

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ İLETİM HATLARININ NÜMERİK
MESAFE RÖLELERİ İLE KORUNMASI

Elektrik Mühendisi Ender GENÇAYDIN

F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Tesisleri Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Recep YUMURTACI

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Korumanın Önemi	1
1.2 Koruma Röleleri	2
1.2.1 Rölenin Tanımı ve Temel Kavramlar	2
1.2.2 Yapısına Göre Röleler	3
1.2.2.1 Elektromekanik Röleler	3
1.2.2.2 Statik Röleler	4
1.2.2.3 Nümerik (Sayısal) Röleler	5
1.3 Mesafe Korumaya Giriş	8
1.3.1 Uygulama Alanı	8
1.3.2 Teknik Gelişmeler	9
1.3.3 Nümerik Mesafe Koruması	10
1.3.4 Mesafe Koruma ile İlgili Tanımlamalar	10
2. MESAFE KORUMA	15
2.1 Mesafe Korumasının Temelleri	15
2.1.1 Kavram	15
2.1.2 Röle Empedansı	16
2.1.3 Empedans Diyagramı	17
2.1.4 Mesafe Ölçümü	19
2.1.5 Yön Ölçümü	25
2.1.6 Başlatma (Arıza Algılanması)	27
2.1.6.1 Aşırı Akımla Başlatma	27
2.1.6.2 Düşük Empedansla Başlatma ($U <$ ve $I >$)	29
2.1.6.3 Etkili Topraklama Sistemi	30
2.1.6.4 İzole (Ayrık) veya Peterson Bobiniyle Topraklanmış Sistemler	31
2.1.6.5 $U/I/\phi$ ile Başlatma (Açıya Bağlı Düşük Empedans Başlatma)	32
2.1.6.6 Empedansla Başlatma	33
2.1.6.7 Başlatma Karakteristiğinin Modeli	37
2.1.7 Mesafe Bölgeleri	39

2.1.8	Değiştirmeli ve Değiştirmesiz Mesafe Koruması.....	43
2.1.9	Haberleştirme Kanallarıyla Mesafe Koruması	44
2.1.9.1	Kademe Hızlandırmalı Müsaadeli Düşük Menzil Karşıdan Açtırma (Permissive Underreaching Transfer Trip, PUTT).....	46
2.1.9.2	Müsaadeli Aşırı Menzil Karşıdan Açtırma (Permissive Overreaching Transfer Trip, POTT)	47
2.1.9.3	Yönlü Kilitleme Düzeni.....	48
2.1.10	Güç Salınımı Blokajı, Güç salınımı açtırması	49
2.1.10.1	Statik Kararlılık	50
2.1.10.2	Dinamik Kararlılık.....	51
2.1.10.3	Güç Salınım Blokajı	52
2.1.11	Otomatik Tekrar Kapamalı Mesafe Koruması	55
2.1.11.1	Üç Fazlı Otomatik Tekrar Kapama	55
2.1.11.2	Gecikmeli Otomatik Tekrar Kapama.....	56
2.1.11.3	Kablo Bölümlü Havai Hatlarda Otomatik Tekrar Kapama	56
2.1.11.4	Tek Fazlı Otomatik Tekrar Kapama	57
2.1.12	Arıza Mesafesinin Belirlenmesi	61
2.1.13	Kademe Grafiği	64
2.1.13.1	Radyal Fiderler	64
2.1.13.2	Ring Fiderler	67
2.1.13.3	Dallı Radyal Şebeke	67
2.1.13.4	Paralel Fiderler	68
2.1.13.5	Aradaki Beslemeler	70
2.1.13.6	Ağ Şebekelerde Mesafe Bölgelerinin Kademelendirilmesi	72
2.2	Nümerik Mesafe Ölçümü	75
2.2.1	Arıza Çevriminin Tanımı.....	75
2.2.1.1	Kaynak Empedansı	77
2.2.1.2	Kısa Devre Empedansı	78
2.2.1.3	Arıza Çevrimleri	81
2.2.2	Çevrim Empedansının Belirlenmesi	81
2.2.3	Nümerik Olarak Empedans Hesaplanması	84
2.2.3.1	Hesaplama süreci.....	84
2.2.3.2	Empedans Hesaplaması İçin Denklemler	84
2.2.3.3	Genel Olarak Uygulanabilen Çevrim Empedansı	85
2.2.3.4	Hesaplama süreci.....	86
2.2.3.5	Hesaplama örneği:	91
2.3	Nümerik Yön Belirlenmesi.....	93
2.3.1	Arızasız Faz Gerilimleriyle Yön Belirlenmesi Yöntemi (Çapraz Polarizasyon) ..	93
2.3.2	Empedans Düzleminde Yön Karakteristiği	96
2.3.3	Arızasız Çevrim Gerilimlerinin Seçimi	99
2.3.4	Yük Transferinin Etkisi	101
2.3.5	Gerilim Hafızalarının Uygulanması	104
2.4	Nümerik Teknolojili Dairesel Karakteristikler	105
2.4.1	Admitans Dairesi	105
2.4.2	Polarize Edilmiş (Kutuplanmış) Admitans Karakteristikleri.....	107
2.4.3	Polarize Edilmiş (Kutuplanmış) Admitans Dairelerine Yükün Etkisi.....	110
2.4.4	Gerilim Hafızalı Admitans Dairesi.....	113
2.5	Mesafe Ölçümüne Etki Eden Faktörler	115
2.5.1	Arıza Direnci	115
2.5.1.1	Arıza Noktasında Arıza Direnci ile Faz-Faz Arızası.....	115
2.5.1.2	Arıza Noktasında Arıza Direnci ile Tek Fazlı Toprak Arızası.....	116

