatlarla gösterilişi şekil 4.4 'teki gibidir.



Şekil 4.4 Çift faz toprak kısa devre arızası için iletim hatlarının bağlantısı

İki faz toprak kısa devre arızası öncesinde sistemin boşta olduğu kabul edilirse aşağıdaki şartlar mevcut olur. Bileşen devrelerin nasıl bağlanacağını belirlemek için bileşen akım ve gerilimlerin hesaplanmasına gerek vardır[6].

$$V_b = V_c = 0 \quad (4.19)$$

$$I_a = 0 \quad (4.20)$$

Gerilimin simetrik bileşenleri ifadesinden,

$$\begin{pmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_a \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4.21)$$

ifadesinden,

$$V_{a0} = V_{a1} = V_{a2} = 1/3 V_a \quad (4.22)$$

Bulunur. Bu değerler (4.4) te yerine konursa,

$$\begin{pmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{pmatrix} \quad (4.23)$$

buradan elde edilen,

$$V_f - I_{a1}Z_1 = V_{a1} = V_{a2} = V_{a0} \quad (4.24)$$

değerleri için (4.4) denklemi yeniden düzenlenirse,

$$\begin{pmatrix} V_f - I_{a1}Z_1 \\ V_f - I_{a1}Z_1 \\ V_f - I_{a1}Z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{pmatrix} \quad (4.25)$$

(4.25) matrisinin her iki yanını Z^{-1} ile çarpılırsa,

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{Z_0} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{Z_1} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{Z_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_f - I_{a1}Z_1 \\ V_f - I_{a1}Z_1 \\ V_f - I_{a1}Z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{Z_0} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{Z_1} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{Z_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{pmatrix} \quad (4.26)$$

elde edilir. (4.26) ifadesinden,

$$\frac{1}{Z_0}(V_f - I_{a1}Z_1) = -I_{a0} \quad (4.27)$$

$$\frac{1}{Z_1}(V_f - I_{a1}Z_1) = \frac{1}{Z_1}V_g - I_{a1} \quad (4.28)$$

$$\frac{1}{Z_2}(V_f - I_{a1}Z_1) = -I_{a2} \quad (4.29)$$

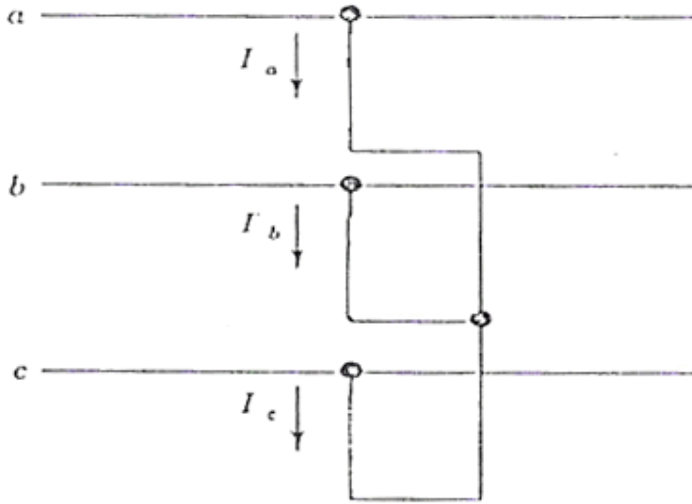
bu denklemler elde edilir. (4.27) (4.28) ve (4.29) denklemleri taraf tarafa toplanır ve I_{a1} çözülürse,

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_2 \cdot Z_0}{Z_0 + Z_2}} \quad (4.30)$$

elde edilir. (4.30) eşitliğine göre, iki faz-toprak arızası için, arıza noktasındaki bileşen devre elemanlarının birbirleri ile paralel bağlanmaları gerektiğini gösterir.

4.5. Bir Güç Sistemlerinde Üç Faz Arızaları

Bir güç sisteminde simetrik üç fazlı arızanın hayali hatlarla gösterilişi şekil 4.5 'teki gibidir.



Şekil 4.5 Üç faz toprak kısa devre arızası için iletim hatlarının bağlantısı

Üç fazlı arıza durumunda aşağıdaki şartlar mevcuttur:

$$V_a = V_b = V_c = 0 \quad (4.31)$$

Bu değerler (4.21) deki eşitlikte yerine konulursa,

$$V_{a0} = V_{a1} = V_{a2} = 0 \quad (4.32)$$

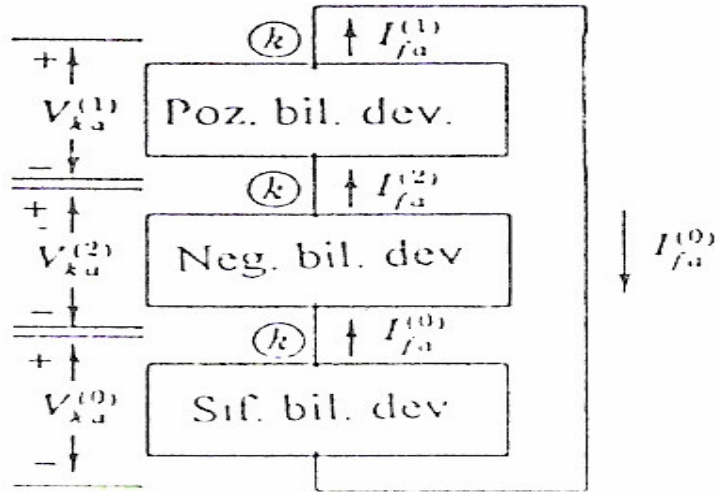
olduğu görülür. Buradan elde edilen sonuçlar (4.4) denkleminde yerine konursa,

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1} \quad (4.33)$$

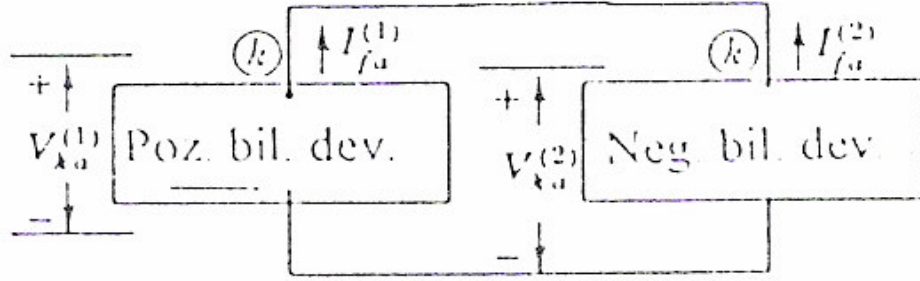
elde edilir. (4.33) eşitliğine göre üç faz kısa devre arızasında sadece pozitif bileşen devre dikkate alınır.

4.6. Arıza Türlerine Göre Bileşen Devrelerin Bağlanması

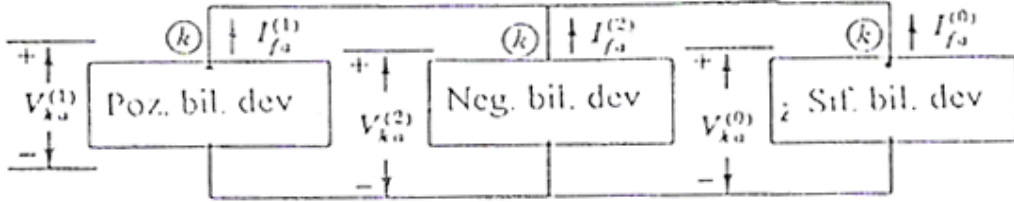
Çeşitli arıza tiplerini temsil etmek için bileşen devrelerin bağlantıları 3 fazlı simetrik bir arızada dahil olmak üzere şekil 4.6 'da gösterilmiştir.



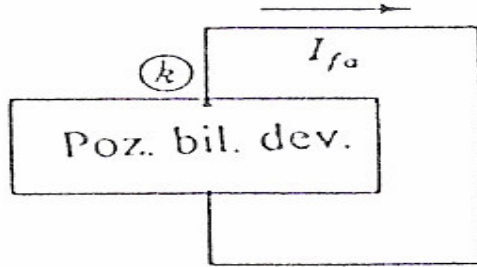
(a)



(b)



(c)



(d)

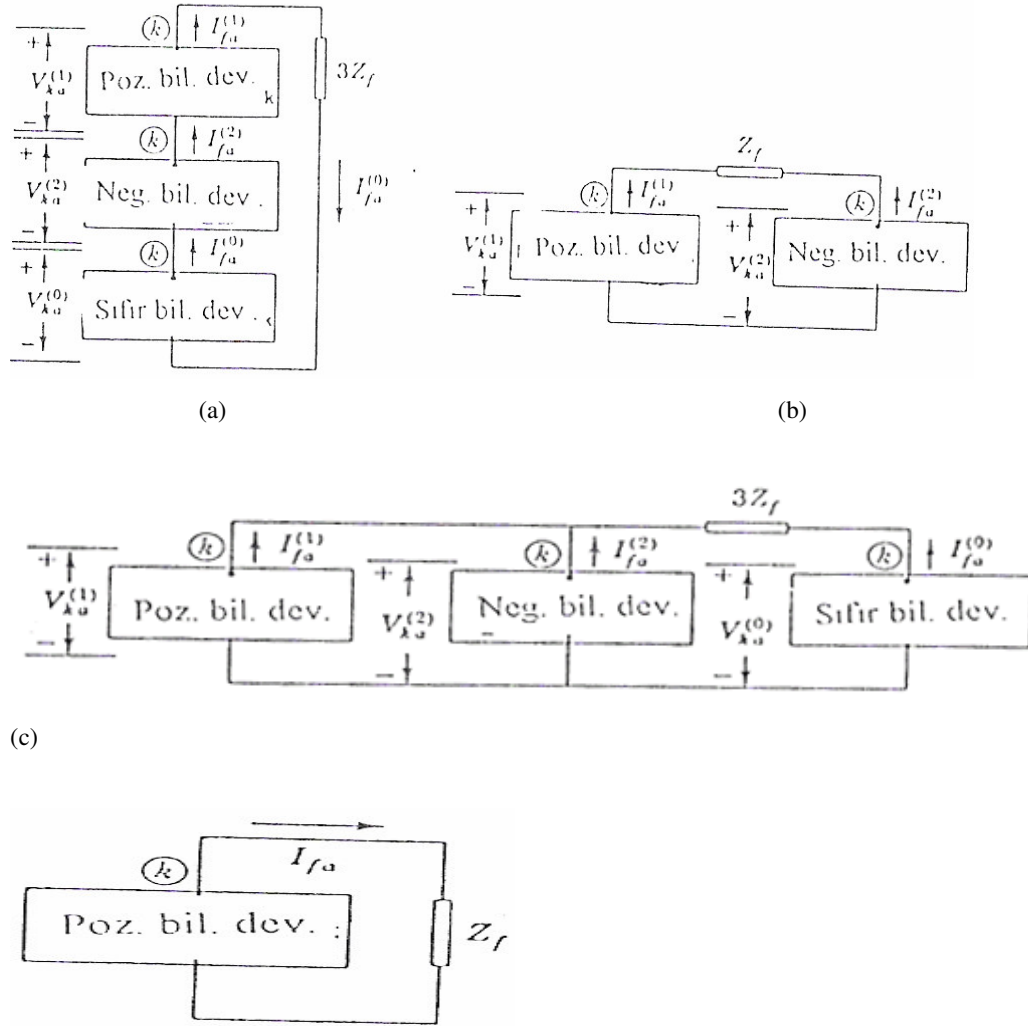
Şekil 4.6 Kısa devre arıza türlerine göre bileşen devrelerin bağlantıları

- Tek faz toprak kısa devre arızası
- Çift faz kısa devre arızası
- İki faz toprak kısa devresi
- Üç faz kısa devre arızası

4.7. Kısa Devre Arızalarının Bir Empedans Üzerinde Meydana Gelmesi Hali

Bundan önceki bölümde bütün arızaların fazlar arasında, veya faz-toprak arasında meydana gelme durumları açıklanmıştır. Bu tür direkt kısa devreler de (kısa devre mahallinde şebeke kısa devreden dolayı bir empedans ihtiva etmediği için) arıza akımı en yüksek değerine çıkar.

Arızaların pek çoğu izolatörlerin patlamalarından meydana gelir. Toprak ile faz arasındaki empedans ark rezistansına, direkt empedansına ve toprak hattı kullanılmamışsa direğin topraklama direncine bağlıdır. Empedans üzerinden meydana gelen arızalarda bileşen devrelerin bağlantı şekli şekil 4.7 'de görülmektedir[3].



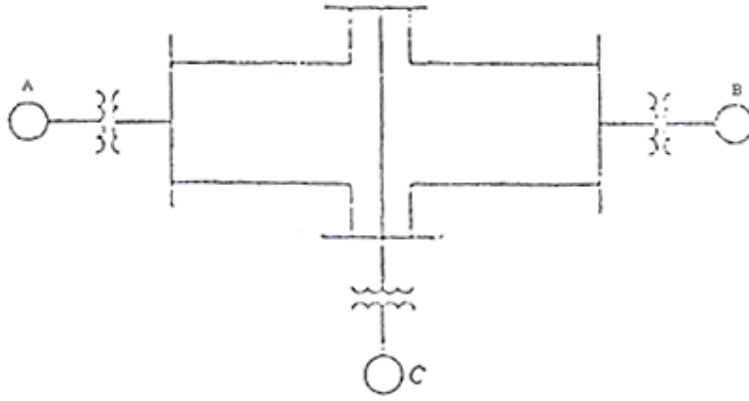
(d)

Şekil 4.7 Kısa devre arızasının bir empedans üzerinden olması durumuna göre bileşen devrelerin bağlantıları

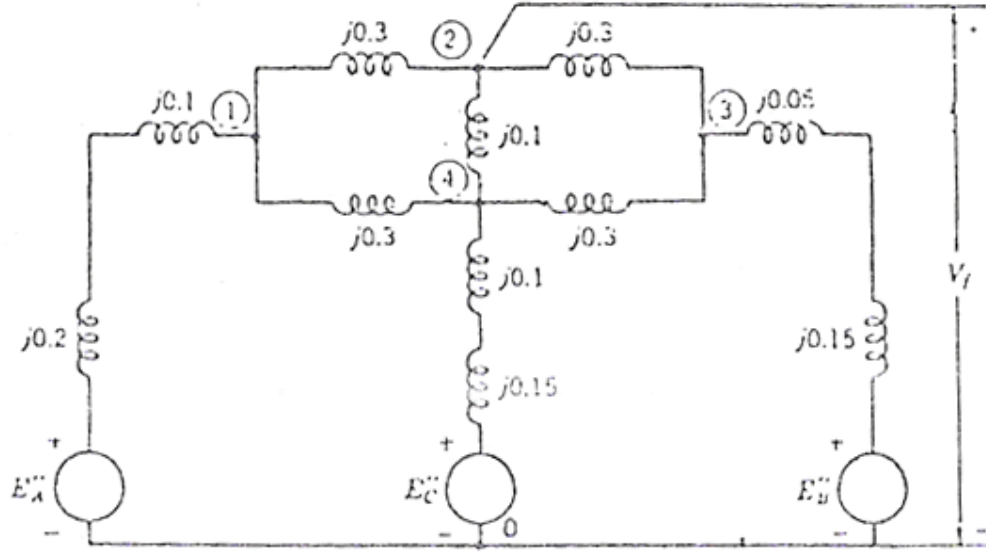
- Tek faz toprak kısa devre arızası
- Çift faz kısa devre arızası
- İki faz toprak kısa
- Üç faz kısa devre arızası

BÖLÜM 5. BARA EMPEDANS MATRİSİ KULLANARAK ASİMETRİK ARIZALARIN ANALİZİ

Genel şebekelerin incelenmesinde de şüphesiz basit şebekelerin arıza hesaplarında kullanılan hesap yöntemi kullanılır. Şekil 5.1 'de tek hat diyagramı verilmiş enerji sisteminde generatör gerilimleri ile bunlara seri bağlı reaktansları sırasıyla subtransient gerisindeki gerilimler ve subtransient reaktansları ile değiştirilirse, şekil 5.2 'deki devre elde edilir. Bu devrenin 2 nolu barasında üç faz kısa devre arızasının olduğunu kabul ederek arıza akımları ve gerilimleri aşağıdaki yöntemle çözülür. V_f gerilimi arızadan önce 2 nolu baranın gerilimidir.

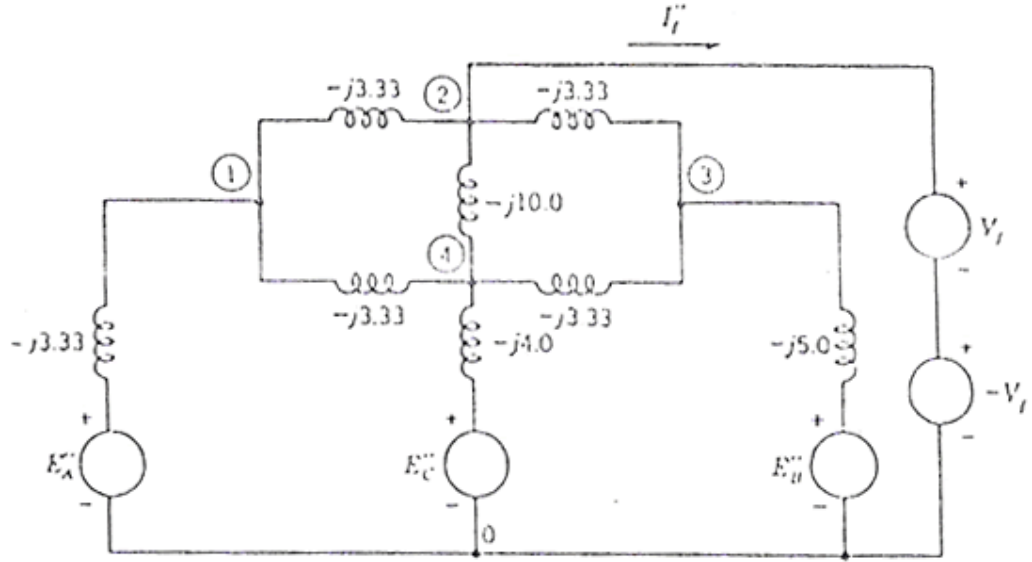


Şekil 5.1 Üç baralı enerji sisteminin tek hat diyagramı



Şekil 5.2 Şekil 5.1'deki enerji sisteminin subtransient reaktans diyagramı

İki numaralı barada üç fazlı bir arıza Şekil 5.3 'de olduğu gibi gösterilebilir. Burada V_f ve $-V_f$ gerilimleri birbirine seri olarak bağlanarak kısa devre olayını temsil etmiş olur. Bu baraya bağlanan V_f gerilimi arıza öncesi bara gerilimine eşit olduğundan dolayı V_f iki numaralı baradan akım akmasına neden olmaz. Kısa devre durumu bu iki gerilimin seri olarak bağlanmasıyla temsil edildiğine göre devreden I_f'' kısa devre akımı akar. Bu kısa devre akımı I_f'' devreye seri olarak bağlanmış olan $-V_f$ geriliminden dolayıdır.