2.5.1.3	Konvansiyonel Ölçüm Teknikleri ile Karşılaştırma	117
2.5.1.4	Arıza Direncinin İki Tarafından Beslemenin Etkisi	119
2.5.2	Yük Transferinin Hat Üzerindeki Etkisi	122
2.5.3	Arıza Dirençli İki Faz Toprak Arızası	126
2.5.4	Arklı Kısa Devre	129
2.5.4.1	Ark Direnci	130
2.5.4.2	Çift Taraflı Beslemeye Arkın Etkisi	132
2.5.4.3	Direk Temel Direnci	133
2.5.5	Aradaki Beslemelerin Etkisi	137
2.5.5.1	Topraklanmış Transformatörlerin Etkisi	137
2.5.6	Paralel Hatlar	141
2.5.6.1	Mesafe Ölçümünde Sıfır Bileşen Sistem Kuplajının Etkisi	144
2.5.6.2	Paralel Hat Kompanzasyonu	151
2.5.6.3	Toprak Akımı Dengesi	153
2.5.6.4	Paralel Hat Kompanzasyonun Uygulanması	155
3.	7SA NÜMERİK MESAFE KORUMA RÖLESİ	157
3.1	Genel Çalışması	157
3.2	Uygulama Kapsamı	160
3.3	Özellikler	163
3.4	Arıza Başlatma	166
3.4.1	Aşırı Akım Başlatma	166
3.4.2	Gerilime Bağlı Akım Başlatma U/I	167
3.4.3	Gerilim ve Açığa Bağlı Akım Başlatma U/I/φ	167
3.5	Empedansların Hesaplanması	169
3.6	Poligonal Karakteristikli Mesafe Koruma	171
3.7	Yön Tespiti	172
3.8	Başlatma ve Poligonlara Atama	173
3.9	Kademe Koordinasyon Planı	174
3.10	Direnç Toleransı	174
3.11	Mesafe Korumanın Açma Mantığı	175
3.12	İletişim Topolojisi	177
3.13	Mesafe Koruma İçin Telekoruma	178
3.14	Otomatik Tekrar Kapama	180
3.15	Arıza Yeri Tespiti	181
3.16	Koruma Rölesinin Bağlantı Şeması ve Genel Bilgiler	182
4.	TÜRKİYEDEKİ TEİAŞ ŞALT MERKEZLERİ ve KORUMA DÜZENLERİ ..	184
4.1	Genel	184
4.2	380-154 kV Şalt Merkezleri	185
4.3	Genel Havai Hat Koruması	193
4.4	380 kV Havai Hat Koruması	193
4.5	154 kV Havai Hat Koruması	219
4.6	34,5 kV Havai Hatların Korunması	234
4.7	Kesici Arıza Koruması ve Bara Koruma	234
4.8	Enerji İletim Hatlarında Yaygın Haberleşme Yöntemleri	237
4.9	Mesafe Koruma Rölelerinin Telekoruma Düzenlerine Göre Çalışma Örnekleri ..	241
4.9.1	Yönlü Kilitleme Düzeni	241
4.9.2	Müsaadeli Aşırı Menzil Karşıdan Açtırma Düzeni	242

5.	SAYISAL UYGULAMA	243
5.1	Genel Bilgiler	243
5.2	Sistem Bilgileri	244
5.3	Mesafe Koruma Rölesi Kademe Ayarları	246
5.4	Uygulamanın Bilgisayar Ortamında Analizi	251
5.5	SINCAL Şebeke Planlama Programı	268
5.6	Akım Trafosu Seçim Analizi	270
	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	278
	KAYNAKLAR.....	280
	EKLER	282
	Ek 1 7SA611 Mesafe Koruma Rölesine Ait Ayarların DIGSI Programında Hazırlanıp Koruma Rölesinin İlgili Adreslerine Girilmiş Hali	283
	ÖZGEÇMİŞ.....	292

SİMGE LİSTESİ

U	Gerilim
I	Akım
Z	Empedans
R	Direnç
X	Reaktans
P	Güç
U_{SC}	Kısa devre gerilim
I_{SC}	Kısa devre akımı
Z_{SC}	Kısa devre empedansı
ϕ_{SC}	Kısa devre açısı
Z_R	Koruma rölesi tarafından ölçülen empedans
U_R	Koruma rölesi tarafından ölçülen gerilim
R_F	Arıza direnci
R_{ARK}	Ark direnci
U_{ARK}	Ark gerilimi
Z_L	Hat empedansı
R_L	Hat direnci
X_L	Hat reaktansı
Z_S	Kaynak empedansı
E	Şebeke e.m.k
ν	Güç transfer açısı
GF	Derecelendirme faktörü
U_P	Polarize gerilim
δ	Röle konumunda ölçülen gerilim ile kaynak gerilimi arasındaki açı kayması
ϕ_L	Hat açısı
k_E	Kompanzasyon faktörü
ZA	Mesafe koruma rölesi başlatma bölgesi
Z1	Mesafe koruma bölgesi 1
Z2	Mesafe koruma bölgesi 2
Z3	Mesafe koruma bölgesi 3
Z1B	Aşırı menzil bölgesi
Z_P	Güç salınım blokajı