Şekil 5.3 İki nolu baradaki kısa devre geriliminin temsili

Devre üzerinde (Şekil 5.2) admitans değerleri per-unit cinsinden gösterilmiştir. E_A'' , E_B'' ve E_C'' ve V_f kaynakları (Şekil 5.3) kısa devre edilirse, gerilimler ve akımlar $-V_f$ dolaylı olarak oluşur. İki nolu düğüme giren tek akım $-I_f''$ dur. Diğer bir ifade ile düğümden çıkan akım I_f'' dur. Sadece $-V_f$ kaynağı mevcut iken matris formunda düğüm denklemleri aşağıdaki gibi yazılır[3].

$$\begin{pmatrix} 0 \\ -I_f'' \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = j \begin{pmatrix} -10 & 3,33 & 0 & 3,33 \\ 3,33 & -16,67 & 3,33 & 10 \\ 0 & 3,33 & -11,67 & 3,33 \\ 3,33 & 10 & 3,33 & -20,67 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1^\Delta \\ -V_f \\ V_3^\Delta \\ V_4^\Delta \end{pmatrix} \quad (5.1)$$

Burada Δ indisi $-V_f$ 'nin sebep olduğu gerilimi gösterir. Δ işareti arızadan dolayı gerilim değişimlerini göstermek için kullanılmıştır.

(5.1) deki devrede bara admitans matrisinin tersi alınarak bara empedans matrisi elde edilir.

$$\begin{pmatrix} V_1^\Delta \\ -V_f \\ V_3^\Delta \\ V_4^\Delta \end{pmatrix} = Z_{\text{bara}} \begin{pmatrix} 0 \\ -I_f'' \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5.2)$$

Buradan $-V_f$ 'nin sebep olduğu bara gerilimleri aşağıdaki denklemler ile bulunur.

$$I_f'' = \frac{V_f}{Z_{22}} \quad (5.3)$$

$$V_1^\Delta = -I_f'' \cdot Z_{12} = \frac{-Z_{12}}{Z_{22}} V_f \quad (5.4)$$

$$V_3^\Delta = \frac{-Z_{32}}{Z_{22}} V_f; V_4^\Delta = \frac{-Z_{42}}{Z_{22}} V_f \quad (5.5)$$

Süperpozisyon prensibi dolayısıyla arıza önceki gerilimler, (5.4) ve (5.5) denklemleri ile verilen arıza sonrası gerilimlere ilave edilir. Genellikle arızalı devrelerde arızadan önce devreden akım akmadığı kabul edilir ve devredeki bütün arıza öncesi gerilimler V_f 'ye eşit olur. Bu kabul işimizi kolaylaştırır ve devreye süperpozisyon prensibi uygulanarak aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$V_1 = V_f + V_1^\Delta = V_f - I_f'' Z_{12} \quad (5.6)$$

$$V_2 = V_f - V_f = 0 \quad (5.7)$$

$$V_3 = V_f + V_3^\Delta = V_f - I_f'' Z_{32} \quad (5.8)$$

$$V_4 = V_f + V_4^\Delta = V_f - I_f'' Z_{42} \quad (5.9)$$

Bu gerilimler, subtransient akım aktığı zaman mevcut olan gerilimlerdir. Z_{bara} da generatör reaktanslarının subtransient değerleri kullanılmıştır. Arıza öncesi akımlar ihmal edilerek, k barasındaki arıza akımı genel formda

$$I_f = \frac{V_f}{Z_{kk}} \quad (5.10)$$

ve k barasından arıza sonrası gerilim ise,

$$V_n = V_f - \frac{Z_{nk}}{Z_{kk}} V_f \quad (5.11)$$

dir. Denklem (5.1) deki nümerik değerler kullanılarak Y_{bara} matrisinin tersi alınarak Z_{bara} elde edilir.

$$Z_{\text{bara}} = j \begin{pmatrix} 0.1502 & 0.0807 & 0.0431 & 0.0702 \\ 0.0807 & 0.1471 & 0.0692 & 0.0953 \\ 0.0431 & 0.0692 & 0.1226 & 0.0602 \\ 0.0702 & 0.0953 & 0.0602 & 0.1155 \end{pmatrix} \quad (5.12)$$

Genellikle arıza öncesi gerilim 1 per unit kabul edilir. Bu kabul ile arızalı devre çözümlerse,

$$I_f'' = \frac{1}{j0.1471} = -j6.80 \text{ pu} \quad (5.13)$$

$$V_1 = 1 - \frac{j0.0807}{j0.1471} = 1 - 0.549 = 0.415 \text{ pu} \quad (5.14)$$

$$V_3 = 1 - \frac{j0.0692}{j0.1471} = 1 - 0.470 = 0.530 \text{ pu} \quad (5.15)$$

$$V_4 = 1 - \frac{j0.0953}{j0.1471} = 1 - 0.648 = 0.352 \text{ pu} \quad (5.16)$$

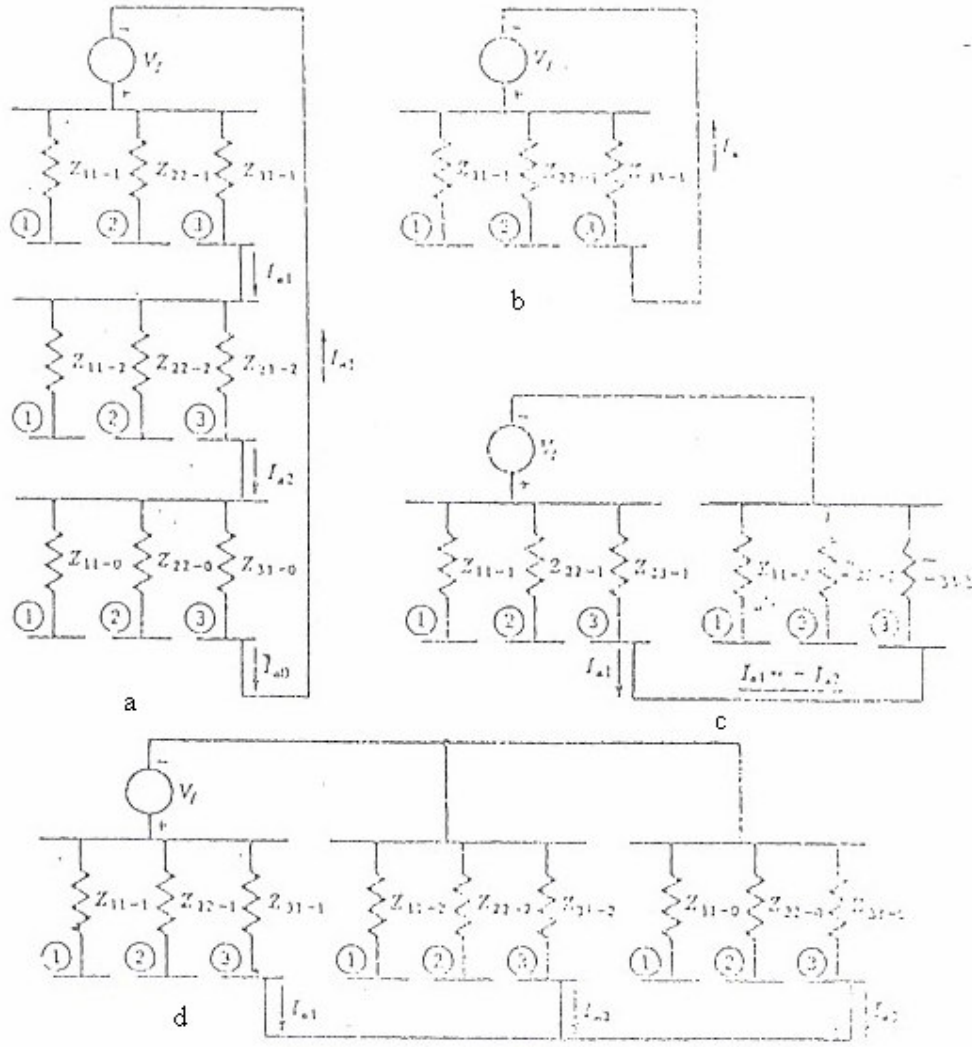
bulunur. Devrenin herhangi bir bölümündeki akımlar, gerilim ve empedanslardan bulunabilir. Örneğin, 1 ve 4 nolu baralar arasındaki hattın geçen arıza akımı:

$$I_{14}'' = \frac{V_1 - V_4}{j0.3} = \frac{0.451 - 0.352}{j0.3} = \frac{0.099}{j0.3} = -j0.33 pu \quad (5.17)$$

Generatörden 1 nolu baraya doğru akan akım aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$I_1'' = \frac{E_A'' - V_1}{j0.3} = \frac{1 - 0.415}{j0.3} = -j1.83 pu \quad (5.18)$$

Bir enerji sisteminde üç fazlı arıza meydana gelmesi halinde akım ve gerilimlerin bulunması için pozitif bileşen bara empedans matrisinin nasıl kullanıldığı gösterildi. Bu metod genişletilerek asimetrik arızaların incelenmesine uygulanabilir. Tabii burada pozitif, negatif ve sıfır bileşen eşdeğer devrelerinin bara empedans matrislerinin tariflenmesi gerekir. Bu elde edilen eşdeğer bileşen devrelere ait empedans matrisleri 0, 1 ve 2 indisleri ile gösterilir. Üç baralı bir enerji sisteminin üç numaralı burasında bir arıza olduğunda sistemin bileşen eşdeğer devrelerine ait bara empedans matrislerinin bağlantı şekilleri şekil (5.4) de gösterilmiştir.



.Şekil 5.4 Değişik arıza tipleri için bara empedans matrislerinin bağlantısı

- Tek faz toprak kısa devre arızası
- Üç faz kısa devre arızası
- Çift faz kısa devre arızası
- Çift faz toprak kısa devre arızası

3 barasında tek faz-toprak arızası meydana geldiğinde I_{a1} akımını aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_{33-1} + Z_{33-2} + Z_{33-0}} \quad (5.19)$$

Bu denklem (4.8) denklemi ile karşılaştırılırsa açık olarak Z_{33-1} , Z_{33-2} ve Z_{33-0} ın Z_1 , Z_2 ve Z_0 değerlerine karşılık olduğu görülür. Bu da bize (4.8), (4.18), (4.30) denklemlerinde kullanılan Z_1 , Z_2 ve Z_0 değerleri yerine pozitif, negatif ve sıfır bileşen bara empedans matrisi elemanlarını arıza tipinin gereğine göre kullanmamıza imkan verir. Hatlardaki akımların bulunması ile arızasız baraların gerilimlerini de hesaplamak mümkün olur[3].

BÖLÜM 6. AŞIRI GERİLİMLER

6.1. Giriş

Gerilimin bir tam dalgadan daha uzun bir süre %110' dan daha büyük bir değere ulaşmasıdır. Başka bir deyişle, bir cihaza (AG, OG, YG cihazları) gerilim verilirken üst değerinin, bir standart veya spesifikasyonda belirlenen sınır değerleri aşması durumunda ortaya çıkan duruma aşırı gerilim denir[2].

Elektrik iletim sistemlerinde;

a) Uzun süreli aşırı gerilimler (Steady-State Overvoltages (long duration)) :

Nominal gerilimin %5 üzerinde dakikalarca veya daha uzun süreli olaylar.

b) Anlık aşırı gerilimler (Transient Overvoltages) :

Birkaç milisaniye veya daha az süreli olaylar.

c) Geçici aşırı gerilimler (Temporary Overvoltages) :

Saniyeler veya daha uzun süreli dakikalara dayanan olaylar.

Aşırı gerilimler genel bir tanımla Diferansiyel modda (elektrik yüklü iletkenler arasında: faz/faz- faz/nötr), ya da Ortak modda (elektrik yüklü iletkenler ve açıkta kalan iletken parça veya toprak arasında) oluşmasıyla iki kısma ayrılabilir.

Aşırı gerilimler ana hatlarıyla üç tiptir:

Geçici güç frekansı,

Anahtarlama,

Yıldırım

a) Güç Frekansı Aşırı Gerilimi : 50/60 Hz' lik güç frekanslarında oluşurlar.Farklı durumları söz konusudur.

1. Yalıtım Hatası: Yalıtımlı nötr bir sistemde veya empedans topraklı nötr bir sistemde, faz ve toprak arasında bir yalıtım hatası oluşursa, toplu fazlardan toprak hattına verilen gerilim, fazdan faza verilen gerilime ulaşabilir.

2. Ferrerezonans: Bu, cihaz için genellikle tehlikeli ve kondansatör ve doyurulabilir bir endüktans içeren bir devrede üretilen, doğrusal olmayan, nadir görülen bir olaydır. Ferrerezonans, çoğu zaman cihazlardaki arıza ve bozulmaların açık nedenidir.

3. Nötr İletkenin Kesilmesi: Fazda en az güç verilen cihazlar, gerilimde bir artışa tanık olurlar. (Bazı durumlarda fazlar arası gerilime kadar ulaşabilir).

4. Alternatör regülatörlerdeki veya kademe değiştirici trafodaki hatalar

5. Reaktif Gücün Fazla Karşılanması: Şönt kondansatörler, kaynaktan buldukları yere doğru verilen gerilimde bir artışa sebep olurlar. Bu gerilim, özellikle düşük yük sürelerinde yüksektir.

b) Aşırı Gerilimin Anahtarlanması : Dağıtım sistemi üzerindeki anahtarlama, şebeke yapısında meydana gelen hızlı modifikasyonlar sonucu ortaya çıkar (koruyucu cihazın açılması...vs.). Aşağıdaki ayrımlar yapılmıştır:

1. Aşırı gerilimleri normal yükte anahtarlama,
2. Düşük indükleyici akımların açma kapama anahtarlama sonucunda üretilen aşırı gerilimler,
3. Toplayıcı devrelerin anahtarlama sonucunda üretilen aşırı gerilimler (yüksüz hatlar veya kablolar, kondansatör bankları). Örneğin, bir kondansatör bankının enerjilenmesi ilk tepe değerinin anma gerilimin rms değerinin $2\sqrt{2}$ katına ulaşabildiği geçici bir aşırı gerilime ve kondansatörün anma akımının 100 katı tepe değerinde bir aşırı gerilime sebep olur.

c) Yıldırım Aşırı Gerilimleri : Yıldırım, fırtınalar boyunca oluşan doğal bir olaydır. Doğrudan yıldırım çarpması (bir hat veya yapıya) ve yıldırım çarpmasının dolaylı etkileri arasında bir ayırım yapılmıştır (aşırı gerilime sebep olma ve toprak potansiyelinde artış gibi).

d) Diğer Faktörler

1. Bölgesel elektrik altyapısının kalitesine bağlı olarak aşırı gerilim üretilebilmektedir,
2. İşletmelerdeki sistemlerde, elektrik ekipmanları, çalışma durumlarının sonucu olarak aşırı gerilim oluşmasına sebep olabilirler. (Örnek, Değişken hız sürücüleri, vs..),
3. Yakın çevredeki çalışan araç ve gereçler tarafından oluşan aşırı gerilim,
4. Elektrostatik deşarj,
5. Radyo frekans parazitleri nedeniyle oluşan aşırı gerilim durumları da görülmektedir.

6.2. Aşırı Gerilimin Etkileri

Aşırı gerilimler, magnetik çekirdekli malzemelerin içindeki magnetik akıyı artırdığından (trafo ve şönt reaktörler gibi), trafo sargılarında ve çekirdeğindeki teçhizatın zarar görmesine sebep olur. Sonuçta, artık teçhizat ürünleri iş göremez olur. Örnek olarak, parafudrların patlamaları, kısa devre oluşması ve devre kesicilerinin arızalanmasına sebep olarak enerji iletimini ve dağıtımını engeller[7].

Sonuçlar, uygulama süresine, tekrarına, büyüklüğüne, moduna, (ortak veya diferansiyel), gradyen ve frekansına göre büyük ölçüde farklılık göstermektedir:

Cihaza (elektronik parçalara vb.) önemli ve kalıcı hasar veren dielektrik bozulma,

Cihazın, eskime nedeniyle değer kaybetmesi (zarar veren aşırı gerilimlerden çok tekrarlayan aşırı gerilimler),

Cihazın bozulması ile ortaya çıkan uzun kesintiler (dağıtım şirketi için satış kaybı, endüstriyel şirketler için üretim kaybı),

Kontrol sistemlerinde ve düşük akım haberleşme devrelerinde kesinti,

Yıldırım (genellikle); havai şebekeler, yıldırıma karşı çok duyarlıdır ancak eğer yıldırım buldukları yere yakın bir yerde gerçekleşmişse yüksek gerilimden dolayı yer altı şebekeleri tarafından beslenen tesisatlar da stresten etkilenebilir.

Anahtarlama aşırı gerilimleri: Birbiri ardına meydana gelmektedir ve meydana gelme olasılıkları yıldırıma göre daha yüksek ve daha uzun sürelidirler. Bunlar, en az yıldırım kadar ciddi bozulmalara neden olabilir.

6.3. Aşırı Gerilim İçin Alınması Gerekli Önlemler

Enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde arızaların önemli sebeplerinden biri de yalıtım malzemesinde meydana gelen atlama ve delinme gibi boşalma olaylarıdır. Söz

konusu boşalma olayları genellikle sistemde baş gösteren iç ve dış aşırı gerilimlerin sonucu olarak ortaya çıkarlar. Dolayısıyla kesintisiz ve güvenilir bir işletme için gerekli olan koşullardan birincisi enerji sisteminde oluşabilecek aşırı gerilimleri hesapladıktan sonra standartların yalıtım için öngördüğü dayanma gerilimleri ile aşırı gerilimlere karşı koruma aygıtlarının uygun biçimde seçilmesi kısaca iyi bir yalıtım koordinasyonudur.

Doğru izolasyon koordinasyonu, teknik ve ekonomik kaygılar arasındaki en iyi denge ile aşırı gerilimlere karşı personelin ve cihazların korunmasını gerektirmektedir. Bunu sağlamak için diğer sayfada belirtilen bilgilere ihtiyaç vardır[2]:

Tesisat üzerinde oluşabilecek aşırı gerilimin seviyesinin ve enerjisinin bilinmesi,

Güç sistemi bileşenlerinin aşırı gerilime dayanma seviyesinin seçimi,

Gerektiğinde koruyucu cihazların kullanılmasına karar vermek,

a) Güç Frekansı Aşırı Gerilimleri :

Düşük yük dönemlerinde kondansatörlerini tamamını veya bir kısmı kapatılabilir, ferrezonansı önlemek üzere resistör kayıpları belirlenebilir.

b) Anahtarlama Aşırı Gerilimleri :

Sabit bir reaktör ve ön ekleme rezistörleri monte ederek kondansatörlerin geçici enerjilendirilmesi sınırlandırılabilir.

Geçici aşırı gerilimlerin etkilerini sınırlamak için şok bobinlerini frekans değiştiricilerin şebeke tarafına bağlamak gerekir.

“si” tipi devre kesiciler ($I_n = 30 \text{ mA}$ ve 300 mA) ve AG için seçici tip ana kaçak akım devre kesicileri (“S” tipi) kullanılabilir. Bunların kullanılması, RCD’nin (kaçak

akım koruma cihazı) tesisat yük tarafı boyunca akan geçici kaçak akımlardan (yıldırım ve anahtarlama aşırı gerilimleri) toprağa yüksek elektrik depolama kapasitesi ile devrelerin enerjilendirilmesi (toprağa bağlı kapasitif filtreler, uzatılmış kablo tesisatları, vb.) kaynaklanan istem dışı açılmaları önlemektedir.

c) Yıldırım aşırı gerilimleri :

Paratoner sistemi ile veya Faraday kafesiyle oluşturulacak bir yıldırımdan korunma tesisatının topraklama sistemine bağlanması önemli ölçüde sorunu giderecektir.