KISALTMA LİSTESİ

CIRGE	International Council on Large Electric Systems
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
AT	Akım Transformatörü
GT	Gerilim Transformatörü
OTK	Otomatik Tekrar Kapama
PLC	Power Line Carrier

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Geçmişten günümüze mesafe koruma rölelerinin gelişimi.....	8
Şekil 2.1a Mesafe koruması prensibi, arıza empedansının ölçülmesi.....	15
Şekil 2.1b Mesafe koruma prensibi, derecelendirilmiş mesafe bölgeleri.....	16
Şekil 2.2 Yük ve kısa-devre empedansı.....	19
Şekil 2.3a Köprü doğrultuculu karşılaştırıcı.....	20
Şekil 2.3b Empedans düzlemindeki daire	20
Şekil 2.4 Elektromekanik korumanın açma karakteristikleri (Alman üreticiler)	21
Şekil 2.5a Endüksiyon disk rölesi	21
Şekil 2.5b MHO-karakteristiği (admitans dairesi).	22
Şekil 2.6 Birleştirilmiş daire ve düz çizgi karakteristikleri	23
Şekil 2.7 Polarize admitans dairesi.....	23
Şekil 2.8a Çokgen açma karakteristiği (dörtgen)	24
Şekil 2.8b Faz karşılaştırma mesafe ölçümü (çakışma lojigi).....	25
Şekil 2.9a Yön ölçümü: akım / gerilim diyagramı.....	26
Şekil 2.9b Yön ölçümü: empedans düzlemi	26
Şekil 2.10 Aşırı akım başlatıcısının erişimi (faz arızası için).....	28
Şekil 2.12 Düşük-empedansla başlatma.	30
Şekil 2.13 Eşit olmayan kaynak ve topraklama koşullarındaki bir etkili topraklama sisteminde kısa devre.	31
Şekil 2.14 Çift-faz toprak arızası (ülke çapında arıza) akım dağılımı.....	32
Şekil 2.15 U/I/ ϕ -ile başlama	33
Şekil 2.16 Konvansiyonel teknolojiye empedansla başlatma.....	34
Şekil 2.17 Konvansiyonel koruma, faz seçici arıza koruması için başlatma karakteristiğinin alanının sınırlanması.	35
Şekil 2.18 Optimize edilmiş başlatma karakteristiği.....	36
Şekil 2.19 Empedans düzleminde U-I- ϕ ile başlatmanın modeli.....	38
Şekil 2.20a Kaydırılmış empedans dairesi.....	40
Şekil 2.20b Empedans düzleminde empedans bölgelerinin modellenmesi, (konvansiyonel rölenin dairesel karakteristiği, nümerik rölenin dörtgen karakteristiği).	41
Şekil 2.21 Nümerik mesafe korumasının bölgeleri (örnek olarak şekli değiştirilmiş dörtgen).....	43
Şekil 2.22a Niçin haberleşme kanallarıyla mesafe koruması ?	45
Şekil 2.22b Koruma verisi haberleşme sistemi	45
Şekil 2.22c Veri haberleşmesiyle mesafe koruması, operasyon zamanları.....	45
Şekil 2.23 Kademe hızlandırmalı müsaadeli düşük menzil karşıdan açtırma.	47
Şekil 2.24 Müsaadeli aşırı menzil karşıdan açtırma	48
Şekil 2.25 Yönlü kilitleme düzeni.	49
Şekil 2.26a Bir iletim sisteminde güç salınım koşulu, gerilim diyagramı.....	50
Şekil 2.26b Bir iletim sisteminde güç salınım süreci, iletim hattı, empedans diyagramı.....	51
Şekil 2.27a Dinamik sistem kararlılığı, eşit alan kriteri	52
Şekil 2.27b Empedans düzleminde güç salınım vektörünün izlediği yol.....	53
Şekil 2.28 OTK kontrollü aşırı menzil bölgesi.....	56
Şekil 2.29 Tek fazlı OTK, endüklenen kapasitif ve endüktif akımlar	58
Şekil 2.30 Yük empedanslarının tek fazlı ölü zaman sırasında (L1 fazı açık) sınır aşımı	59
Şekil 2.31a Empedans rölesi tarafından görülen 6 çevrim empedansı, tek fazlı arıza L1-T	59
Şekil 2.31b Lojik (şema)	60
Şekil 2.31 Mesafe koruması, açtırma lojigi.....	60
Şekil 2.32a Elektromekanik röle	61
Şekil 2.32b Aritmetik işlemcili statik röle.....	62
Şekil 2.33 Arıza yerine olan mesafenin hesaplanması için veri penceresinin yerleştirilmesi ..	63