İkincil koruma; cihazları, yıldırımdan sonraki aşırı gerilime karşı korumaktadır.

AG tesisatlarında farklı türde ana kaçak akım devre kesicilerin kullanılması, bazı cihazlarla (buzdolabı, kontrol cihazları, vb.) uyumsuzluk gösterecek tesisatın üst kısmındaki devre kesiciyi açan parafudr aracılığıyla topraklamaya akım akışını önlemektedir. Aşırı gerilimlerin cihaza ulaşabileceği diğer yolları da unutmamak gerekir. Örneğin; telefon hatları (telefon, faks), koaksiyel kablolar, bilgisayar bağlantıları, TV antenleri vb.

6.4. Geçici Aşırı Gerilimlerinin Şebeke Yönünden Analizi

Normal işletme şartlarında çalışan bir şebeke;

1.Arıza olmadan dış etkenler nedeniyle bir fazın açılması anında (kuş çarpması, bağlama ya da bağlantı donanımının bozulması, yangın, vb.)

2.Herhangi bir nedenle sigortanın bir veya iki fazının atması anında,

3.Fiderin kapatılması anında, kesicinin bir fazının kapanmaması veya geç kapanması anında, fiderin bağlı olduğu teçhizatta, zararlı olabilecek düzeyde, zararlı aşırı gerilimler oluşabilir. Bu geçici gerilimin değeri, şebekenin parametrelerine bağlıdır[7].

Şebekenin nominal gerilimi U_n (kV) olsun. Zararlı aşırı gerilimin değeri

$$U_a < 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}} \text{ (toprağa göre) aşmamalıdır.}$$

$$\text{Örneğin; } U_n = 34,5kV \text{ için } U_a \leq 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{34,5}{\sqrt{3}} \leq 70kV \text{ olmalıdır.}$$

BÖLÜM 7. TOPRAK DEĞMESİ

7.1. Giriş

Yıldız noktası işletme gereği topraklanmamış bir elektrik tesisatında faz iletkenlerinden her hangi birinin toprakla veya toprakla irtibatlı metalik bir parçayla temas etmesi haline toprak değmesi adı verilir. Bu durum yıldız noktası topraklı sistemde nötr iletkeninin her hangi bir nedenle toprakla irtibatının kaybolması veya yükün nötr iletkeninin dağıtım merkezindeki nötr iletkenine bağlantısının unutulması halinde de yük (tüketici) tarafında kontrolsüz de meydana gelebilir[1].

Bu arıza dolayısıyla meydana gelecek akımın değeri oldukça küçük olup, çoğu zaman yük akımından da azdır. Ancak iletken değmesiyle oluşan ark, arızalı iletkenin erimesine ve sonuçta kopmasına neden olabilir. Bu tür bir arıza arızasız faz iletkenlerinde gerilimin yükselmesine, dolayısıyla sisteme bağlı tesisat elemanlarının, cihazların daha yüksek bir gerilime maruz kalarak bozulmalarına neden olur.

Toprak değmesi ark şeklinde aralıklı olarak meydana gelirse bu dik alınlı gezici dalgalar meydana getirerek yansıma noktalarında (motor ve transformatör gibi tesisat elemanlarında) atlama ve delinmeler meydana getirir.

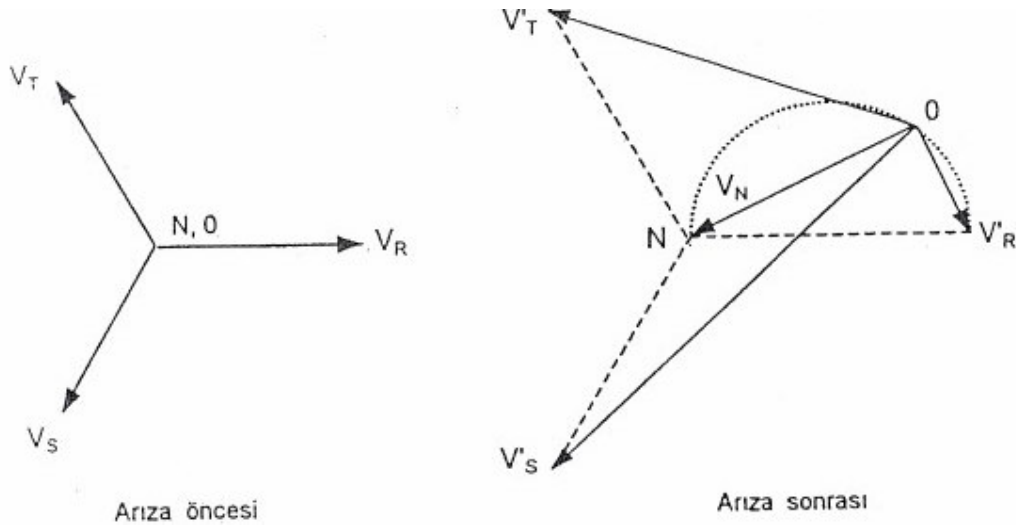
Toprak değmesi dolayısıyla meydana gelecek arızanın çok kısa bir sürede röle tarafından tespit edilerek, arızalı fiderin sağlam tesisat parçalarından ayrılması gerekir.

Toprak değmesinin etkilerini gidermenin pratikte bir yöntemi de yıldız noktasına tesis edilen söndürme (peterson bobinleri, bauch söndürme transformatörleri vb) düzenleridir.

7.2. Toprak Değmesinde Gerilimler

Elektrik sistemin yıldız noktası arızasız halde toprak potansiyelinde olup, faz - faz ve fazlar arası gerilimler kendi aralarında mutlak değer olarak birbirine eşittir. İletkenlerden birinin toprağa değmesiyle sistemin yıldız noktasıyla toprak arasında bir potansiyel farkı meydana gelerek diğer fazların toprağa nazaran gerilimlerinin yükselmesine neden olur. Tam toprak değmesi halinde, yani iletken ile toprak arasında geçiş direncinin sıfır olması halinde, diğer fazların toprağa nazaran gerilimleri fazlar arası gerilim değerine yükselir. Arızasız iletkenler arasındaki fazlar arası gerilim ise değişmeksizin aynen kalır.

Toprak değmesinde geçiş direnci (yayımla direnci) sıfırdan farklı veya oluşan arkın boyu uzun ise, toprak potansiyelindeki 0 noktası, arıza noktasında değeri şekil 7.1'de gösterilen N-0 çaplı yarım daire üzerinde dolaşan gerilim düşümüne neden olur.



Şekil 7.1 Toprak değmesinin bir geçiş direnci üzerinden meydana gelmesi halinde gerilimlerin değişimi

Gerilim düşümünün değeri, arıza şayet R fazında oluşmuşsa

$$V'_R = I_{td} R_{td} \quad (7.1)$$

olup, I_{td} toprak değmesindeki arıza akımı, R_{td} ise geçiş direncidir.

Transformaörün yıldız noktasının arıza esnasında toprağa karşı olan gerilimi (V_N) ise tesisatın karakteristiklerine bağlı olarak

$$V_N = \frac{1}{j3\omega(C_{10})_{Top}} (I_{id})$$

$$= \frac{1}{1 + j3\omega(C_{10})_{Top} R_{id}} V \quad (7.2)$$

olarak bulunur.

Sonsuz büyük geçiş direnci halinde yıldız noktasının toprağa göre gerilimi (V_N) sıfıra eşittir, yani sistemin yıldız noktası N toprak potansiyelindedir. Arıza yerindeki geçiş direnci büyüdükçe V'_R değeri büyürken, V_N değeri de küçülür. Buna bağlı olarak sağlam fazların toprağa nazaran gerilimleri de küçülür.

Generatör veya transformatör sargılarındaki toprak değmelerinde arıza noktası sistemin yıldız noktasına ne kadar yakın olursa, yıldız noktasının toprağa nazaran gerilimi ve bunun sonucu olarak sağlam fazların toprağa nazaran gerilimleri de o kadar az olur. Toprak değmesi geçiş dirençsiz olarak doğrudan doğruya yıldız noktasında meydana gelirse, yıldız noktası gene toprak potansiyelinde kalır ve toprağa nazaran bir gerilim kazanmaz.

7.3. Toprak Değmesinde Akımlar

Toprak değmesi bir önceki paragrafta ifade edildiği gibi geçiş direncinin büyüklüğüne bağlı olarak faz iletkenlerinin toprağa göre gerilimlerinde artışa neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak faz iletkenlerinden geçen akımlarda değişmektedir. Arızasız halde faz iletkenlerinin işletme kapasitelerinden ($C_B = L c_b$) dolayı yük akımlarına ilaveten değeri hat başında

$$I_C = I_{CF} + I_{C0} = V\omega Lc_b \quad (7.3)$$

olan kapasitif akımlar akar.

İfadenin ilk kısmı (I_{CF}) iletkenler, ikinci kısmı (I_{CO}) ise iletkenlerin herhangi biri ile toprak arasındaki kapasitelerden geçen kapasitif akımları göstermektedir.

Hattın işletme kapasitesi (c_b) faz iletkenlerinin kesitine, tertip şekline, iletken - iletken, iletken - toprak arasındaki mesafelere, ekranlamanın şekline ve izolasyon malzemesine bağlı olarak değişir.

Bu değer üç fazlı hava hatları ile ortak metal kılıflı (ekranlı) kablolarda

$$c_b = 3c_{12} + c_{10} \quad (7.4)$$

olup, her bir damarı ayrı ayrı ekranlı üç fazlı kablolar ile tek damarlı kablolarda ise

$$c_b = c_{10} \quad (7.5)$$

eşittir.

Yukarıda (7.4) ve (7.5) no 'lu ifadelerde;

c_{12} : Faz iletkenleri arasındaki kapasiteyi

c_{10} : Faz iletkenleri ile toprak arasındaki kapasiteyi

göstermekte olup, hesap yoluyla veya ilgili firmaların kataloglarından elde edilebilir.

İletkenler ile toprak arasındaki kapasitelerden dolayı bu kapasiteler üzerinden toprağa geçen kapasitif akımlar (I_{CO}) kendi aralarında dengelidir. Her faz iletkeninden geçen kapasitif akım, o faz iletkeninin uzunluğu boyunca homojen olarak dağılmış olup, besleme noktasına doğru şekil 7.2 'de gösterildiği gibi lineer olarak artmaktadır.

Arızasız halde bir faz iletkeninden toprağa doğru geçen kapasitif akımın besleme noktasında değeri

$$I_{C0} = \frac{V}{X_C} = \frac{V}{\frac{1}{j\omega Lc_{10}}}$$

$$= jV\omega Lc_{10} \quad (7.6)$$

olup,

V = Hattın faz-nötr gerilimi

X_C = Hattın kapasitif reaktansı

c_{10} = Hattın birim uzunluk ve faz başına işletme kapasitesi

C_{10} = Hattın faz başına toplam kapasitesi, $L \cdot c_{10}$

L = Hattın uzunluğu

olarak alınır.

Bu durumda her bir faz iletkeninden toprağa geçen kapasitif akımlar fazörel olarak

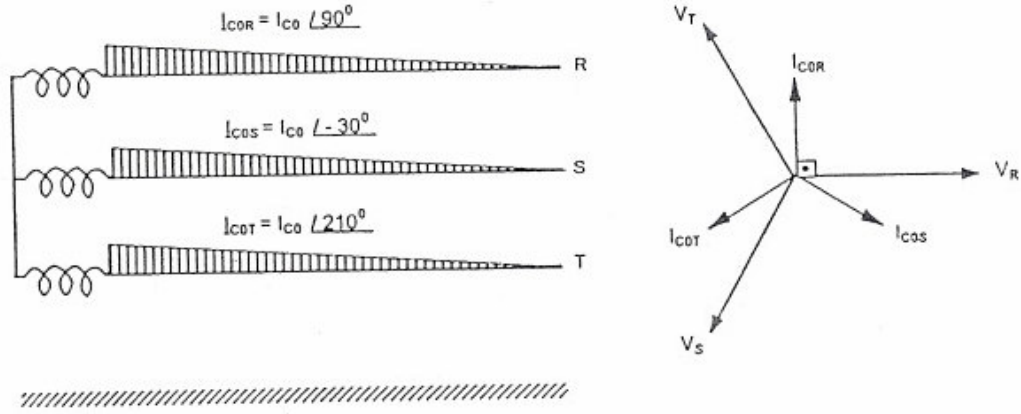
$$I_{C0R} = jI_{C0}$$

$$I_{C0S} = ja^2I_{C0}$$

$$I_{C0T} = jaI_{C0} \quad (7.7)$$

yazılır ve şekil 7.2 'deki gibi gösterilir.

Arızasız halde faz iletkenlerinden toprağa akan kapasitif akımların fazörel toplamı sıfır olup, topraktan bir akım akmaz.



Şekil 7.2 Toprak değmesinin bir geçiş direnci üzerinden meydana gelmesi halinde gerilimlerin değişimi

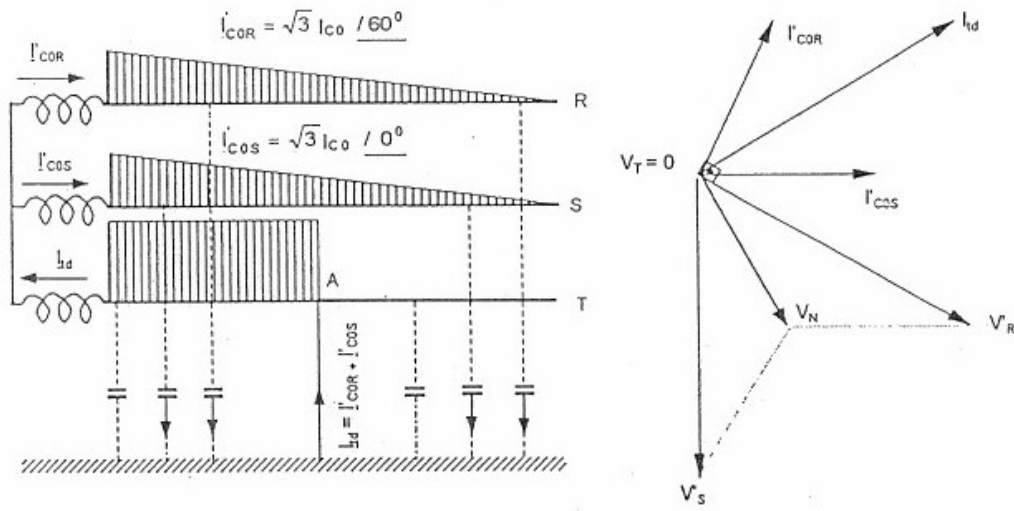
Şekil 7.2 'de gösterilen sistemin T fazının "A" gibi bir noktasında dirençsiz, tam bir toprak değmesi meydana geldiğinde sağlam fazlar R ve S 'in toprağa nazaran gerilimleri daha önce ifade edildiği gibi fazlar arası gerilim değerine kadar yükselir, yani $\sqrt{3}$ artar. Bu gerilimlerin R ve S fazlarının toprağa göre olan kapasitelerinden geçirecekleri ve kendilerine nazaran 90° ileri fazdaki kapasitif akımları (I'_{C0}) da $\sqrt{3}$ kadar artar. T fazının toprağa nazaran kapasitesi kısa devre edilmiş olduğundan ve aynı zamanda bu fazın toprağa nazaran gerilimi de sıfır olduğundan bu faza ait kapasitelerden bir akım geçmez[1].

Şekil 7.3 'de T fazının "A" gibi bir noktasında meydana gelecek tam toprak değmesi arızası dolayısıyla faz iletkenlerinden geçecek kapasitif akımlar, büyüklükleri ve bu akımların yönleri gösterilmektedir. T fazındaki toprak değmesi nedeniyle sağlam R ve S fazlarının tüm kapasitelerinden toprağa geçen akımlar arıza noktasında fazörel olarak

$$I_{id} = I'_{C0R} + I'_{C0S} \quad (7.8)$$

şeklinde toplanarak, arızalı iletken üzerinden besleme noktasına, oradan da tekrar aynı yolları izleyerek sağlam fazların kapasiteleri üzerinden toprağa geçerler.

Sağlam fazlardan gelen kapasitif akımlar arıza noktasının her iki tarafındaki kısmi kapasitif akımların toplamı olup, bunlarda uzunluklar ile orantılıdır. Sağlam fazlardan gelen kapasitif akımların değerleri, hattın her iki ucundan arıza noktasına doğru lineer olarak artar ve arıza noktasında en büyük değerine ulaşır.



Şekil 7.3 Yıldız noktası tam izole bir tesisatta T fazında meydana gelecek bir toprak değmesi arızasında kapasitif akımların büyüklüğü ile yönleri

Şekil 7.3 'de görüldüğü gibi sağlam fazlardaki kapasitif akımlar, büyüklük bakımından arızasız haldeki akımlardan $\sqrt{3}$ kadar daha büyüktür. Çünkü arızasız hatlara uygulanan gerilim, arıza dolayısıyla $\sqrt{3}$ kadar artmıştır. Sağlam fazlardaki kapasitif akımlar arasındaki faz farkı ise 60° 'dir.

(7.8) no 'lu ifadeden de görüldüğü gibi arıza noktasından arızalı iletken üzerinden besleme noktasına doğru akan toprak değmesi akımı, arızasız iletkenlere ait kapasitif akımların fazörel toplamına eşit olup değeri Şekil 7.3 'den yararlanarak

$$I_{id} = \sqrt{3}I_{C0} \angle 60^\circ + \sqrt{3}I_{C0} \angle 30^\circ \quad (7.9)$$

yazılır ve mutlak değer olarak $I_{C0R} = I_{C0S} = I_{C0}$ alınırsa

$$I_{id} = \sqrt{3}I_{C0}(1.5 + j0.866)$$

$$I_{id} = 3I_{C0} \angle 30^\circ \quad (7.10)$$

bulunur.

Bu son ifadeden de görüldüğü gibi geçiş dirençsiz toprak değmesi akımı, besleme noktasından arıza öncesi çıkan bir faz iletkenine ait kapasitif akım büyüklüğünün (I_{C0}) üç katına eşittir.

Toprak değmesi bir geçiş direnci üzerinden meydana gelirse arıza akımının tesisatın toprağa göre toplam kapasitesine ($(C_{10})_{Top}$) ve arıza geçiş direncine (R_{id}) bağlı olan değeri Thevenin teoreminin uygulanmasıyla

$$I_{id} = \frac{V}{R_{id} + \frac{1}{j3\omega(C_{10})_{Top}}}$$

$$= \frac{j3\omega(C_{10})_{Top}}{1 + j3\omega(C_{10})_{Top} R_{id}} V \quad (7.11)$$

olarak bulunur.

İfadede;

V = Transformatörün arızadan önceki sekonder sargı tarafındaki faz - nötr gerilimini

R_{id} = Toprak değmesinde arıza direncini

$(C_{10})_{Top}$ = Birbirine galvanik olarak bağlı bütün hatların toprağa göre eşdeğer kapasitesini göstermektedir.