Şekil 2.34 Dağıtım sistemlerinde arıza yerine olan mesafe ölçümü, muhtemel arıza yerleri. .	64
Şekil 2.35 Radyal bir fiderin kademe grafiği.	65
Şekil 2.36 Bölge sınırı yakınında açtırma zamanının yavaş yavaş kaybolması	66
Şekil 2.37 Bir mesafe bölgesinin geri yönde kademelendirilmesi.	66
Şekil 2.38 Zıt uca karşı derecelendirmeli halka (ring) fider.....	67
Şekil 2.39 Bir dallı radyal sistemde kademelendirme.	68
Şekil 2.40 Paralel fiderler için kademelendirme.	69
Şekil 2.41 Mesafe ölçümünde ortadaki beslemelerin etkisi	72
Şekil 2.42 Şebeke koşullarına bağlı bölge erişimi.....	74
Şekil 2.43 Arıza çevriminin eşdeğer devresi	75
Şekil 2.44 Akımlar için işaret ilişkisini gösteren örnek (tek fazlı toprak arızası).	76
Şekil 2.45 Akımlar röle konumunda kısa devre gücünün tanımı.	77
Şekil 2.46 Genel olarak uygulanabilen kısa devre çevrimi.	85
Şekil 2.47 Topraksız iki-fazlı kısa devre , arıza çevrimi.	88
Şekil 2.48 Üç-fazlı kısa devre arıza çevrimi.....	89
Şekil 2.49 Tek-fazlı toprak-arızası, arıza çevrimi.	90
Şekil 2.50a Eşdeğer devre	96
Şekil 2.50b Gerilim diyagramı	96
Şekil 2.50 Arızasız çevrim gerilimleriyle yön belirlemesi.....	96
Şekil 2.51 Empedans diyagramı	97
Şekil 2.52 İleri doğrultudaki arızalar için empedans düzlemindeki yön karakteristiği	98
Şekil 2.53 Ters yöndeki arızalar için empedans düzlemindeki yön karakteristiği.	99
Şekil 2.54 Yön belirlemesi için referans gerilimi.....	100
Şekil 2.55 Yük akışlı toprak-arızası için gerilim fazör diyagramı	101
Şekil 2.56 Yön karakteristiğinin pozisyonuna yük transferinin etkisi	101
Şekil 2.57 ÇYG koruması için optimize edilmiş yön karakteristiği (7SA513).....	102
Şekil 2.58 Uzun iletim hatlarında arızasız çevrim gerilimleriyle yön saptaması	103
Şekil 2.59 Kendiliğinden polarize edilmiş admitans-karakteristiği, gerilim ve empedans diagramı	107
Şekil 2.60 Polarize olmuş admitans-dairesi, ileri yöndeki arıza empedans ve gerilim diagramı.....	109
Şekil 2.61 Polarize edilmiş admitans-dairesi, ters yöndeki arıza empedans ve gerilim diagramı.	110
Şekil 2.62 Yük transferinin polarize edilmiş admitans-dairesinin pozisyonu üzerindeki etkisi (arızasız gerilimle tam polarizasyon)	112
Şekil 2.63 Uzun iletim hatlarında polarize edilmiş admitans-dairesi.....	114
Şekil 2.64 Arıza dirençli iki-fazlı kısa-devre (tek-uçlu besleme).....	115
Şekil 2.65 Arıza dirençli tek-fazlı toprak-arızası (tek-uçlu besleme).....	116
Şekil 2.66 Konvansiyonel mesafe ölçümü, kablo sistemlerindeki arıza dirençli arızaların ölçümü.....	118
Şekil 2.67a Arıza dirençli kısa-devre ve iki taraftan besleme – eşdeğer devre	119
Şekil 2.67b Arıza dirençli ve iki uçtan beslemeli kısa-devre empedans diyagramı.	120
Şekil 2.68 Arıza konumuna bağlı görünür arıza direnci (R_F direncinin kısa-devre akımı üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir).	121
Şekil 2.69 Çokgen (dörtgen) karakteristiğin yüksek arıza direnç kapsamı.	121
Şekil 2.70 Arıza direncinin optimize edilmiş kompanzasyonu (dengelenmesi)	122
Şekil 2.71 Arıza dirençli arızalar için yük akışının mesafe ölçümü üzerindeki etkisi.	123
Şekil 2.72 Kısa havai hatta yük akışıyla mesafe ölçümü.	124
Şekil 2.73 Yük transferiyle birlikte, arıza dirençli arızalarda mesafe ölçüm hatası.....	124
Şekil 2.74 Çalışma şekli, faz-toprak arızaları sırasında yük kompanzasyonu.....	125