Şayet arıza direnci ihmal edilecek kadar küçük ise yukarıdaki (7.11) no 'lu ifade

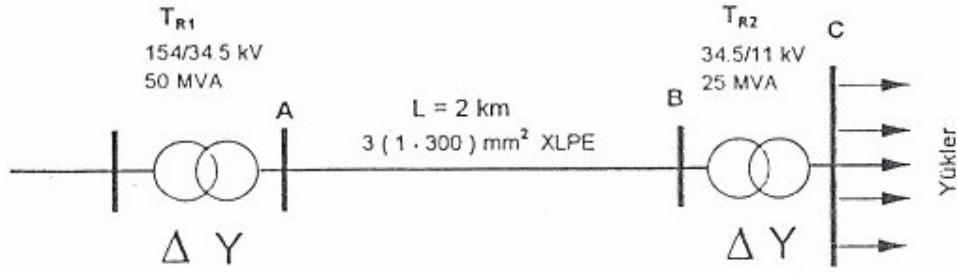
Gerek havai hat iletkenlerinin, gerekse kabloların toprağa göre kapasiteleri hesap yoluyla bulunabildiği gibi, kataloglardan, literatürden ya da tesisi işleten kurumdan elde edilebilir. Toprağa göre kapasite iletken malzemenin cinsine, izolasyon malzemesine, gerilime, iletken kesatine ve hattın tesis şekline göre değişir.

Toprak değmesi akımının büyüklüğü, yıldız noktasının toprağa nazaran kazandığı V_N geriliminin büyüklüğüne bağlıdır. Dirençsiz, doğrudan, toprak değmelerinde daha önce ifade edildiği gibi yıldız noktasının toprağa nazaran gerilimi fazlar arası gerilimine eşittir ve bu durumda arıza noktasından söz konusu şebekenin en büyük toprak değmesi akımı geçer. Arıza noktasındaki geçiş direncinin toprak değmesi akımının büyüklüğü üzerinde etkisi önemsizdir. Çünkü birçok halde geçiş direnci, sağlam fazların toprağa göre olan kapasitif reaktanslarına göre önemsizdir. Toprak değmesi akımı, arızanın meydana gelmesiyle tam büyüklükte ortaya çıkar. Arıza akımı kapasitelerde depolanan elektriksel yüklerin serbest kalması dolayısıyla ilk anda bir tepe değeri (doğru akım bileşeni) de gösterir.

Toprak değmesi akımının büyüklüğü, galvanik olarak bağlı bütün hatların uzunlukları, yani toprağa nazaran kapasiteleri ile orantılıdır. Yine toprak değmesi arızasında şebekenin her hangi bir noktası ile toprak arasındaki sıfır bileşen empedans değeri sonsuz büyüklükte olup, sistemi meydana getiren hatlar ile diğer tesisat elemanlarının sıfır bileşen seri empedansları, hatların şönt empedanslarından (hatların toprağa karşı olan kapasiteleri) daha küçük olduğundan hesaplarda ihmal edilirler.

Örnek 7.1

Tek hat diyagramı ile elemanlarının karakteristikleri aşağıdaki şekilde verilen bir tesisatın "A" barasından itibaren 500. metrede faz iletkenlerinden biri toprağa değmektedir. Meydana gelecek arıza akımının en büyük değeri ne olur[1]?



Şekil 7.5

Çözüm: Besleme kaynağı tarafındaki indirici transformatörün yıldız noktası topraktan izole olduğundan bu bir faz - toprak kısa devresi değildir. Bu bir toprak değmesidir. Dolayısıyla arıza akımının büyüklüğü daha önce ifade edildiği gibi hatların sıfır bileşen empedanslarının ihmal edilmesiyle tesisatın (burada hesaplanabildiğinden sadece kablolar dikkate alınacaktır) toprağa göre kapasitesi tarafından belirlenecektir.

Tesisatta en büyük toprak değmesi akımı, geçiş dirençsiz bir arızada meydana gelir ve bu da tesisatta galvanik olarak bağlı bütün tesisat elemanlarının toprağa göre kapasitesi tarafından belirlenir. Arıza noktasının yeri, arıza akımının büyüklüğü üzerinde bir etkiye sahip değildir.

Bu örnekte en önemli tesisat elemanı her faz iletkeni için kullanılan 300 mm^2 kesitli kablo olup, toprağa göre kapasitesi (C_{10}) kablo kataloglardan $0.244 \text{ } \mu\text{F/km.faz}$ bulunur.

Arıza noktasında gerilim 34.5 kV olduğuna göre toprak değmesi akımı

$$I_{id} = 3I_{C0} = 3V \omega L C_{10}$$

eşitliğinde bilinenlerin yerine konmasıyla

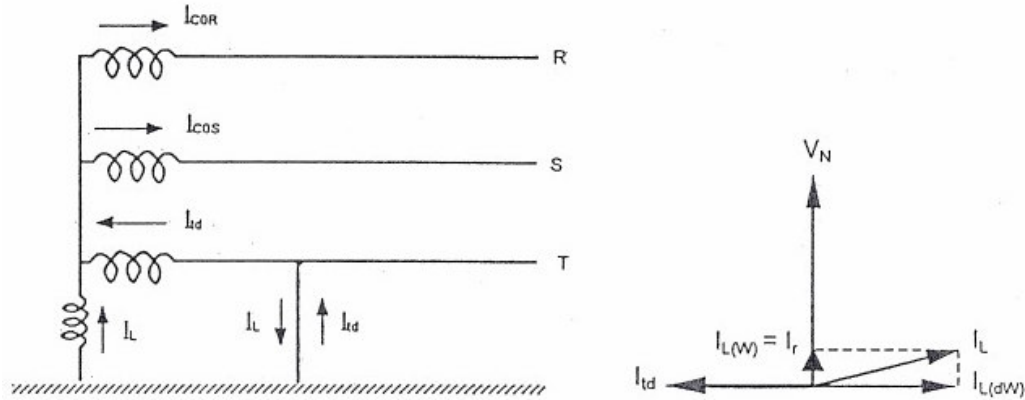
$$I_{id} = 3 \left(34,5 / \sqrt{3} \right) 10^3 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 0,244 \cdot 10^{-6}$$

=9,16A

bulunur.

7.4. Toprak Değmesi Akımının Giderilmesi

Toprak değmesi dolayısıyla meydana gelecek tehlikeli gerilimleri gidermenin pratikte en çok kullanılan yöntemi Peterson tarafından geliştirilen ve kendi adıyla bilinen uygun boyutlandırılmış bir bobinin transformatörlerin ya da generatörlerin yıldız noktalarıyla toprak arasına monte edilmesidir (Şekil 7.6)



Şekil 7.6 Toprak değmesi akımının Peterson bobini ile giderilmesi

Söndürme bobini olarak da adlandırılan bu bobinin üzerinden normal işletme halinde bir akım geçmez. Ancak faz iletkenlerinden her hangi birinin toprağa değmesi halinde, yıldız noktası toprağa göre bir V_N gerilimi kazanacağından arıza yerinden I_L gibi bir endüktif akımı geçir.

Söndürme bobininin uygun boyutlandırılması halinde, arıza noktasında, sağlam fazların toprağa göre kapasiteleri dolayısıyla geçen I_{id} kapasitif akımı ile söndürme bobininin endüktif akımı I_L birbirini giderirler. Bu durumda arıza yerinden, her iki akımın aktif bileşenlerinden oluşan ve kalıntı (artık) akımı (I_r) adı verilen bir akım geçer. Şayet giderme tam sağlanamamışsa, bu takdirde kalıntı akımı duruma göre endüktif ya da kapasitif karakterlidir.

Toprak değmesi akımını tam gidermenin şartı;

$$\omega L_{\omega} = 1/3\omega C_{10} \quad (7.13)$$

olup, ifadenin düzenlenmesiyle

$$I_L = 3I_{C0} \quad (7.14)$$

bulunur.

Arıza yerinden geçen kapasitif akımın giderilmesiyle ark söner ve normal işletme durumuna yavaşça dönülür.

Kalıntı akımı (I_r) belirli bir büyüklükten sonra arkın kendi kendisine sönmeye engel olur. Kalıntı akımının büyüklüğü hat uzunluğu ile artar. Kalıntı akımının müsaade edilen üst sınırı hava hatları için nispeten yüksek olup, 110 kV 'da 100 A, 220 kV 'da 150 A kadardır. Çünkü arızalı fazın toprağa nazaran gerilimi yavaş olarak yükselir ve böylece havanın izolasyonunun kaybolması için yeterli zaman kalır, ark yeniden tutuşmaz. Böylece tehlikeli olan kesintili toprak değmeleri ve arkın sağlam faz iletkenlerine sıçraması önlenir.

Kalıntı akımı yüksek gerilim şebekelerinde (110 / 380 kV) kapasitif toprak değmesi akımının yaklaşık %2 ila %4 'üne, orta gerilim şebekelerinde ise (6 ila 60 kV) %6 ila %12 'sine ulaşır.

Kablo şebekeleri için müsaade edilen kalıntı akımının değeri nispeten küçük olup, en çok 10 A 'dir.

Peterson bobinleri sadece yıldız noktası yüklenebilen transformatörlere bağlanabilir. Yıldız noktası yüklenebilen transformatörlerde

$$X_{(0)} / X_{(1)} \leq 1 \quad (7.15)$$

olup, Δ/Y , Y/Z , $Y/\Delta/Y$ bağlantı grubundaki transformatörler bu gruba birer örnektir. Peterson bobinleri bazen Y/Y bağlantı grubundaki transformatörlere de bağlanır. Bu durumda topraklama bobinin gücü, transformatörün nominal gücünün yaklaşık %10 'una erişebilir. Çünkü Y/Y bağlı transformatörlerin yıldız gerilimi sinüs şeklinde değildir ve bir fazlı yüklenme halinde oldukça bozulur. Peterson bobinin ayarı sadece şebeke frekansının nominal değeri için geçerli olduğundan, üst harmonikler için etkisi mevcut değildir.

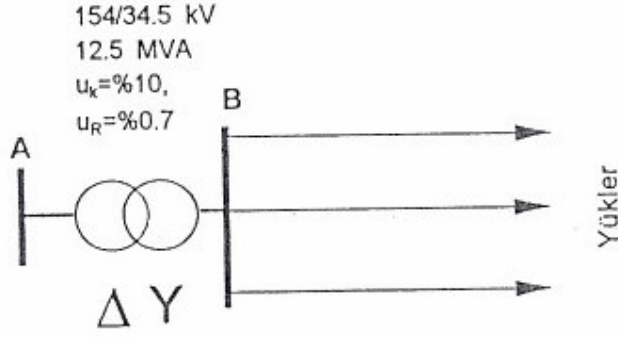
Söndürme bobinin endüktansı, sargıdan çıkarılan uçlar ile veya sürekli olarak değiştirilebilen hava aralığı (daldırılan çekirdek) ile değiştirilebilir. Daldırılan çekirdekli bobinler 1 : 10 oranında bir endüktans değişimine imkan verir. Bu şekilde söndürme bobinleri sistemin çeşitli işletme şekillerine uydurulabilir. Bundan başka diğer değişikliklerin etkilerini gidermek için de ayar yapılabilir, örneğin havai hatlarında sargı ile değişen faz - toprak kapasiteleri basit bir şekilde söndürme bobinin dışarı çıkarılan uçları ile dengelenebilir.

Örnek 7.2

Yıldız noktası topraktan tam izole Δ/Y bağlı 154/34.5 kV 'luk ve 12.5 MVA 'lık bir transformatör Şekil 7.7 'den de görüldüğü gibi 34.5 kV 'luk bir bara üzerinden her birinin uzunluğu ortalama 40 km olan üç adet fideri beslemektedir. Fiderler tamamen aynı kesitte olup, faz iletkenlerinin toprağa göre kapasitesi 6 nF/km 'dir.

a - "A" fideri üzerinde faz iletkenlerinden birinde meydana gelecek toprak değmesi akımının değerinin bulunuz,

b - Toprak değmesi akımını %100 kompanze etmek, için yıldız noktasıyla toprak arasına bağlanacak bobinin gücünü tayin ediniz. Bobinin direnci ile reaktansı arasındaki oran $R_B/X_B = 0.01$ ise, toprak değmesinin olduğu yerdeki kalıntı (artık) akımını tayin ediniz.[1]



Şekil 7.7

Çözüm:

a - Toprak değmesi dolayısıyla meydana gelecek arıza akımı daha önce söylendiği gibi galvanik olarak bağlı bütün hatların toprağa göre olan kapasiteleri dolayısıyla oluşan kapasitif akımları taşır ve bu da

$$I_{id} = 3I_{C0} = 3V\omega(C_{10})_{Top}$$

eşitliğinde bilinenlerin yerine konmasıyla

$$I_{id} = 3 \cdot (34,5 / \sqrt{3}) 10^3 \cdot 2,3,14 \cdot 50 \cdot (3,40) \cdot 6 \cdot 10^{-9}$$

$$= 13,51A$$

bulunur.

b - Toprak değmesi dolayısıyla meydana gelecek arıza akımını tamamen kompanze edecek bobinin endüktif akımı (7.11) no 'lu eşitlikten yararlanarak

$$I_L = 3I_{C0}$$

$$=13,51A$$

bulunur.

Yıldız noktasıyla toprak arasına bağlanacak bobinin reaktif gücü ise

$$Q_B = VI_L = (34,5/\sqrt{3}).13,51$$

$$= 269kVA$$

olur.

Arıza yerinden geçecek toplam akım, bobin akımı ile kapasitif akımın fazörel toplamına eşittir.

$$I_r = I_L + I_{td}$$

Bobin akımı saf bir bobin olmadığından direncinden dolayı bir miktar wattlı akım da çeker. Bu durumda bobinin akımı

$$I_L = I_{L(w)} + jI_{L(dw)}$$

olup, yukarıdaki eşitlik, I_{td} akımının da saf kapasitif akım olduğu dikkate alınarak

$$I_r = I_{L(w)} + jI_{L(dw)} - jI_{td}$$

yazılır.

Tamamen kapasitif olan toprak değmesi akımını kompanze olması halinde $I_{L(dw)}$ ile I_{td} birbirini yok edecek ve toplam akım olarak

$$I_r = I_{L(w)}$$

kalacak olup, buna daha önce bahsedildiği gibi kalıntı (artık) akımı adı verilir.

Topraklama bobinin empedansı

$$Z_B = R_B + jX_B$$

olduğuna göre, bobinin akımı

$$I_L = V / R_B + jX_B = I_{L(\omega)} + jI_{L(dW)}$$

ve kapasitif akım

$$I_{id} = j3V\omega(C_{10})_{Top}$$

yazılır.

Bu eşitlikler yukarıda arıza noktasındaki toplam akım ifadesinde yerlerine konursa

$$\begin{aligned} I_r &= V \left(\frac{1}{R_B + jX_B} + j3\omega(C_{10})_{Top} \right) = 3V\omega(C_{10})_{Top} \left(\frac{1}{3\omega(C_{10})_{Top}(R_B + jX_B)} + j \right) \\ &= I_{id} \left(\frac{1}{3\omega(C_{10})_{Top}(R_B + jX_B)} + j \right) \end{aligned}$$

olur.

Tam kompanzasyon halinde

$$3\omega(C_{10})_{Top} = \frac{1}{X_B}$$

olacağından yukarıdaki eşitlik

$$I_r = I_{id} \left(\frac{1}{\frac{R_B}{X_B}} + j \right) = I_{id} \left(\frac{\frac{R_B}{X_B} - j}{\left(\frac{R_B}{X_B} \right)^2 + 1} \right)$$

$$= I_{id} \frac{\frac{R_B}{X_B} + j \left(\frac{R_B}{X_B} \right)^2}{\frac{R_B}{X_B} + 1}$$

şeklinde yazılır, ifade yeniden düzenlenir ve daha sonra $R_B \ll X_B$ olduğu dikkate alınarak $(R_B/X_B)^2$ ihmal edilir. Bu durumda artık akım

$$I_r \cong I_{id} \frac{R_B}{X_B} = 13,51.0,01$$

$$\cong 0,1351A$$

olarak bulunur.

BÖLÜM 8. KORUMA SİSTEMLERİ

8.1. Giriş

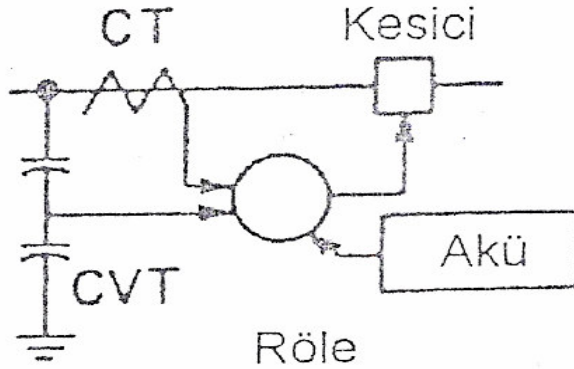
Bu bölümde röle terminolojisi ve standart kavramlar araştırıldı ve birim korumanın temel ilkelerinin anlaşılabilmesi için kısaca koruma sistemlerine değinildi. İlk röleler indüksiyon disklerinden ve bir takım denge halindeki mekanik parçalardan meydana gelen elektromekanik aletlerdir. Tüm elektromekanik röleler zamana bağlı olarak çalışmaktadır. Elektromekanik röleler hem mekanik yönden hem de elektromanyetik parazitler yönünden (EMI) oldukça sağlamdır. Genellikle yavaşlırlar ve çalışma hızları periyotlar veya saniyeler cinsindedir. Ayrıca çalışmaları için fazla enerjiye ihtiyaç göstermektedirler, bu amaçla gerilim ve akım transformatörlerine ihtiyaç duymaktadırlar.

1950'li yılların sonlarına doğru katı hal röleleri ortaya çıktı. Bu röleler diyotlar, transistörler ve işlemsel kuvvetlendiriciler gibi ayrı elektronik bileşenlerden imal edilmişlerdir. İlk katı hal röleleri elektromanyetik parazitlerden ötürü ortaya çıkan arızaları nedeniyle çok büyük sıkıntı yaratmaktaydı ve bu arızalar güç sistemlerinde ciddi sorunlara yol açmaktaydı. Bazı röle mühendisleri o yıllarda bu sorunları daha da irdeleyerek katı hal rölelerinin elektromekanik rölelerden daha az güvenli olduğunu vurgulamışlardır. Halbuki katı hal röleleri günümüzde modern güç sistemlerinin vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Günümüzün katı hal röleleri nispeten hiç bakımsız ve koruma işlevi söz konusu olduğunda çok büyük bir esneklik sunmaktadırlar. Çalışma hızları bir periyot ya da daha azdır. Çoğu güç sistemlerinde koruma sistemi katı hal rölelerinin ve elektromekanik rölelerinin bileşiminden meydana gelmektedir. Elektromekanik röleler aşırı akım koruma gibi daha basit uygulamalarda oldukça yaygın kullanılmaktadırlar, katı hal röleleri pilot koruma ve mesafe koruma gibi daha karmaşık koruma işlevlerinde kullanılmaktadırlar.

8.2. Koruma Sisteminin İşlevleri

Koruma sistemi, güç sistemini uzun süren bozuklukların etkisinden korumak amacıyla tasarılır. Bozukluk (çoğu durumlarda kısa devre anlamına gelen, fakat genelde anormal sistem durumunu simgeleyen) rastlantısal olayların sonucunda meydana ortaya çıkar. Şayet arızalı güç sistem elemanı (hat, bara, transformatör, vb) hemen sistemden ayrılmaz ise, güç sisteminde kararsızlık durumlarının ve ciddi sorunların ortaya çıkmasına neden olur. Koruma sistemi bu yüzden arızalı elemanı, güç sisteminden mümkün olduğu kadar çabuk ayırmalıdır.