Şekil 2.75 Arıza noktasında arıza dirençli faz-faz kısa-devresi, arıza konumuna bağlı olarak, ölçülen çevrim empedansları	128
Şekil 2.76 Faz-faz-T kısa devresi sırasında, toprak yolu üzerindeki arıza direncine ve farklı yük koşullarına bağlı çevrim empedansları	129
Şekil 2.77 Kısa-devre akımı ve ark gerilimi.....	131
Şekil 2.78a Çift-terafı beslemeyle ark direnci, eşdeğer devre.....	132
Şekil 2.78b Ark-dirençli ve çift-terafı beslemeli kısa-devre, mesafe ölçümü üzerindeki etkisi.....	133
Şekil 2.79 Ark taraftan beslemede mesafe rölesi tarafından “görülen” etkin ark direnci örneği.....	135
Şekil 2.80 Toprak-iletkenli havai hatlarda ortaya çıkan arıza direnci	136
Şekil 2.81 Arada beslemesi olan hat.....	137
Şekil 2.82 Sıfır bileşen sisteminde beslemeden dolayı oluşan mesafe ölçüm hatası	138
Şekil 2.83 Sıfır-bileşen ara beslemeli mesafe ölçümü.....	139
Şekil 2.84 Havai hatların sıfır-bileşen sistem kuplajı (birleşmesi).....	142
Şekil 2.85a Paralel havai hatlar, sıfır bileşen sistem gerilimleri	144
Şekil 2.85b Bir çift devre hattın sıfır bileşen sistem empedansları	144
Şekil 2.86 Sıfır bileşen empedansları Z_{0L} ve Z_{0M} ’nin ölçerek belirlenmesi	145
Şekil 2.87 Paralel hatlarda mesafe ölçümü.....	146
Şekil 2.88 Çift devreli bir hatta toprak arızası (tek uçlu besleme)	148
Şekil 2.89 Bir çift devre hattı için tipik empedans bilgileri.....	149
Şekil 2.90 Tek-uçtan beslemeli bir çift devre hatta mesafe ölçüm hatası	150
Şekil 2.91 Bir çift-devre hatta toprak arızası,çift taraftan beslemede mesafe ölçüm hatası... ..	151
Şekil 2.92 Paralel hatlarda mesafe ölçümü, şalt durumuna bağımlılık, empedansın ölçülmesi.	152
Şekil 2.93 Çift devreli havai hatta mesafe koruması, paralel hat kompanzasyonunun çalışması.	155
Şekil 3.1 7SA Sayısal mesafe rölesinin donanım yapısı	158
Şekil 3.2 7SA Sayısal mesafe rölesi.	160
Şekil 3.3 U/I karakteristiği.	167
Şekil 3.4 U/I/φ karakteristiği	169
Şekil 3.5 Bir faz-faz kısa-devre döngüsü	170
Şekil 3.6 Bir faz-toprak kısa-devre döngüsü.	170
Şekil 3.7 Poligonal karakteristik	171
Şekil 3.8 Dik faz gerilimlerle yön tespiti.....	172
Şekil 3.9 R-X koordinat ekseninde yön karakteristiği.....	173
Şekil 3.10 Bir kademe için müsaade mantığı (Z1 için örnek).....	174
Şekil 3.11 Birinci kademe için açma mantığı (Z1).....	176
Şekil 3.12 İkinci kademe için açma mantığı (Z2)	176
Şekil 3.13 Üçüncü kademe için açma mantığı (Z3)	177
Şekil 3.14 Dördüncü ve beşinci kademe için açma mantığı (Z4,Z5)	177
Şekil 3.15 İletişim bağlantıları için örnekler.	178
Şekil 3.16 7SA mesafe koruma rölesi bağlantı şeması.....	183
Şekil 4.1 Santralden tüketiciye enerjinin iletimi ve dağıtımı	185
Şekil 4.2 380 kV Atışalanı açık şalt merkezi.....	186
Şekil 4.3 380 kV Atışalanı açık şalt merkezi.....	187
Şekil 4.4 380 kV kumanda panosu	188
Şekil 4.5 34,5 kV kumanda panosu	189
Şekil 4.6 380 kV röle panosu	190
Şekil 4.7 154 kV röle panosu	191

Şekil 4.8 34,5 kV röle panosu	192
Şekil 4.9 Tek-hat şeması.....	200
Şekil 4.10 Akım trafosu bağlantısı	201
Şekil 4.11 Gerilim trafosu bağlantısı.....	202
Şekil 4.12 Ana mesafe koruma rölesi-1 akım-gerilim bağlantısı	203
Şekil 4.13 Ana mesafe koruma rölesi-2 akım-gerilim bağlantısı	204
Şekil 4.14 Yönlü toprak arıza koruma rölesi akım-gerilim bağlantısı	205
Şekil 4.15 Aşırı gerilim koruma rölesi gerilim bağlantısı	206
Şekil 4.16 Ana mesafe koruma rölesi-1 kuranportör (PLC) bağlantısı	207
Şekil 4.17 Ana mesafe koruma rölesi-1 açma-ihbar çıkışları.....	208
Şekil 4.18 Aşırı gerilim koruma rölesi açma-ihbar çıkışları	209
Şekil 4.19 Yönlü toprak arıza koruma rölesi açma-ihbar çıkışları	210
Şekil 4.20 Ana mesafe koruma rölesi-2 kuranportör (PLC) bağlantısı	211
Şekil 4.21 Ana mesafe koruma rölesi-2 açma-ihbar çıkışları.....	212
Şekil 4.22 Ana mesafe koruma rölesi-2 kesici bağlantısı.....	213
Şekil 4.23 Ana mesafe koruma röleleri tekrar kapama blokajı	214
Şekil 4.24 Kesici arıza-bara koruma bağlantıları	215
Şekil 4.25 Kuranportörler (PLC1-PLC2) bağlantıları	216
Şekil 4.26 Kesici 1 nolu açma bobini bağlantıları.....	217
Şekil 4.27 Kesici 2 nolu açma bobini bağlantıları.....	218
Şekil 4.28 Tek-hat şeması.....	224
Şekil 4.29 Akım trafosu bağlantısı	225
Şekil 4.30 Gerilim trafosu bağlantısı.....	226
Şekil 4.31 Mesafe koruma rölesi akım-gerilim bağlantısı.....	227
Şekil 4.32 Mesafe koruma rölesi kuranportör (HF,PLC) bağlantısı.....	228
Şekil 4.33 Mesafe koruma rölesi açma-ihbar çıkışları	229
Şekil 4.34 Mesafe koruma rölesi ihbar çıkışları	230
Şekil 4.35 Kesici arıza-bara koruma bağlantıları	231
Şekil 4.36 Kesiciden alınan arıza sinyalleri	232
Şekil 4.37 Kesici açma kapama kumanda devresi bağlantıları	233
Şekil 4.38 7SS522 Bara koruma rölesi.....	235
Şekil 4.39 Bara koruma çalışma prensibi	236
Şekil 4.40 7SS525 bay-unit bara koruma rölesi.	237
Şekil 4.41 Bir kuranportör sisteminin EİH'na bağlanması.....	238
Şekil 4.42 Sistemin prensip şeması	239
Şekil 4.43 Yönlü kilitleme düzeni örneği.....	241
Şekil 4.44 Müsaadeli aşırı menzil karşıdan açtırma örneği.....	242
Şekil 5.1 Korunacak sistemin tek hat şeması	243
Şekil 5.2 Arıza durumu 1	256
Şekil 5.3 Arıza durumu 2.....	258
Şekil 5.4 Arıza durumu 3.....	260
Şekil 5.5 Arıza durumu 4.....	262
Şekil 5.6 Arıza durumu 5.....	264
Şekil 5.7 Arıza durumu 6.....	266
Şekil 5.8 Sincal şebeke planlama programı.....	269
Şekil 5.9 Sincal şebeke planlama programı.....	270
Şekil 5.10 DC bileşenin etkisi.	271

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Tek kutuplu otomatik tekrar kapama, kabul edilebilir hat uzunlukları	57
Çizelge 2.2 Arıza çevriminin karakteristik parametreleri	76
Çizelge 2.3 X/R oranları ve sistem zaman sabitleri.....	77
Çizelge 2.4 Havai hat ve kabloların tipik empedans değerleri	80
Çizelge 2.5 Mesafe ölçümü için kısa-devre tipleri ve arıza çevrimleri	82
Çizelge 2.6 Mesafe ölçümü ve yön saptaması için ölçülen değerler.....	100
Çizelge 5.1 Hat ölçü trafoları bilgileri.....	244
Çizelge 5.4 Kademe ayar değerleri.....	249
Çizelge 5.5 Denkleştirme ayar değerleri	250

ÖNSÖZ

Bu tez yaklaşık iki senelik bir çalışmanın ürünüdür. Öncelikle bu süreçte bana lisans eğitiminden bu yana her konuda destek olan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Recep Yumurtacı'ya teşekkür ederim. Bu tezin oluşumunda katkısını gözardı edemeyeceğim çalıştığım kurum olan Siemens firması ve bölümüm Enerji İletimi Dağıtım Mühendislik yöneticisi Selim Çokuğraş ve çalıştığım birim olan Yüksek Gerilim grubu yöneticisi başta Cem Tolga Durak olmak üzere, çalışma arkadaşım Serkan Özkardeş'e ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim. TEİAŞ İstanbul 1. bölge röle baş mühendisi Asker Yeşilyurt'a teşekkür ederim. Bana birçok konuda, yoğun programına rağmen desteğini esirgemeyen arkadaşım T. Deniz Oktay'a teşekkür ederim. Her zaman motive edici fikirleriyle desteği için Arzu Şenol'a teşekkür ederim. Tabi en son olarak da bu günlere gelmemde çok büyük katkısı olan aileme çok teşekkür ederim.

ÖZET

Ülkemizdeki elektrik enerjisi ihtiyacı, sanayi, teknoloji alanındaki gelişmeler ve artan nüfus ile her geçen gün hızla artmaktadır. Bu nedenle elektrik enerjisinin üretilmesinden , şehirlere iletilmesine kadar olan süreçte sürekliliğin sağlanması çok önemlidir. Sistemin en önemli parçası olan enerji iletim hatları ve bu hatları koruyan mesafe koruma rölelerine bu konuda çok önemli görevler düşmektedir. Geçmiş yıllarda kullanılan elektromekanik, statik (elektronik) rölelerin yerine artık hızlı, seçici, güvenilir, kullanımı kolay ve en önemlisi tamamen mikroişlemci desteği ile sayısal hesaplar yapabilen nümerik mesafe koruma röleleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada; nümerik (sayısal) mesafe koruması ve nümerik röleler ayrıntıları ile incelenmiş yeri geldiğinde eski elektromekanik-statik röleler ile karşılaştırmalar yapılmıştır. TEİAŞ İstanbul 1. Bölgeye bağlı Atışalanı ve Davutpaşa şalt merkezlerinde incelemeler yapılmış, şalt merkezleri ve mesafe koruma hakkında bilgiler alınmıştır. TEİAŞ'dan sağlanan bilgiler ve beş yılı aşkın süredir çalışmakta olduğum Siemens firmasında edindiğim, iletim sistemleri ve iletim sistemlerinin korunması konusundaki bilgi birikimim ve yaptığım araştırmalar doğrultusunda Türkiye'de bulunan şalt merkezleri ve enerji iletim hatlarının mesafe röleleri ile korunması konusu detayları ile incelenmiştir. Sayısal uygulama bölümünde, iletim hatlarının korunmasında yaygın olarak kullanılan bir nümerik mesafe rölesi incelenmiş ve İstanbul'da Beylikdüzü-Bahçeşehir-Habipler arasındaki 154 kV nominal gerilimli enerji iletim hattının bu röle ile korunması için gerekli ayar değerleri hesaplanmıştır. Siemens firması tarafından geliştirilen SINCAL paket programı kullanılarak bilgisayar ortamında iletim hattı modellenmiş, hat üzerindeki çeşitli arıza durumları için sistemin üç fazlı simülasyonu gerçekleştirilmiş, nümerik mesafe rölelerinin her arıza için davranışı incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Mesafe koruma, nümerik mesafe koruma rölesi, enerji iletim hatları, dijital mesafe koruma rölesi.

ABSTRACT

The electrical energy demand of our country is rising very fast every day due to the developments in industry, technology and growing population. Therefore it is very important to sustain continuity within the process beginning with electrical power generation until its transmission to urban areas. In this context power transmission lines, being the most important part of the system, and distance relays that protect these lines have very important responsibilities. Instead of the electromechanical or static (analog technology) relays that were being used in the past years, nowadays fast, selective, reliable, user-friendly and most importantly completely microprocessor based numerical distance protection relays are being used which are capable of making numerical calculations.