Koruma sistemi genellikle rölelerle anlam bulur ve arızanın yok edilmesi için bir çok alt sistemlerden meydana gelir. Bu alt sistemler şekil 8.1 de gösterilmiştir.



Şekil 8.1 Bir koruma sisteminin alt sistemleri

Rölelerin yanında, koruma sistemi akım - gerilim transformatörlerinden, kesicilerden ve sabit akü guruplarından meydana gelir.

Devre kesicisi arızalı güç sistemi elemanını akım kesme yoluyla sistemden ayırmaktadır. Günümüzde çok yüksek gerilimli (EHV) devre kesicisi 800kV'luk bir gerilim altında 100000 A'e kadar açına kapama yapabilmektedir. Arızanın

başlangıcından hemen sonra kesici akımın sıfırdan geçişi esnasında arızalı parça ayırmaktadır ve yine de bu işlem birkaç periyot sürmektedir. Kesicinin açma bobini şalt sahalarındaki sabit akü guruplarından enerjisini sağlamakta ve akü gurupları ile açma bobini arasında da röle(ler) ilgili kontaklarını kapatarak bu işi gerçekleştirmektedirler. Belirli bir zaman içerisinde diğer röleler ise açma işlemi yapan kesiciyi yeniden eski haline getirmektedirler.

Son olarak güç sisteminin en önemli elemanlarından biri de rölelerdir. Röle, girişlerindeki (gerilimler, akımlar ve kontak konumları) koşullara göre uygun çıkış durumları üretebilen ve kesicilere açma sinyali gönderebilen bir cihazdır.

Elektrik güç sistemi elektrik enerjisini tüketicilere kesintisiz, sınırlama olmaksızın ve makul bir fiyatta sağlamak amacıyla tasarımı gerçekleştirilir. Tüm hesaplar normal çalışma koşullarında yapılır. Bozukluklar ve diğer istenmeyen durumlar karşısında güç sistemi güvenli bir enerji sağlamalıdır.

Güvenli besleme, arızalara karşı sistem güvenliğinin artırılmasıyla ve alternatif besleme kaynaklarının varlığıyla güçlendirilir. Enerji sistemi bir veya birkaç eleman içeren bölgelere bölünürse ve her bir bölgeye de kesici ile koruma yapılırsa, normal şartlar altında esneklik sağlanmış olur.

Türk Standartları Enstitüsü röleyi şöyle tanımlamaktadır: Bir elektrik devresindeki belli bir değişikliğe tepki göstererek aynı veya bir başka elektrik devresinde belli değişiklikler oluşturan bir aygıttır. Rölenin, değişiklik oluşturduğu devre bir kumanda veya sinyal devresidir[5].

8.2.1. Röle grubu

Elektriksel veya mekanik işbirliği yapan ayrı röleler topluluğudur. Bir arıza durumunda veya anormal çalışma koşulunda makine, transformatör, fider ve benzeri tesis elemanlarını ya da bölümlerini devre dışı bırakmayı veya bir sinyal düzenini çalıştırmayı amaçlayan röle ya da röle grubuna koruma rölesi denir.

Koruma röleleri güç sisteminin "zeki" elemanlarıdır. Bunlar güç çeviriciler yardımıyla güç sistemini devamlı olarak gözlemleyerek koruma işlevini yerine getirirler. Aşağıdaki işlevlere sahiptirler:

- a) Varolan arızayı bulur veya anormal bir koşulu ortaya çıkarır.
- b) Arızanın yerini bulur.
- c) Arızanın giderilmesi için, arızalı elemanı güç sisteminden ayırmak için kesiciye gerekli sinyali gönderir.

Yukarıda bahsedilen işlemlerin en kısa zamanda gerçekleştirilmesi, arızalı elemana zarar vermemesi, yangına neden olmaması ve teknik personeli koruması da rölenin işlevlerine dahil edilebilir.

8.2.2. Rölelerin sınıflandırılması

Uluslararası Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Kurumu (IEEE) röleyi şöyle tanımlamaktadır: Giriş koşullarını belirli bir değer ile karşılaştırıp yorumlayan ve gerekli koşullar sağlandığında da kesiciye açma sinyali gönderen elektrik aygıtıdır. Girişler genellikle elektrikseldir fakat mekanik, termik veya diğer büyüklükler de olabilir. Sınır anahtarları ve benzer basit devreler röle değildir.

Röleler altı işlevsel grupta toplanabilir:

- a) Koruyucu röleler
- b) Gözlem röleleri
- c) Yeniden kapama röleleri
- d) Düzenleyici röleler
- e) Yardımcı röleler
- f) Senkronlayıcı röleler

Koruyucu röleler girişlerine, çalışma ilkelerine veya yapılarına ve performans karakteristiklerine göre sınıflandırılabilirler. Rölelerin sınıflandırılması ve genel röle tipleri tablo 8.1 de gösterilmiştir[5].

8.2.3. Koruyucu röle sistemleri ve tasarımları

Teknik olarak çoğu röleler kendi başlarına küçük bir sistemdirler. Koruyucu röleler herhangi bir elektrik güç sisteminin hayati bir parçasıdır. Normal işleme şartlarında oldukça gereksiz fakat arızalar ve anormal koşullar altında çok önemli görevleri vardır. Her zaman bu gibi anormal olaylar karşısında hazır olmaları ve ciddi hasarlara neden olmamaları gerekmektedir. Bu yüzden bu gibi rölelerin doğru çalışma zamanları sadece bir kaç saniye ile sınırlıdır. Dahası röleler test ve bakım esnasında da çalıştırılmaktadırlar.

Tablo 8.1 Rölelerin Sınıflandırılması

GİRİŞ	İŞLETME İLKESİ VEYA YAPISI	PERFORMANS KARAKTERİSTİĞİ
Akım	Yüzde	Mesafe
Gerilim	Çoklu-sınırlama	Yönlü aşın akım
Güç	Elektromekanik	Ters zaman
Frekans	Elektronik elemanlı	Sonlu zaman
Basınç	Statik	Aşın gerilim
Isı	Mikroişlemcili	Aşın akım
Akış (sıvı)	Termal	Toprak veya faz
Titreşim	Akım balansı	Yüksek ve ya yavaş hızlı
		Faz karşılaştırma
		Yön karşılaştırmalı

Röle güç sisteminde meydana gelebilecek sonsuz sayıda anormal olaya cevap vermelidir. Herhangi bir röle uygulamasını etkileyen dört önemli faktör vardır.

Bunlar:

- Ekonomiklik: Başlangıç, işletme ve bakım,
- Meydana gelen arızaların ve tehlikeli durumların ölçümleri: Arızaların genlikleri ve akım ve gerilim transformatörlerinin konumlandırılması,

- c) İşletme uygulamaları: Kabul edilen standartlara uygunluğu, tüm sistem güvenliğini sağlaması,
- d) Önceki deneyim: Sistem içinde meydana gelmiş olan arızalara veya tehlikeli durumlara karşı önceki cevaplarının tarihçesi.

Rölenin genelde sistem içinde meydana gelebilecek herhangi olaya karşı koruma görevini yerine getirebilmesi her zaman olası değildir. Fakat yapısına göre bazı olaylara karşı cevap vermesi beklenir.

Halbuki koruyucu röle, bütünüyle sistem genelini korumayı amaçlayan ve yüksek teknoloji gerektiren bir üründür. Sistemin bütünüyle korunmasındaki amaç, arızalardan sistemi korumaktır. Koruyucu sistemlerin sık sık gözden geçirilmesi gerekmektedir çünkü güç sistemleri büyümekte ve işletme koşulları değişmektedir.

8.2.4. Röle sisteminde aranan nitelikler

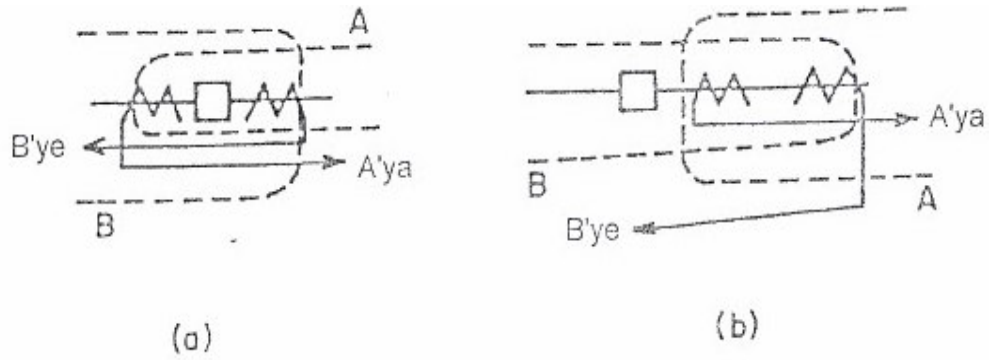
Koruyucu röleler belli özelliklere sahip olmalıdır. Bunlardan bazıları matematiksel şekilde ifade edilmeyebilir fakat önemli unsurlardır. Genel olarak, herhangi bir iyi tasarlanmış sistem için 4 ana unsur söz konusudur ve bu unsurlar koruyucu sistemin verimi ile doğrudan ilgili kavramlardır. Bunlar:

Güvenilirlik: ANSI C37.100 de tanımlandığı gibi, güvenilirlik kavramı röle veya röle sisteminin tamamen doğal bir şekilde bir işi yapma derecesidir. Sistem güvenilirliği iki ana unsurdan meydana gelmektedir; bunlar bağımlılık ve güvenlik. Bağımlılık, sistem arızasına karşı doğru çalışma ölçüsüdür. Güvenlik ise, arızalı veya arızasız bir ortamda yanlış açma sinyaline neden olmayan sistem kabiliyetine verilen isimdir. Maalesef, bu iki unsur birbiriyle çelişki içindedir. Güvenliğin artması bağımlılığın azalmasına neden olur veya bunun tersi de geçerlidir. Genelde, modern röle sistemleri oldukça güvenilirdir. Koruyucu röle sistemleri her türlü sistem ve çevre koşullarında doğru şekilde çalışmalıdırlar.

Bağımlılık laboratuvar şartlarında kolayca denenebilir. Diğer taraftan güvenliğin kontrol edilmesi ve denenmesi oldukça zordur. Sistem güvenliğinin doğal bir şekilde

sistemi A barasındaki kesiciyi ve haberleşme kanalı aracılığıyla uzakta C barasındaki kesiciyi aktif hale getirmelidir.

Koruma bölgeleri daima birbirini kısmen kapsamaktadır. Bu sayede sistemin hiçbir bölümü birincil koruma sisteminden ayrılmamış olmaktadır. Şekil 8.2 de görüldüğü gibi tüm sistemin birbirini kısmen kapsamasına rağmen, gerçekte tüm olası koşullar altında koruma sistemi çalışmayabilir. Birbirini kapsayan bölgeler her bir koruma sistemine uygun akım transformatörleri ile birlikte kullanılırlar. Şekil 8.3 a'da ise kesicinin her iki tarafına akım transformatörü konulmuştur. Bu durumda, kesicinin her iki yanındaki akım transformatörleri koruma bir parçası olarak kullanılmaktadır.



Şekil 8.3 Bölgelerin birbirini kesme prensibi, (a) kesicinin her iki tarafında akım transformatörlerinin kullanılması, (b) çoklu ikincil sargılara sahip tek bir akım transformatörünün kullanılması

Şayet kesicinin her iki tarafında akım transformatörleri yoksa şekil 8.3b'de gösterildiği gibi koruma bölgelerinin kısmen birbirini kapsama işlemi ikincil yani çoklu sargılı olan akım transformatörleri ile olmaktadır. Bu durumda koruma işlemi için hiçbir kör nokta kalmamasına rağmen, kesici ve akım transformatörü arasındaki arızalar için açma işlevi özel olarak göz önüne alınmalıdır. Birbirini kesen bölgelerin mümkün olduğu kadar küçük seçilmesi arzu edilir[5].

Bazen bir bölge (birim koruma amacıyla seçilen yer) birden fazla koruma sistemi ile korunmuş olabilir. Bu tip koruma tüm koruma sisteminin güvenilirliğini artırmaktadır. Bu gibi durumlarda, her iki koruma sistemi arasında mümkün olduğu kadar çok birbirinden bağımsız olması gerekmektedir. Bu amaçla kesicilerin, akım

transformatörlerinin, gerilim transformatörlerinin veya şalt sahasındaki sabit akü gruplarının iki kez kullanılması pahalı bir sistem olmaktadır.

Ancak, birden fazla koruma sistemi için ikincil yanı çoklu akım transformatörleri, gerilim transformatörleri için ayrı sigorta devreleri ve kesiciler ve diğer röleler içinde ayrı akü gurupları kullanılabilir. Bu gibi girişimler farklı koruma sistemleri arasındaki ortak arızaları en aza indirmek içindir ve bu sayede tüm koruma sisteminin güvenilirliği sağlanmış olmaktadır.

Güç sistemlerinde kullanılan tüm röleler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

1. Genlik Röleleri: Bu röleler giriş büyüklüğünün genliğine cevap vermektedirler. Buna örnek aşırı akım rölesidir. Giriş büyüklüğünün (ya tepe değeri ya da etkin değeri) genliğindeki değişimlere cevap vermektedir.
2. Yönlü Röleler: Bu röleler iki alternatif sinyal arasındaki faz açısına cevap vermektedir. Çoğunlukla kullanılan yönlü röle, gerilim ve akım arasındaki faz açısını karşılaştırmak suretiyle koruma işlevini yerine getirmektedir. Veya herhangi bir akımın faz açısı diğer akımla karşılaştırılır.
3. Oran Röleleri: Bu röleler fazör olarak belirtilen iki giriş sinyalinin oranına cevap vermektedirler. İki fazörün oranı karmaşık yapıdadır ve oran rölesi ya bu karmaşık sayının genliğine ya da kendisine cevap verecek şekilde tasarımlanır. En genel kullanılan oran röleleri, empedans veya mesafe koruma rölesi olarak bilinirler.
4. Diferansiyel Röleler: Bu röleler iki veya daha fazla girişin cebirsel toplamının, genliğine cevap vermektedirler. En çok kullanılan haliyle, bu röleler koruma bölgesine giren akımların cebirsel toplamına cevap veren rölelerdir. Cebirsel toplam koruma bölgesi içindeki herhangi bir arıza akımını (şayet varsa) simgelemektedir.
5. Pilot Röleler: Bu röleler bir giriş sinyali olarak uzaktaki bölgelerden haberleşme kanalı ile gelen bilgilere göre çalışan rölelerdir. Bu tip koruma genellikle iletim

hatlarında bir ana röle (master röle) ve bir de yardımcı röle (slave - köle röle) ile sağlanmaktadır.

Yukarıda bahsedildiği gibi bu beş rölenin giriş ve çıkış arasındaki ilişkinin işlevsel tanımı röle tasarımı için bir temel teşkil etmektedir. Sayısal röle kavramı söz konusu olduğunda, doğrudan röle algoritmalarından bahsedilir[5].

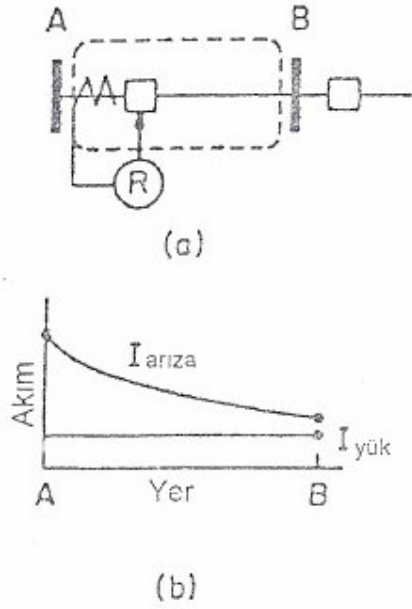
8.3. İletim Hatlarının Korunması

8.3.1. Aşırı akım röleleri

Güç sisteminde bir arıza meydana geldiğinde, arıza akımı güç sistemindeki herhangi bir elemanın ön-arıza akımı yük akımından daima daha büyüktür. Aşırı akım röleleri çok basit bir yöntemle sadece bu akımın genliğine göre çalışmaktadır. Bu röleler pratikte iletim hatları, transformatörler, generatörler veya motorlar gibi güç sistem elemanlarını korumaya yöneliktirler. Koruma bölgesi içindeki bir arıza sonucunda, arıza akımı hattın diğer tarafında en küçük değerde ve röle tarafında ise en büyük değerdedir. Güç sisteminin radyal olduğunu ve güç kaynağının şekil 8.4 (a) daki gibi sistemin sol tarafında olduğu kabul edilsin. Şayet koruma bölgesi içerisindeki mümkün olan en küçük arıza akımı hattın olası en büyük yük akımından daha büyükse, rölenin çalışma ilkelerini aşağıdaki gibi tanımlamak yerinde olacaktır:

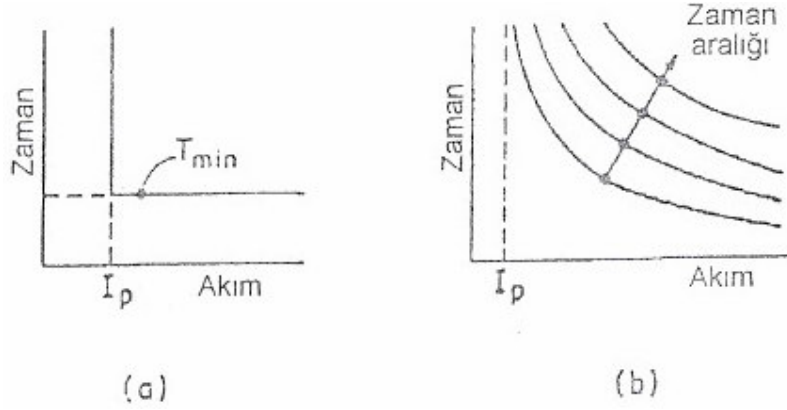
$$\begin{aligned} |I| \geq I_p & \text{ koruma bölgesi içinde arıza durumu, açma işlemi} \\ < I_p & \text{ koruma bölgesi içinde arıza yok, açma işlemi yok} \end{aligned} \quad (8.1)$$

Yukarıdaki eşitlikte I akımı röle akımıdır ve I_p ise rölenin ayarlandığı akım değeridir. Unutulmamalıdır ki, akımın genliği ac sinyalin dalga şeklinden türetilir. AC sinyal, arızanın başladığı andaki genliğe bağlı olan azalan dc bileşen içermektedir. Şekil 8.4 (b) arıza yeri ile birlikte kararlı durumdaki bir ac sinyalin (simetrik arıza olarak bilinen) değişimini göstermektedir. Denklem 8.1'de verilen röle karakteristiği simetrik arıza akımı sayesinde tanımlanır.