In this work; numerical (digital) distance protection and numerical relays have been inspected thoroughly; comparisons have been made with the old electromechanical-static relays where necessary. Investigations in Atışalanı and Davutpaşa Switchgear Substations belonging to Turkish Electricity Transmission Company First Region in Istanbul have been made, and information has been gathered about the switchgear and distance protection. Taking into consideration the information from electrical transmission utility and the experience that I have gathered in the Siemens Company for which I have been working more than five years, the switchgear substations in Turkey and distance protection of power transmission lines has been examined in details. In the numerical applications section, a numerical distance protection relay which is widely used for protecting transmission lines has been examined and necessary setting values of this relay for the protection of the power transmission line with 154 kV rated voltage between Beylikdüzü-Bahçeşehir-Habipler in İstanbul have been calculated. The transmission line has been modeled in computer with SINCAL packet software developed by Siemens Company; three-phase simulation of the system for various fault cases on the line has been realized; behaviour of the numerical distance relays for each fault has been investigated.

Keywords: Distance protection, numerical distance protection relay, power transmission lines, digital distance protection relay.

1. GİRİŞ

Ülkemizdeki elektrik enerjisi ihtiyacı, hidroelektrik ve termik santrallerden karşılanmaktadır. Fakat ülkemizin coğrafi yapısı ve kaynaklarının konumu itibarı ile üretilen elektrik enerjisi enerji iletim hatlarıyla uzun yollar katederek şehirlere ulaşmak durumundadır. Enerji iletim hatlarının kısa devrelere karşı korunmasında mesafe koruma rölelerinden yararlanılır. 1920’li yıllardan günümüze elektromekanik , statik ve son olarak mikroişlemci desteği ile nümerik (sayısal) röleler kullanılmaktadır. Bu çalışmada ilk olarak birinci bölümde röleler genel olarak incelenmiş, elektromekanik, statik, nümerik röleler arasındaki farklar açıklanmış ve mesafe koruma ile ilgili temel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde nümerik (sayısal) mesafe koruma ile ilgili kavramlar ayrıntıları ile açıklanmış, nümerik mesafe ölçümü, nümerik yön ölçümü, arıza empedansının hesaplanması, dairesel karakteristikler, mesafe ölçümüne etki eden faktörler incelenmiştir. Üçüncü bölümde 7SA6 nümerik mesafe koruma rölesi incelenmiştir. Dördüncü bölümde TEİAŞ İstanbul 1. bölgeye ait Atışalanı ve Davutpaşa şalt merkezlerinde yapılan incelemeler sonucunda edinen bilgiler, konu ile ilgili yapılan araştırmalar ve Siemens firmasındaki mesleki tecrübelerim doğrultusunda şalt merkezleri ve koruma düzenleri hakkında bilgiler verilmiştir. Türkiye’de 380 kV, 154 kV , 34,5 kV havai hat korumasının nasıl yapıldığına dair ayrı ayrı projeler üzerinden açıklamalar yapılmıştır. Beşinci bölümde 7SA6 nümerik mesafe koruma rölesi için 154 kV bir havai hat modelinde ayar hesapları yapılmıştır. Bu ayar hesapları SINCAL şebeke planlama programına girilmiş , program üzerinde hat modellenmiş ve hattın farklı noktalarında arızalar oluşturularak koruma rölesinin davranışı incelenmiştir. Ayrıca akım trafosunun kısa devre anındaki davranışı da CTDIM programında incelenmiş sonuçla ile ilgili ayrıntılı açıklamalar yapılmıştır. Son olarak elde edilen bulgular, sonuçlar ve öneriler bölümünde açıklanmıştır.

1.1 Korumanın Önemi

Elektrik işletme elemanları, tesisleri ve şebekeler, elektrik enerjisinin olanaklar nisbetinde kesintisiz üretilebileceği, iletilebileceği ve dağıtılabileceği şekilde yapılır ve işletilir. Bu uygun yapıma ve işleme rağmen gerek elektrik tesisleri gerekse şebekeler istenmeyen durumlarla karşı karşıya kalabilirler. Bu istenmeyen durumlar neticesinde elektrik tesislerinde ortaya çıkabilecek sorunlar tesisi ve tesise bağlı olan tüketicileri yakından etkiler. Örneğin bir elektrik şalt tesisinden gelen enerjiyle beslenen bir sanayii bölgesi o tesiste oluşan bir arıza sonucu belki birkaç saat belki de birkaç gün enerjisiz kalabilir. Bu durum hem o sanayi

bölgesinde yer alan fabrikalar hem de ülke ekonomisi açısından zararlıdır. Bu örnekten de anlaşılabilceği gibi elektrik tesislerinde koruma oldukça önemlidir. Meydana gelen arızalarda nominal işletme durumundan farklı değerler alan elektriksel büyüklükleri değerlendirip korunan elemanın zarara uğramasını önleyen düzenler elektrik koruma düzenleridir. Elektrik koruma düzenlerinin kullanımı sonucu elektrik güç sistemlerinde koruma, sürekli olarak güç sistemini gözleyerek bir hatanın varlığını saptama ve kesicilerin doğru olarak açılmasını sağlama tekniğidir. Bununla birlikte yalnız başına kesiciler, sistemdeki hatanın ortadan kaldırılmasında yeterli değildir. Bu amaçla kesiciler koruma röleleriyle donatılırlar. Koruma röleleri hatanın varlığını tesbit etmek için gereklidir ve bir hata meydana geldiği zaman bu hatayı ortadan kaldırmak için hangi kesicilerin hangi sırayla açılacağını tesbit ederler.