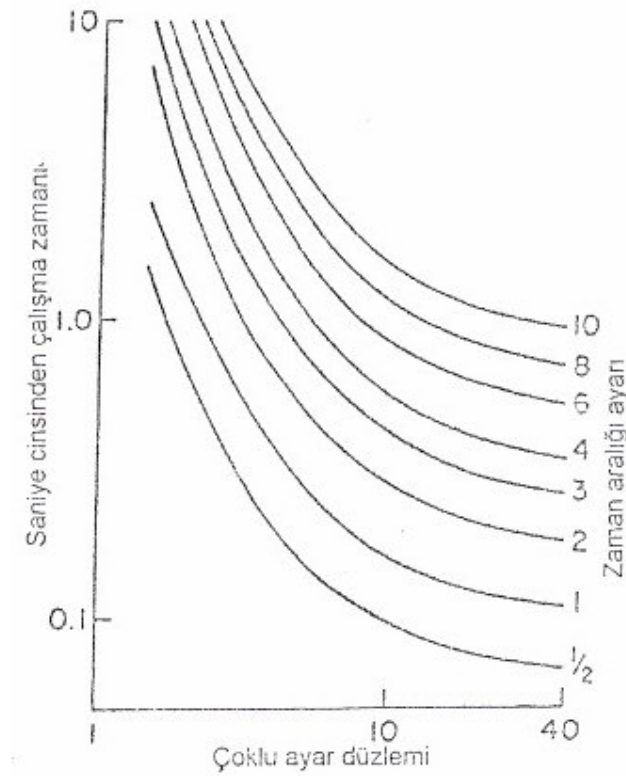
Şekil 8.4 İletim hatlarının aşırı akım koruması. (a) Radyal sistem koruma (b) Arıza yerinin bir fonksiyonu olan arıza akımının genliği

I_p akımını büyüklüğü rölenin ayarlandığı akım değeridir. Yukarıdaki denklem şekil 8.5 (a) da gösterildiği gibi ideal bir rölenin çalışma karakteristiğini vermektedir. Akımın genliği I_p akımından daha düşük olduğu sürece röle (sonsuz çalışma zamanlı) çalışmayacaktır. Şayet akımın genliği I_p akımının değerini aşarsa, röle kontaklarını kapatmak için T_{min} gibi bir zaman içerisinde çalışacaktır. Bu röle tipi ani röle olarak adlandırılır. Genellikle çalışma zamanının akımın genliğine bağlı olması istenir, örneğin şekil 8.5 (b) deki gibi akım en büyük değerde ise zamanın en küçük olması gerekmektedir.



Şekil 8.5 Aşırı akım rölesinin çalışma zamanı, (a) Ani açma rölesi, (b) Zaman aşırı akım rölesi

Bu tip bir karakteristik ters zaman karakteristiği olarak adlandırılır ve röle zaman aşırı akım rölesi olarak adlandırılır. Pratikte, I_p nin seçimi maksimum yük akımı ve minimum arıza akımı arasında bir değere ayarlanır.

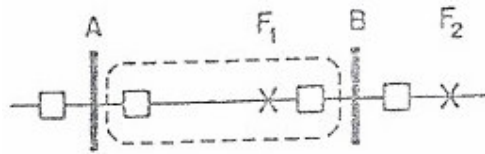


Şekil 8.6 Tipik bir ticari amaçlı zaman aşırı akım röle karakteristiği

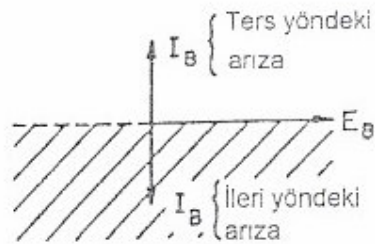
I_p ve minimum arıza akımı arasındaki 3 oranı tüm arızalar koşulunda ideal bir değer olarak kabul edilebilir. Çok değişik tipte ters zaman karakteristikleri mevcuttur: Bunlar kendi aralarında ters zaman, uzun ters zaman ve aşırı ters zaman olarak adlandırılır. Kuşkusuz, daha kesin olmayan birçok tanımlar vardır ve imalatçılar tarafından sağlanan gerçek röle karakteristikleri kullanılmaktadır. Dahası, herhangi bir röle tipi için verilen çalışma zamanı röle üzerindeki zaman ayarı ile azaltılıp, çoğaltılabilir. Şekil 8.5 (b) de bu durum gösterilmiştir. En genel haliyle zaman ayarı (en hızlı çalışma zamanı) 1/2 ve düşük ayar zamanı ise 10'dur. Tipik bir zaman aşırı akım röle karakteristiği şekil 8.6 da gösterilmiştir.

8.3.2. Yönlü röleler

Güç sisteminin radyal (Şekil 8.4 de gösterildiği gibi hattın bir tarafında kaynak bağlı) olmadığı durumlarda aşırı akım rölesi yeterli koruma sağlayamaz. Şekil 8.7 (a) da gösterildiği gibi hattın her iki yanında generatörle beslenmiş bir koruma bölgesini ele alalım. Böyle bir durumda, generatörlerin gücüne de bağlı olarak F_1 arızası için (iletim hattı koruma bölgesi içindeki) B noktasındaki röleden geçen akım, koruma bölgesi dışındaki F_2 arızası için aynı röleden (her ne kadar ters yönde olsa bile) geçen akımdan daha küçüktür.



(a)



(b)

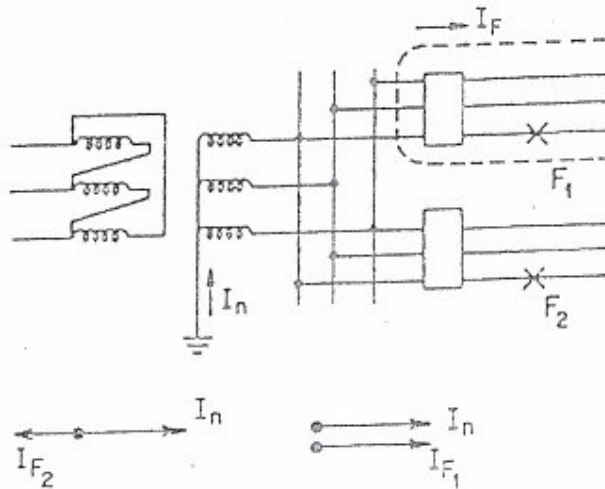
Şekil 8.7 Kapalı bir sistemde hat koruma. Hattın her iki yanındaki karşılıklı kaynaklardan hat üzerinde bir arıza durumunda akım çekilir. (a) Sistem şeması, (b) Gerilim ve akım fazörleri

Bu gibi durumlarda, F_1 noktasındaki arıza için ayarlanmış bir aşırı akım rölesi, ayrıca F_2 noktasındaki arıza içinde açma sinyali gönderebilir. Bu olay röle işleyişi için kabul edilemez emniyet koşulları arasına girmektedir. Bu sorunun üstesinden B noktasında (aynı zamanda A noktasında da) yönlü röle kullanılmasıyla gelinir. Röle koruma bölgesi dışındaki arızalara açma sinyali göndermez ve sadece ileri yöndeki arızalara - koruma bölgesi içine doğru oluşan - açma sinyali göndermektedir. Bu yönlü röleler arıza akımının yönünü belirlemek için arıza akımı ve bazı referans büyüklükler (örneğin uygun gerilim değeri gibi) arasındaki faz açısını kullanabilir. Şekil 8.7 (b)'de arıza ve arıza akımının gerisindeki gerilim görülmektedir. Arızanın iletim hattının tamamını kapsadığını ve arıza akımının da tamamen endüktif olduğunu ve faz açısının da gerilimden 90° geride olduğu farz edilsin. Şayet referans fazör (gerilim) ve arıza akımı arasındaki açı θ ise, o halde rölenin çalışma ilkesi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$-\pi \leq \theta \leq 0$, röle çalışır

$0 \leq \theta \leq \pi$, rölenin çalışması engellenir.

(8.2)



Şekil 8.8 Yönlü rölenin polarizasyonu için transformatör sıfır (nötr) akımının kullanılması

Çalışma ve engelleme bölgelerinin yukarıdaki tanıma göre bütün bölgeyi $0 \leq \theta \leq 2\pi$ kapsamına rağmen, gerçek bir arıza durumunda açılar ileri yöndeki arızalar için yaklaşık $-\pi/2$ ve geri yöndeki arızalar için de yaklaşık $\pi/2$ olmaktadır. Bu yüzden çalışma prensibi, bölgelerin $\pm\pi/2$ aralığında tanımlanması ile oldukça seçici hale getirilebilir. Referans olarak kullanılan gerilim arıza akımı tarafından ortaya çıkan gerilim olmalıdır. Bu yüzden a fazı ile toprak arasındaki arıza için a fazı gerilimi ve akımı bu karşılaştırmada kullanılır. Yine b ve c arası arızalar için b - c fazları arasındaki b fazı akımı ve gerilimi kullanılır.

Bazen, referans vektör olarak akım da kullanılabilir. Şekil 8.8 de gösterildiği gibi baraya bağlı bir transformatörü ele alınsın. Koruma bölgesi içindeki (örneğin F_1 noktasında) bir toprak arızası için, transformatörün nötr akımı ve arıza akımı birbiriyle aynı fazda olacaktır. Diğer bir deyişle, F_2 noktasında bir arıza varsa, röle içinden geçen arızalı faz akımı transformatörün nötr akımı ile karşılaştırıldığında ters yönde olacaktır. Bu yüzden transformatörün nötr akımı yönlü röleler için etkili bir referans akım teşkil etmektedir. Referans akımın büyüklüğü genellikle yönlü rölelerin polarizasyon büyüklüğü olarak adlandırılır. Oto transformatörlerinde nötr akımı polarizasyon büyüklüğü olarak her zaman alınmayabilir. Bunun yerine, üçgen bağlı sargıdan (şayet varsa) akan akımı kullanmak daha yerinde olmaktadır.

Genellikle, faz arızaları için tasarlanmış koruma sistemi toprak arızaları için tasarlanan koruma sisteminden farklıdır. Çünkü toprak arıza akımı doğrudan sistemin toprak hattına bağlıdır ve toprak arızaları sıfır bileşen akımları üretmektedir. Sıfır bileşen akımı normal işleme koşullarında çok çok küçüktür. Toprak arıza, rölelerinin ayar değerleri faz koruma rölelerinden çok daha hassas ayarlanabilmektedir. Toprak arıza rölesi yalnızca sıfır bileşen akımına, $(I_a + I_b + I_c)/3$, ihtiyaç gösterir[5].

8.3.3. Mesafe röleleri

Daha önce bahsedildiği gibi, aşırı akım rölesinin ayar değeri maksimum yük akımı ile minimum arıza akımı arasında bir değere ayarlanmalıdır. Yüksek gerilimli ve çok yüksek gerilimli ağlarda bu parametreler tam olarak tanımlanamaz. Bunun yanında iki röle arasındaki mesafe de tam olarak bilinemez. Bu gibi durumlarda, mesafe

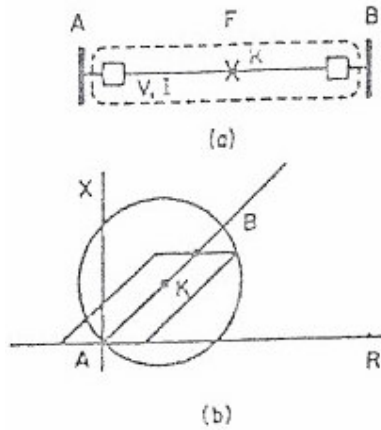
röleleri her türlü koşul altında mükemmel bir koruma sağlamaktadır. Şekil 8.9 (a) daki iletim hattı ele alınsın. Rölenin bulunduğu yerden k mesafesinde bir olağan dışı çalışma olsun. Şayet x ve y fazları arasında faz - faz arızası varsa, aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$\frac{E_x - E_y}{I_x - I_y} = kZ_1 \quad (8.3)$$

Yukarıdaki eşitlikte Z_1 tüm iletim hattının pozitif bileşen empedansıdır. Benzer şekilde, x fazında faz - toprak arızası için,

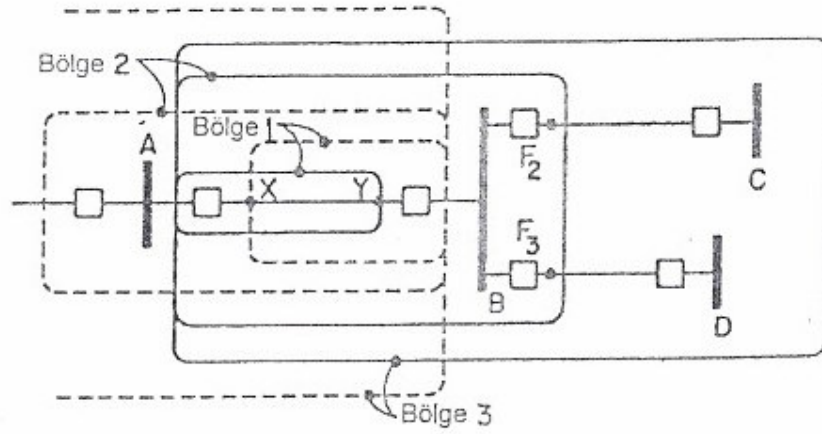
$$\frac{E_x}{I_x + mI_0} = kZ_1 \quad (8.4)$$

Yukarıdaki eşitlikte m değeri $(Z_0 - Z_1)/Z_1$ değerine eşittir ve Z_0 ise iletim hattının sıfır bileşen empedansıdır. Gerilim ve akım arasındaki oran iletim hattının empedansını (pozitif bileşen empedansı) ve dolayısıyla arızanın olup olmadığını simgelemektedir.

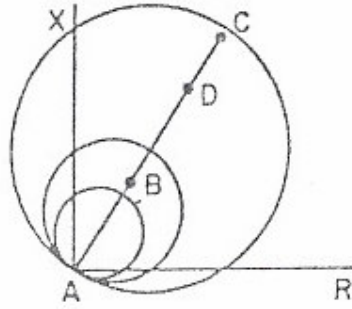


Şekil 8.9 Yüksek gerilimli iletim hatlarının mesafe koruması.(a) Koruma bölgesi içindeki arızalı hat, (b) mesafe koruma rölesi karakteristiği

Hesaplanan oran koruma bölgesi içindeki toplam pozitif bileşen empedansı ile karşılaştırılır. Şayet hesaplanan oran küçükse açma sinyali gönderilir. Unutulmamalıdır ki, denklem 8.3 ve denklem 8.4 deki pay ve paydadaki ifadeler kompleks yapıdadır ve dolayısıyla iki fazör arasındaki oranda kompleks sayıdır. Bu nedenle, karşılaştırma işlemi Şekil 8.9 (b) de gösterildiği gibi kompleks empedans düzleminde yapılır. İletim hattındaki arızalar için, gerilim ve akım oranı A - B düzlemi üzerindedir. Ancak, röle üzerinde ve akım - gerilim transformatörlerindeki hatalardan ötürü, tıpkı arıza yerindeki ark direnci gibi, kompleks düzlemindeki arıza bölgesini tanımlamak gerekmektedir. R-X düzleminde koruma bölgesi tanımlamak için dairesel veya dikdörtgensel şekiller kabul edilebilir. Dairesel şekiller başlangıçta elektromekanik röleler için kullanıldı ve daha sonraları katı hal rölelerinde hatta bilgisayar destekli rölelerde de başarıyla kullanılmıştır. Şekil 8.9 (b) de gösterilen dairesel koruma bölgesi offset empedans röleleri olarak bilinen röle sınıfına girmektedir. Dairenin merkezi orijin noktasıdır. Arıza direnci ve değişik hataları da göz önüne alarak kompleks R-X düzlemi üzerinde hassas bir koruma bölgesi seçilmelidir. A-B düzlemini çevreleyen dikdörtgensel koruma bölgesi mesafe koruma röleleri için daha uygun bir seçimdir. Bilgisayar destekli röleler de çoğunlukla bu yöntemle çalışmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 8.10 İletim hattının adım mesafe koruması. (a) Mesafe röleleriyle korunmuş iletim hatları, (b) üç koruma bölgesi

Aşırı akım rölelerinde olduğu gibi, mesafe koruma röleleriyle yapılan tam bir koruma için üç adet faz mesafe koruma rölesi (üçgen gerilimleri ve akımları kullanan) ve üç adet de toprak mesafe koruma rölesi kullanılmalıdır. Aşırı akım röleleri toprak arızası koruması için etkili bir koruma olduğundan (yük akımında kayda değer sıfır bileşen elemanı olmadığı için), üç adet faz mesafe koruma rölesi ve toprak aşırı akım rölesi tam bir koruma sağlamaktadır.

8.3.4. Pilot koruma

Pilot koruma bütün bir iletim hattını koruma amacıyla kullanılır. Yüksek hızlı bir koruma yöntemidir. Bütün arızaların mümkün olduğu kadar kısa bir sürede ortadan

kaldırılması gerekmektedir. Genel olarak iki tip pilot koruma yöntemi vardır: Yönlü karşılaştırma sistemi ve faz karşılaştırma sistemi. Bu sistemler beraberinde ek birkaç sistemi de getirmektedir. Yönlü karşılaştırma sistemi hattın diğer ucundaki köle röle (slave röle) ile haberleşmek suretiyle koruma bölgesindeki veya ters yöndeki arızaları algılamaktadır. Yön tayini yönlü mesafe koruma hesaplamasıyla aynıdır.

Faz karşılaştırma sistemi diferansiyel koruma prensibine çok yakındır. Şayet iletim hattına giren tüm akımların cebirsel toplamı sıfırdan farklı ise, hattın her iki yanındaki akımların faz açıları karşılaştırılır. Faz karşılaştırma sistemi seri kompanseörlü iletim hatlarının korunması için gayet idealdir. Faz karşılaştır işlemi sadece akımlarla yapıldığından bu tip sistemlerde hiçbir gerilim girişine ihtiyaç yoktur. Diğer bir deyişle, yönlü karşılaştırma sistemi empedans hesaplaması söz konusu olduğu için gerilim bilgisine ihtiyaç duymaktadır[5].

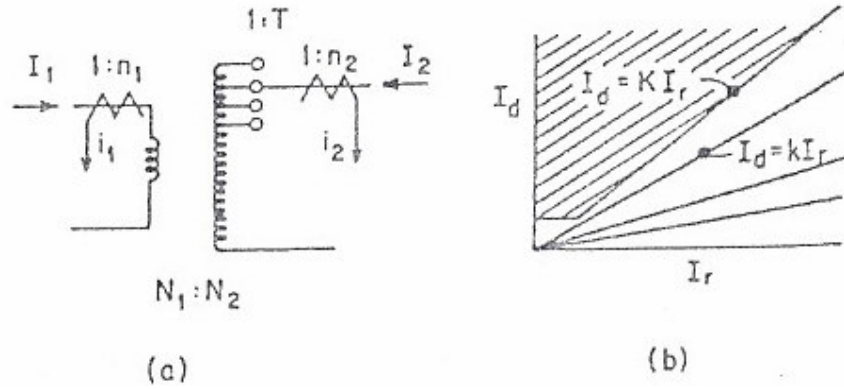
8.4. Transformatör, Reaktör ve Generatör Koruma

8.4.1. Transformatör koruma

Küçük güçteki transformatörler genellikle aşırı akım röleleri ve sigortalarla korunurlar. Daha büyük güçteki transformatörler ise (2.5 MVA veya daha büyük) genellikle yüzde akım diferansiyel röleleriyle korunmaktadırlar. Şekil 8.11de de gösterildiği gibi iki sargılı bir transformatör görülmektedir. İki adet akım transformatörüyle tanımlanmış koruma bölgesi içindeki arızasız bir transformatörde aşağıdaki eşitlikler yazılabilir:

$$I_1 N_1 = -I_2 N_2 T \quad (8.5)$$

Denklem 8.5 bir yaklaşımdır, çünkü mıknatıslanma akımının etkisi hesaba katılmamıştır.



Şekil 8.11 Bir transformatörün yüzde diferansiyel koruması. (a) Tek fazlı transformatör, (b) Yüzde diferansiyel karakteristik eğrisi

N_1 ve N_2 birincil ve ikincil sargıların nominal sarım sayılarıdır ve T ise kademe değiştirme oranıdır. Şayet iki adet akım transformatörünün dönüştürme oranları sırasıyla $1:n_1$ ve $1:n_2$ ise aşağıdaki eşitlikler yazılabilir:

$$\begin{aligned} I_1 &= n_1 i_1 \\ I_2 &= n_2 i_2 \end{aligned} \quad (8.6)$$

Kademe değiştirme oranı nötr noktasında ise (yani $T=1$), akım transformatörlerinin ikincil yan i_1 ve i_2 akımlarının genlikleri n_1 ve n_2 'nin uygun şekilde seçilmesiyle eşitlenebilir.

$$N_1 n_1 = N_2 n_2 \quad (8.7)$$

Akım transformatörleri standart akım transformatörleri oranlarından seçildiği için, arızasız bir transformatör için $N_1 n_1 \neq N_2 n_2$ ve $(i_1 - i_2) \neq 0$ eşitlikleri yazılabilir. Kademe değiştirici i_1 ye i_2 arasında ek bir eşitsizlik yaratmaktadır. Ve sonuç olarak, akım transformatörü hataları i_1 ve i_2 nin cebirsel toplamlarına dağılmaktadır. Genel olarak aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

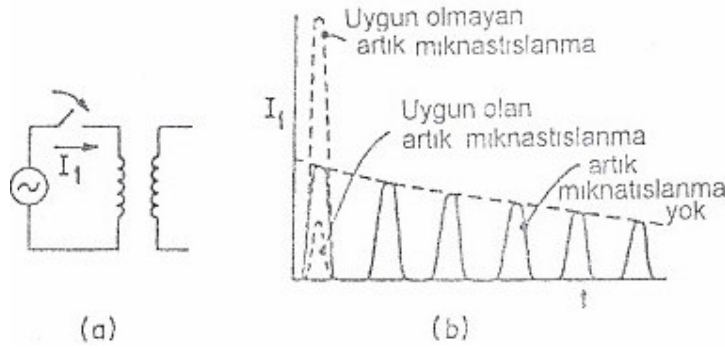
$$i_1 + i_2 = k \left(\frac{i_1 - i_2}{2} \right) \text{ veya}$$

$$I_d = kI_r \quad (8.8)$$

$(i_1 + i_2)$ akımlarının cebirsel toplamı I_d diferansiyel akımıdır ve $(i_1 - i_2)/2$ değeri ise akım transformatörlerinin ikincil yanına indirgenmiş her iki sargı akımının ortalama değeridir. Bu değer aynı zamanda I_r sınırlama akımı olarak da bilinir ve denklem (8.8) den de anlaşılacağı üzere, transformatörde bir iç arıza yoksa diferansiyel akım k çarpanı ile sınırlama akımına eşittir. Diferansiyel rölenin açma sinyali göndermesini önlemek amacıyla şekil 8.11 (b) 'de de görüldüğü gibi röle karakteristiği istenilen düzeyde seçilebilir. Şekil 8.11 (b)'deki yüzde K eğimi, daha fazla güvenlik alanı oluşturmak amacıyla denklem 8.8 deki k değerini büyük seçmek yoluyla yapılır. k sabiti daha önceden de bahsedildiği gibi üç önemli faktörü vardır. Rölenin K eğimi ne kadar küçük seçilirse, röle küçük arıza akımlı arızaları o kadar hassas bir şekilde algılayabilir. Yüzde diferansiyel röleler için tipik ayarlama seçimi yüzde 10, 20 veya 40 olmaktadır.

Transformatörün enerjilenmesi esnasında, bu enerjilenen sargıdan anormal akımlar akabilir. Bu akımlar bir periyotluk zaman içerisinde transformatörün demir çekirdeğinin doyması sonucunda ortaya çıkan ani mıknatıslanma akımı olarak bilinirler. Ani mıknatıslanma akımının eğrisi şekil 8.12 de gösterilmiştir. Ani mıknatıslanma akımı, şayet çekirdekte kalıcı mıknatıslanma var ise ve de kalıcı mıknatıslanmanın polaritesi demir çekirdeği doymaya getirecek yönde ise çok ciddi hasarlara yol açabilir. Enerjilenme esnasında kalıcı mıknatıslanma ile akı arasındaki ilişki rasgele olduğundan, ani mıknatıslanma akımının şiddeti şansa bağlıdır. Bu yüzden ani mıknatıslanma ile arızayı birbirinden ayırmak gerekmektedir.

Ani mıknatıslanma akımı esnasında yüzde diferansiyel rölenin açma sinyali göndermemesi için en etkili yol ani mıknatıslanma akımındaki ikinci harmonik bileşenini kullanmaktır. Çünkü arıza akımının frekansı hemen hemen temel frekans bileşenine yakındır.



Şekil 8.12 Bir transformatörün enerjilenmesi esnasında ani mıknatıslanma akımı

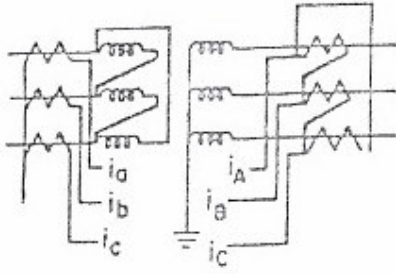
Harmonik sınırlamalı yüzde diferansiyel röle tasarımında diğer bir unsur da, akım dalga şekillerinde başka harmoniklerin de var olduğudur. Örneğin, aşırı tahrikli (doyma noktasına gelmiş) bir transformatörün mıknatıslanma akımında beşinci harmoniğin genliği oldukça yüksektir ve bu yüzden ikinci ve beşinci harmonik sınırlamalı bir röle tasarlamak daha akılcı olmaktadır. Diğer bir deyişle, bir iç arıza esnasında akım transformatörlerinden biri doyma noktasına gelirse, doymuş akım transformatörünün ikincil sargısındaki üçüncü harmonik bileşeninden ötürü herhangi bir sınırlama işlevi yerine getirilemez.

Ancak yine de akım dalga şeklindeki harmoniklerin varlığı, arızalı ve arızasız koşulların ayırt edilmesinde büyük rol oynar. Bu sonuçla, transformatörlerin yüksek gerilim tarafında meydana gelen diferansiyel akımların ani mıknatıslanma akımı sonucunda oluştuğu gözlemlenir.

Transformatör koruması amacıyla kullanılan rölelerin bazıları elektrik kullanımına ihtiyaç göstermez. Bu tip rölelere örnek ani basınç rölesi ve Buchholz rölesi verilebilir.

Üç fazlı transformatör koruması ilkesi genel olarak yukarıda açıklandığı gibidir. Yıldız - üçgen bağlı transformatör durumunda, yıldız ve üçgen sargılardan normal çalışma esnasında geçen hat akımları (veya bir iç arıza durumunda geçen akımlar) birbirleri arasında faz açısına sahiptirler. Diferansiyel röle kullanılmadan önce bu husus göz ardı edilmemelidir. Faz açılarının düzeltilmesi daima akım

transformatörlerinin ters yönde bağlanmasıyla mümkün olmaktadır: Üçgen bağlı sargıda yıldız bağlayarak ve yıldız bağlı sargıda ise üçgen bağlayarak. Bu bağlantı şeması şekil 8.13 de gösterilmiştir. Aynı yaklaşım bilgisayar destekli röleler içinde geçerlidir[5].



Şekil 8.13 Yıldız - üçgen bağlı bir transformatörün yüzde diferansiyel röle koruması. Akım transformatörlerinin faz kaymasını düzeltmek amacıyla bağlantı şekilleri.

8.4.2. Reaktör koruma

Reaktörler için ana koruma yöntemi generatörlerin diferansiyel koruma prensibinin aynısıdır. Buna ek olarak, reaktör içindeki sarım - sarım arızası, reaktöre bağlanan mesafe koruma rölesiyle algılanabilir.

8.4.3. Generatör koruma

Generatör sargısının her iki ucunda (faz ucu ve nötr ucu) kullanılan akım transformatörleri özel olarak dengelenmektedir. Çünkü her iki akım transformatörünün birincil akımları birbiriyle hemen hemen aynıdır. Aynı zamanda kademe değiştirmeden doğan hatalar generatör ve reaktör koruma için söz konusu değildir. Bu yüzden, generatörün diferansiyel koruma rölesi oldukça hassas ayarlanabilmektedir. Şüphesiz, ani mıknatıslanma akımının varlığından da söz edilemez.

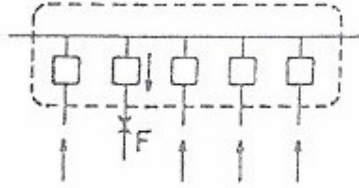
Generatör korumasıyla ilgili olarak, dengesiz stator akımları yüzünden meydana gelen rotor ısısının yükselmesi örnek verilebilir.

Bu duruma genellikle stator sargılarından geçen ters bileşen akım neden olmaktadır.

Generatör koruması amacıyla diğer birkaç koruma yöntemlerinden bahsetmek yerinde olmaktadır. Bunlara örnek ters güç rölesi, alan toprak rölesi, generatör aşırı yük rölesi gibi.

8.4.4. Bara koruma

Baralar genellikle diferansiyel röleler tarafından ideal bir şekilde korunurlar. Şekil 8.14 de görüldüğü gibi, iletim hatları ve transformatörlerden meydana gelen bir bara göz önüne alınsın. Baradaki tüm akımların cebirsel toplamı arızasız bir ortamda daima sifıra eşittir. Akım transformatörlerindeki değişik hatalar göz önüne alındığında yüzde diferansiyel rölenin kullanımı daha uygun hale gelmektedir, fakat bu durumda yüzde diferansiyel, rölenin eğimi oldukça küçük seçilebilir. Bara korumasında dengesiz oranlar ve kademe değiştirme etkileri söz konusu değildir.



Şekil 8.14 Diferansiyel röle ile gerçekleştirilmiş bara koruma şeması

En önemli etken bir dış arıza esnasında akım transformatörlerinin doyma noktasına gelme problemidir. Şekil 8.14 de F noktasında bir arıza olsun. Bu fider üzerindeki akım transformatörünün akımı, tüm fider akımlarının toplamıdır ve bunun sonunda akım transformatörü tehlikeli bir şekilde doymaya gelmektedir. Doymuş bir akım transformatörü ikincil akım üretmez. Akım transformatörü çekirdeğindeki birincil akım, ikincil akım ve akı dalga şekillen şekil 8.15 de gösterilmiştir. Akı yoğunluğu doyma seviyesini geçtiğinde, ikincil akım ihmal edilebilir bir düzeye gelmektedir. Bu koşullar altında, ikincil sargı ile birincil sargı arasında manyetik kuplaj kaybolmaktadır ve akım transformatörü gerçekte hava çekirdekli bir aygıt olarak davranmaktadır. Manyetik kuplajın zayıflamasının manası, ikincil sargının beslediği

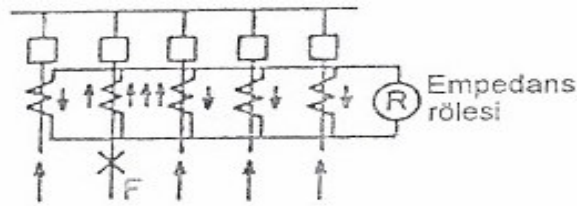
aygıtta akım kaynağı olarak görev yapmaması ve düşük empedans göstermesidir. Açıkça görülüyor ki, şayet akım transformatörlerinden birisinin ikincil akımı bir dış arıza esnasında sıfır olursa, diferansiyel akım kaybolan akıma eşit olacaktır ve röle açma sinyali gönderecektir.



Şekil 8.15 Doyma esnasında bir akım transformatörü çekirdeğindeki birincil akım, ikincil akım ve akının dalga şekli.

Genelde, akım transformatörlerinin çekirdekleri arıza esnasında 1/2 ila 1 periyot arasında doymaya gelmemelidir. Şayet akım transformatörü arızanın başlangıcından sonra 1/4 veya daha kısa bir zaman aralığında doymaya gelirse, bara diferansiyel rölesi açma sinyali göndermemeli ve sınırlama işlevini yerine getirmelidir.

Bununla birlikte, analog röleler akım transformatörünün doymasından etkilenmezler. Doymuş akım transformatörünün ikincil yanında düşük empedans görüldüğünden, yüksek empedanslı röle tasarlamak yeterli olacaktır. Doymuş bir akım transformatörü tarafından üretilen sahte diferansiyel akım kendi ikincil sargısından akar ve daha sonra yüksek empedansa sahip röleden geçmektedir. Bu koşul şekil 8.16 da belirtilmiştir.



Şekil 8.16 Yüksek empedanslı diferansiyel röle üzerinde akım transformatörünün doyma etkisi

BÖLÜM 9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde orta gerilim havai hat şebekeleri hata akımı izleme sistemleri (linetroll 110E μ) ve direk tipi montaja uygun hata akımı izleme sistemleri (linetroll 111K) hakkında bilgilere değinildi. Bu sistemler kullanılarak orta gerilim hattında meydana gelen faz – toprak ve faz – faz hata noktaları kısa sürede tespit edilebilir.

9.1. Linetroll 110E μ

9.1.1. Çalışma özellikleri

OG havai hatta arıza olması durumunda arızalı kısımdan başlamak üzere, ışıklı sinyalizasyon sağlayarak arızalı kısmın hızlı tespitine olanak sağlayacaktır. Üniteye bulunan mikro işlemcili devre; akım tarafından üretilen manyetik alanı, diğer bir algılayıcı ise gerilimin neden olduğu elektrik alanını sürekli olarak ölçerek, cihazın montajının yapıldığı OG hava hattında ayarlanan aşırı akım değerinden (I_{max}) daha fazla bir akım geçerse veya belirli bir sabit zaman içerisinde akımın değişim miktarı (di/dt) ayarlanın üzerinde olursa cihaz bunu arıza olarak algılayacak, arıza akımını takip eden kaynak tarafındaki korumanın açılmasıyla oluşan gerilim yokluğu veya akımın yokluğu ile (arıza onayı yöntemi kullanıcı tarafından seçilebilir olacaktır) 3 - 70 sn süresince geçici arıza 70 sn yi aşması durumunda kalıcı arıza olarak algılanacaktır ve cihazın üzerindeki LED 'ler kendi kaynağından beslenerek geçici arıza durumunda (3-70 sn) farklı, kalıcı anza durumunda (>70 sn) farklı renkte ledler ile ışık verecektir. OG havai hattının yeniden enerjilenmesi ile cihaz otomatik olarak normal çalışma düzenine geri dönecek yani resetleme yapacaktır, bu özellik (açık veya kapalı) kullanıcı tarafından seçilebilecektir[11].

9.1.2. Standartlar

OG havai hatlar için hata akımı izleme cihazı, ilgili Türk Standartlarına (TS) ve Uluslararası Elektronik Komisyonunun (IEC) IEC 61000-4, IEC 61000-6 seviye 10V rms ve CISPR22 sınıf B, standartlarına uygun olacaktır. Koruma sınıfı (TS 3033 ve IEC 60529) IP 54 olacaktır. Eşdeğer veya daha üstün başka standartlar kabul edilebilir.

9.1.3. Fonksiyonel özellikler

- Kalıcı ve geçici faz-toprak, faz-faz arızaları algılanacaktır.
- Cihaz iletkene montaj yani faz tipi olacaktır.
- Cihaz kalıcı ve geçici arıza bildirimlerini farklı renkte LED 'ler ile bildirecek ve bu sayede sistemde meydana gelen arızanın KALICI veya GEÇİCİ olduğu ayırt edilebilecektir.
- Sistemde meydana gelen bir geçici arıza durumunda cihaz 70 sn 'nin sonunda bu arıza giderilse dahi arızanın olduğu bölüme kadar ışıklı bildirimine en az 24 saat süresince devam edecek, bu süre içerisinde yeni bir arıza meydana gelmesi durumunda cihaz ilk arıza bildirimini SİLİP meydana gelen ikinci arıza bildirimini gösterecektir.
- I_{max} (aşırı akım) ayarı, faz-faz arıza akım değerleri 250 A 'den başlayacak ve 250A-1000A aralığında en az 4 kademeli ayarlanabilir olacaktır.
- Belirli bir sabit zaman içerisinde akımın değişim miktarı (di/dt) 6A/25 mili saniye 'den başlayacak ve 6A-120A/25 mili saniye aralığında en az 5 kademeli ayarlanabilir olacaktır.
- Cihaz arıza algılamasını, kaynak tarafındaki korumanın açılması ile oluşan, gerilim veya akımın yokluğu ile onaylayacak (bu özellik kullanıcı tarafından seçilebilir

olacaktır) ve kaynak tarafındaki korumanın açmasını takip eden 3 saniye boyunca gerilimin veya akımın yokluğunun kontrolünü yapacaktır.

- Sahada ayarlanabilir olacaktır.

- Uygulama gerilimi 6-66kV arasındaki her türlü havai hatlarda kullanılabilir olacaktır.

- Uygulama frekansı 50 Hz olacaktır.

- Her türlü nötr sistemine uyumlu olacaktır.

- Cihaz pil ömrünün %80 'nini tükettiğinde pil değişimi uyarısı için GEÇİCİ ve KALICI hata bildirimindeki renklerden farklı renkte bir LED ile düşük pil uyarısı bildiriminde bulunacaktır.

- Görünebilirliği artırmak için cihazın LED 'li bölümü LENS özelliği ihtiva edecektir.

- Cihaz, arızanın giderilerek hattın yeniden enerjilenmesi durumunda en az 5 saniye süresince demaraj akımlarından etkilenmeyecektir[11].

9.1.4. Montaj

- 3 AWG ile 477 MCM dahil arasındaki iletken kesitli hava hatlarına 1.5 m uzunluğundaki izole ıstankayla (montaj ve test aparatı ıstankaya montajlı olacaktır) monte edilebilir olacaktır.

- Yaylı kapma mekanizmasıyla hava hattına gerilim altında doğrudan monte edilebilir olacaktır.

9.1.5. Normal çalışma durumuna geri dönme(resetleme)

Resetleme işlemi dört farklı biçimde olacaktır. Bunlar:

- Kaynak gerilimi ile resetleme: OG şebekede arıza giderilip besleme gerçekleştiğinden 30 saniye sonra sistem otomatik olarak reset edecektir. (Kaynak Gerilimi İle Resetleme TEK DEVRELİ SİSTEMLERDE kullanılacaktır.)
- Kaynak akımı ile resetleme: OG şebekede arıza giderilip besleme gerçekleştiğinden 30 sn sonra sistem otomatik olarak resetlenecektir. (Kaynak Akımı İle Resetleme ÇOK DEVRELİ SİSTEMLERDE kullanılacaktır.)
- Zaman ayarlı resetleme: Sistemde kalıcı arıza devam ediyor dahi olsa cihaz, en az 2 saatlik süreden başlamak üzere 2 - 24 saat aralığında ayarlanabilir en az 4 kademeli sürenin sonunda cihaz kendi kendini otomatik olarak reset edecektir.
- Elle resetleme: Test ve montaj aparatının cihaz yüzeyine yaklaştırılmasıyla resetleme yapılabilecektir.

9.1.6. Işıklı sinyalizasyon

Arıza süresince (cihaz kendi kendini otomatik olarak reset etmediği sürece) ünite üzerindeki ledler yanıp sönecektir. Yanıp sönmeye periyodu, ilk 12 saat için 1/x Hz devam eden 12 saat için 1/2x Hz olacak böylece cihaz pil tasarruf moduna otomatik olarak geçecektir.

9.1.7. Güç kaynağı

Cihaz kendi kaynağından (lithium pil 3.6V 16.5Ah lik uzun ömürlü pil) beslenecektir.

9.1.8. Ölçü üniteleri için karakteristik eğriler

- Anma Kısa Devre Akımı: 25 kA
- Anma Kısa Devre Süresi: 0,17 saniye

9.1.9. Test

Ünitenin kendi kaynağının durumunu ve ışıklı sinyalizasyonun çalışıp çalışmadığını kontrol etmek için test ve montaj aparatının cihaz yüzeyine yaklaştırılmasıyla test işlemi yapılabilecektir.

9.2. Linetroll 111K

9.2.1. Çalışma özellikleri

OG tek devreli havai hattında arıza olması durumunda arızalı kısımdan başlamak üzere, ışıklı sinyalizasyon sağlayarak arızalı kısmın hızlı tespitine olanak sağlayacaktır. Ana ünite de bulunan mikro işlemcili manyetik alan dedektörü hattın nominal akımının ürettiği manyetik alana kendisini otomatik olarak adapte edecek, hattan ayarlanan birim zaman içerisinde akımın değişim miktarı (di/dt) değerlerinin üzerinde geçen akımın meydana getirdiği manyetik alan değişimini cihaz arıza olarak algılayacak, arıza akımını takip eden kaynak tarafındaki korumanın açması ile oluşan elektrik alan yokluğu ile de cihaz ışıklı bildirim başlayacaktır. (Kaynak tarafındaki korumanın açmasına bağlı hata bildirimini kullanıcı tarafından seçilebilir olacaktır.) Cihaz geçici hata bildirimini LED ile kalıcı hata bildirimini KSENON gaz tüpünün deşarj olması sonucu meydana gelen parlama ile bildirecek, bu parlamanın görünebilirliği gündüz 500 m gece 1000 m 'den az olmayacaktır[11].

9.2.2. Standartlar

OG tek devreli havai hatlar için hata akımı izleme cihazı, ilgili Türk Standartları'na (TS) ve Uluslararası Elektronik Komisyonu'nun (IEC) IEC 61000-4, IEC 61000-6 seviye 10V rms ve CISPR22 sınıf B, standartlarına uygun olacaktır. Koruma sınıfı (TS 3033 ve IEC 60529) IP 54 olacaktır. Eşdeğer veya daha üstün başka standartlar kabul edilebilir.

9.2.3. Fonksiyonel özellikler

- Kalıcı ve geçici faz-toprak, faz-faz arızaları algılanacaktır.
- Cihaz direğe montaj tipi olacak ve iletkenlerle herhangi bir bağlantı ihtiva etmeyecektir. (kablo, akım trafosu v.b)
- Cihaz kalıcı ve geçici arıza bildirimlerini farklı renkte LED 'ler ile bildirecek ve bu sayede sistemde meydana gelen arızanın KALICI veya GEÇİCİ olduğu ayırt edilebilecektir.
- Geçici hatayı gösteren LED iki farklı şekilde programlanabilecektir. Birinci durumda geçici hata uyarısı veren LED hat yeniden enerjilense bile bildirimine 24 saat devam edecek, ikinci durumda(pil tasarruf modu) hat yeniden enerjilendiğinde 15 veya 30 sn gecikme ile resetlenecektir.
- Kalıcı hatayı gösteren KSENON gaz tüpü 5 sn 'lik periyotlar ile deşarj olup parlayacak ve hattın yeniden enerjilenmesi ile 15 veya 30 sn 'lik gecikme ile resetlenecektir.
- Belirli bir sabit zaman içerisinde akımın değişim miktarı (di/dt) 4A/25 mili saniye 'den başlayacak ve 4A-50A/25 mili saniye aralığında en az 4 kademeli ayarlanabilir olacaktır.
- Arızanın algılanmasının onayı, kaynak tarafındaki korumanın açmasına bağımlı veya bağımsız olarak kullanıcı tarafından seçilip ayarlanabilecektir.
- Sahada ayarlanabilir olacaktır.
- Uygulama gerilimi 6-66kV arasındaki tek devreli havai hatlarda kullanılabilir olacaktır.
- Uygulama frekansı 50 Hz olacaktır.

-Her türlü nötr sistemine uyumlu olacaktır.

- Görünebilirliği artırmak için cihazın LED 'li bölümü LENS özelliği ihtiva edecektir.

- Cihaz, arızanın giderilerek hattın yeniden enerjilenmesi durumunda 3 saniye süresince demaraj akımlarından etkilenmeyecektir[11].

9.2.4. Montaj

- Cihaz, OG tek devreli havai hattında her türlü direğe monte edilebilir olacaktır.

- Cihazın, OG tek devreli havai hattına montajı için direk montaj aparatı cihazla birlikte verilecektir.

9.2.5. Normal çalışma durumuna geri dönme(resetleme)

Resetleme işlemi üç farklı biçimde olacaktır. Bunlar:

- Kaynak gerilimi ile resetleme: OG şebekede arıza giderilip besleme gerçekleştirildikten 15 veya 30 saniye sonra sistem otomatik olarak reset edecektir. Ancak kullanıcı isterse LED 'li gösterim 24 saat devam edebilecektir. (Bu özellik seçilebilir olacaktır)

- Zaman ayarlı resetleme: Sistemde kalıcı arıza devam ediyor dahi olsa cihaz, 1.5 saatlik süreden başlamak üzere 1.5-12 saat aralığında ayarlanabilir en az 4 kademeli sürenin sonunda kendi kendini otomatik olarak reset edecektir. (İstenirse LED ile bildim 24 saat devam edebilecektir)

- Elle resetleme: Mıknatıslı bir çubuğun cihazın arka yüzeyine yaklaştırılmasıyla resetleme yapılabilir.

9.2.6. Işıklı sinyalizasyon

Arıza süresince (sistem kendi kendini otomatik olarak reset etmediği sürece) ünite üzerindeki led 30 msn periyot ile KSENON gaz tüpünün deşarj olması ile oluşan parlama 5 sn 'lik periyotla yanıp sönecektir.

9.2.7. Güç kaynağı

Cihaz kendi kaynağından (lithium pil 3.6V 16.5Ah lik uzun ömürlü pil) beslenecektir.

9.2.8. Ölçü üniteleri için karakteristik eğriler

- Anma Kısa Devre Akımı: 25 kA
- Anma Kısa Devre Süresi: 0,17 saniye

9.2.9. Test

Ünitenin kendi kaynağının durumunu ve ışıklı sinyalizasyonun çalışıp çalışmadığını kontrol etmek için mıknatıslı bir çubuğun cihazın ön yüzeyine yaklaştırılmasıyla test işlemi yapılabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] KÜÇÜK, S., “Elektrik Tesislerinde Arızalar” TÜPRAŞ Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş., İzmit, 2005
- [2] TANRIÖVEN, M. , İNCE, R. : “Elektrik Güç Sisteminin Kalitesini Bozan Faktörlerin İncelenmesi”
- [3] BAYAZIT, H. , “Enerji Sistemlerinin Kısa Devre Arıza Analizi” Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 2000
- [4] ÇAKIR, H. : “Enerji İletimi(Elektrik Hesaplar)” Yıldız Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1989
- [5] ÖZGÖNENEL, O. , “Enerji İletim Sistemlerinde Birim Koruma Sisteminin Geliştirilmesi: Transformator Koruma” Doktora Tezi
- [6] HAKTANIR, D. , “Yüksek Gerilimde Kısa Devre ve Kısa Devrelerin Üniter Hesabı” Emobilim, Cilt 1, Sayı 2, s. 8-13, Lefkoşa, 2001
- [7] ÇOŞKUN, B. , “Geçici Aşırı Gerilimler ve Şebeke Yönünden Analizi”
- [8] SAÇKESEN, E. , AMAÇ. A. , “Koruma Sistemleri” TEİAŞ Soma Elektrik Teknolojileri Geliştirme ve Eğitim Tesisleri İşletme Müdürlüğü
- [9] ÇAM, İ. , “Koruma - Kontrol” T.E.K Röle ve Ölçü Aletleri Grup Müdürlüğü
- [10] ODABAŞI, T. , “Koruma Sistemlerinin Genel Prensipleri, Şebeke ve Transformator Koruması” BOTAŞ, Adana
- [11] Etik Elektrik LTD. ŞTİ. , Nortroll Katalog Bilgileri

EKLER

Ek A Simetrlili Bileşenler

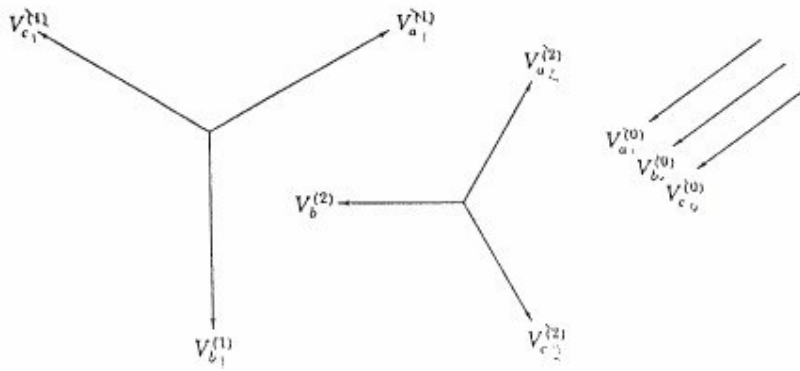
Dengesiz çok fazlı sistemlerle ilgili problemlerin çözümlerinde kullanılan en önemli teorilerinden biri C.L Fortescue tarafından ortaya atılan simetrlili bileşenler teorisidir.

Fortescue 'nin çalışmaları ispat etmiştir ki n bağlı fazörden meydana gelen bir dengesiz sistem dengeli fazörlerden meydana gelen n sistem için yeniden çözülebilir. Bunlar orijinal fazörlerin simetrlili bileşenleri olarak adlandırılır. Bileşenlerin her bir grubun n fazörü eşit uzunlukta ve grup içindeki bitişik fazörler arasındaki açılarda birbirine eşittir. (Dengeli bir sistem oluşur). Bu simetrlili bileşenler metodu herhangi bir devrede çok fazlı sistemlere uygulanabilirse de biz bu metodla 3 fazlı sistemleri inceleyeceğiz. C.L.F teoremine göre 3 fazlı sistemin 3 dengesiz fazörü 3 dengeli sistem fazörleri cinsinden yeniden çözülebilir.

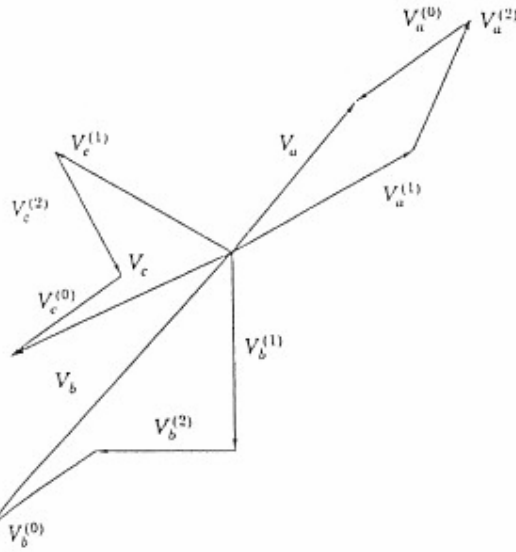
Bileşenlerin dengeli gurupları :

- 1- Pozitif-sequence bileşenleri üç eşit büyüklükteki fazörden meydana gelir. Bu fazörler arasındaki faz farkı 120° dir. Ve fazörler orijinal fazörlerin faz sırasındadır.
- 2- Negatif-sequence bileşenleri üç eşit büyüklükteki fazörden meydana getir. Bu fazörler arasındaki faz farkı 120° dir. Fazörlerin sırası orijinal fazörlere tam ters faz sırasındadır.
- 3- Sıfır-sequence bileşenleri üç eşit büyüklükteki fazörden meydana gelir. Fazörler arasındaki faz farkı 0° dir.

Simetrili bileşenlerle bir problemin çözümünde sistemin üç fazı a, b ve c olarak gösterildiğinde sistemdeki gerilimler ve akımların faz sırası abc olarak alınması adet olmuştur. Böylece, dengesiz fazörlerin pozitif-sequence bileşenlerinin faz-sırası abc ve negatif sequence bileşenlerinin faz sırası da acb dir.



Şekil A.1 Bileşen fazörleri



Şekil A.2 Simetrik bileşenlerin grafiksel toplamı

Orijinal fazörlerde gerilimler ise V_a , V_b , V_c olarak gösterilir. 3 gurubun simetrik bileşenleri, harflerin altına pozitif-sequence bileşenlerde 1 indisi, negatif-sequence bileşenlerde 2 indisi ve sıfır-sequence bileşenlerde de 0 indisi ile ifade edilir. V_a , V_b ,

V_c 'nin pozitif-sequence bileşenleri V_{a1} , V_{b1} , V_{c1} ; negatif-sequence bileşenleri V_{a2} , V_{b2} , V_{c2} ve sıfır-sequence bileşenleri de V_{a0} , V_{b0} , ve V_{c0} olarak ifade edilir.

Üç gruptan meydana gelen bu düzen simetrik bileşenleri gösterir. Fazörler akımları gösterirse, I sembolü kullanılır. Orijinal dengesiz fazörlerin her biri simetrik bileşenlerinin toplamıdır. O halde orijinal fazörler aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (\text{A.1})$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad (\text{A.2})$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \quad (\text{A.3})$$

Simetrik bileşenler metodu ile güç sistemleri analizinin birçok avantajı, simetrik olmayan arızaların etüdüne bu metodun uygulanmasıyla geniş ölçüde görülür. Burada şunu da söyleyebiliriz ki arıza akımının simetrik bileşenlerinin bulunmasıyla sistemin değişik noktalarında gerilim ve akım değerleri bu metotla kolayca bulunabilir. Yine bu metot basit olmakla beraber sistemin işleyişi hakkında önceden doğru sonuçların çıkarılmasında bizlere yardımcı olmaktadır.

Asimetrik Fazörlerin Simetri Bileşenleri

(A.1), (A.2) ve (A.3) eşitlikleri kullanılarak simetrik fazörlerin 3 gurubundan üç asimetrik fazörün sentezi görülmektedir. Referanslar alınarak, V_a bileşeni ve a operatöründe kullanarak V_b ve V_c bileşenlerini V_a 'nın bileşenleri cinsinden aşağıdaki bağlantılardan yazılabilir:

$$V_{b1} = a^2 V_{a1}; V_{c1} = a V_{a1} \quad (\text{A.4})$$

$$V_{b2} = a V_{a2}; V_{c2} = a^2 V_{a2} \quad (\text{A.5})$$

$$V_{b0} = V_{a0}; V_{c0} = V_{a0} \quad (\text{A.6})$$

(A.4), (A.5) ve (A.6) eşitlikleri (A.1), (A.2) ve (A.3) 'te yerine, konursa;

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (\text{A.7})$$

$$V_b = a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0} \quad (\text{A.8})$$

$$V_c = a V_{a1} + a^2 V_{a2} + V_{a0} \quad (\text{A.9})$$

Bu ifadeler matris formunda yazılırsa;

$$\begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{pmatrix} \quad (\text{A.10})$$

burada,

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{pmatrix} \quad (\text{A.11})$$

olarak tanımlanır, A^{-1} kolayca aşağıdaki gibi bulunur.

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{pmatrix} \quad (\text{A.12})$$

(A.10) eşitliğinin her iki tarafı önden A^{-1} ile çarpılırsa aşağıdaki sonuç elde edilir.

$$\begin{pmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} \quad (\text{A.13})$$

Bu sonuç, asimetrik üç fazörün simetrik bileşenler cinsinden yeniden nasıl çözüleceğini gösterir.

$$V_{a0} = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) \quad (\text{A.14})$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c) \quad (\text{A.15})$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c) \quad (\text{A.16})$$

V_{b0} , V_{b1} , V_{b2} , V_{c0} , V_{c1} , ve V_{c2} bileşenleri istenirse (A.16) eşitliğinden kolayca bulunur

Diğer taraftan, (A.16) eşitliği dengesiz fazörlerin toplamı sıfır olduğunda, sıfır-sequence bileşenlerinin mevcut olmayacağını gösterir. Üç fazlı bir sistemde faz-faz gerilimlerinin toplamı (dengesizliğe bakılmaksızın) daima sıfır olduğundan, hat geriliminde sıfır-sequence bileşenleri asla bulunmaz. Faz-nötr gerilimleri sıfır-sequence bileşenlerini ihtiva edebileceğinden, bu gerilim fazörlerinin üçünün toplamının sıfır olması önemli değildir.

Yukardaki gerilimler için yazılan eşitlikler akımlar için de yazılabilir. Bunlar analitik ve grafik olarak da çözülebilir. Bu eşitlikler akımlar için aşağıdaki gibi özetlenebilir.

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \quad (\text{A.17})$$

$$I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} \quad (\text{A.18})$$

$$I_c = aI_{a1} + a^2I_{a2} + I_{a0} \quad (\text{A.19})$$

$$I_{a0} = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) \quad (\text{A.20})$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c) \quad (\text{A.21})$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c) \quad (\text{A.22})$$

3 fazlı bir sistemde hat akımlarının toplamı nötr iletkeninde dönen I_n akımına eşittir. Böylece;

$$I_a + I_b + I_c = I_n \quad (\text{A.23})$$

(A.20), (A.21) ve (A.22) eşitlikleri karşılaştırılırsa;

$$I_n = 3I_{a0} \quad (\text{A.24})$$

elde edilir. Nötr iletkenli üç fazlı sistemlerde simetrisiz yükleme durumlarında nötr iletkenli akımı her faza ait sıfır-sequence akımlarının toplamına eşittir. Yani $3 I_{a0} = I_{a0} + I_{b0} + I_{c0}$ 'dır. ($I_{a0} = I_{b0} = I_{c0}$ olduğundan) Nötr iletkeni bulunmayan üç fazlı sistemlerde hat akımları sıfır-sequence bileşen akımlarını taşımazlar. ($I_n=0$ 'dır) Mesela Δ bağlı bir yük, nötr hattı olmadığına sıfır-sequence bileşen akımlarını ihtiva etmez.

ÖZGEÇMİŞ

Mitat Güllüdereli, 01.09.1974 de Söke' de doğdu. İlk, orta eğitimini Bursa'da tamamladı. 1992 yılında Bursa Demirtaş Paşa Teknik Lisesi, Elektrik Bölümünden mezun oldu. 1993 yılında başladığı EGE Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Endüstriyel Elektronik Bölümünü 1995 yılında bitirdi. 1995 yılında Sakarya Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümüne girdi ve 1999 yılında mezun oldu. 1999 – 2000 yılları arasında Süttaş Şti.'nde işletme bakım mühendisi olarak çalıştı. 2001 yılında başladığı Siemens Sanayi ve Tic. A.Ş 'de, çeşitli şantiyelerde Şantiye Şefi olarak çalıştı. Halen Siemens Şirketinde Şantiye Şefi ve İşletme Müdürü olarak görev yapmaktadır.