1.2 Koruma Röleleri

1.2.1 Rölenin Tanımı ve Temel Kavramlar

Röleler, giriş uçlarındaki elektriksel büyüklüklere bağlı olarak çıkış uçlarındaki bir elektrik devresine kontakları ile kumanda eden koruma elemanlarıdır. Bir arıza durumunda rölelerin çalışma işlemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Hatanın tesbiti ve faaliyete geçme
2. Hata çeşidinin seçilmesi
3. Gecikme (öngörölmüşse)
4. Açma kumandası verme
5. Sükunet konumuna geri dönme

Bu sıraya göre hata ortaya çıktığı anda rölenin çalışmaya başlaması gerekir. Bu sırada hatayı belirleyen kriter ve ölçü büyüklükleri tesbit edilir. Bu büyüklüklerle hatalı iletkenin bulunması da mümkündür. Eğer açma işlemi için bir gecikme öngörölmüşse bu sürenin geçmesi beklenir. Daha sonrada açma kumandası verilerek güç anahtarının açması sağlanır. Açma işlemi sonunda korunan elektrik devresi enerjisiz kaldığı için röle bobinleride enerjisiz kalıp sükunet konumuna geri döner.

Kontrol edilmek istenen elektriksel büyüklüklerin, koruma rölelerine doğrudan veya bir

gerilim yada akım ölçü transformatörü üzerinden uygulanmasına göre röleler primer ve sekonder röleler olmak üzere ikiye ayrılır. Primer röleler, elektriksel büyüklüklerin röle girişlerine doğrudan doğruya uygulandığı rölelerdir. Fakat alçak gerilim sistemleri dışında tercih edilmemektedir. Elektriksel büyüklüklerin ölçü transformatörleri üzerinden uygulandığı rölelere sekonder röleler denir.

1.2.2 Yapısına Göre Röleler

1.2.2.1 Elektromekanik Röleler

Koruma röleleri genel olarak yapılarına, gerçekleştirdikleri fonksiyonlarına ve uygulama alanlarına göre sınıflandırılır. Röleler yapılaş şekillerine göre elektromekanik, yarı iletken (statik) ve sayısal (nümerik) olmak üzere üç gruba ayrılır. Ölçülen büyüklüğün rölenin demir çekirdeği üzerine etki ettiği F kuvvetini bir mekanik kuvvetle (örneğin yay kuvveti) karşılaştıran elektromekanik röleler sağlam ve ucuzdurlar ancak bu rölelerin konusunda uzmanlaşmış personel tarafından düzenli olarak bakım ve kontrollerinin yapılması gerekir. Ayrıca elektromekanik rölelerin tasarımı, elde edilen karakteristiklere, ayarlara ve yük kapasitelerine göre sınırlıdır. Buna karşın statik rölelerde, lojik kapıların yanısıra, analog devrelerde vardır ve bu röleler yardımıyla istenen çıkış karakteristiği elde edilebilir. Ayrıca statik röleler; elektromekanik (konvensiyonel) rölelerden daha küçük, hızlı ve güvenli yapılabilir. Statik röleler mekaniki darbelere karşı dayanıklı ve çok az bakım gerektirecek şekilde imal etmek mümkündür. Ayrıca bu röleler yüksek duyarlılıkları sebebiyle daha küçük güçteki akım transformatörlerinin kullanılmasına ve daha gelişmiş karakteristiklerin elde edilmesine imkan sağlar. Tam statik röleler elektromekanik rölelerin aksine, herhangi bir kontağın herhangi bir fiziksel hareketi olmaksızın elektronik elemanların yalıtım durumundan iletim durumuna geçmesiyle yada bunun tersiyle devrede bir anahtarlama etkisi meydana getirirler. Anahtarlama etkisinin meydana gelmesinde, bir kontağın açılması veya kapanması gibi fiziksel bir hareket olmadığı için statik rölelerin ölçü transformatörlerinden gelen herhangi bir hata bilgisine karşı cevap süresi elektromekanik rölelere göre çok kısadır.

Nümerik röleler ise kullanılan mikroişlemci teknolojisi sayesinde sayısal ölçme tekniklerini kullanarak diğer iki tip röleden hem daha güvenli ve emniyetli hem de kullanımı daha kolaydır. Sayısal ölçüm teknikleri daha büyük ölçüm doğruluğunu sağlar ve hatalara karşı kararlı bir şekilde korumayı gerçekleştirir. Elektromekanik koruma teknolojisinde kullanılan birçok ek (yardımcı) fonksiyonlar, dijital koruma teknolojisinde tek bir teçhizatla meydana

getirilmiştir. Böylelikle donanım yapısı elektromekanik röleden çok daha küçüktür. Elektromekanik rölenin personel tarafından sık sık kontrol edilmesi gerekirken nümerik koruma rölesinin kendi kontrolü sayesinde bakım masrafları da oldukça düşürülmektedir. Herhangi bir hata bilgisine karşı cevap süresi elektromekanik röleye göre çok daha kısadır.

Elektromekanik röleler; elektromagnetik röleler, magnetik indüksiyon röleleri, termik röle ve magnetik amplifikatörlü röleler olmak üzere dört kısımda incelenebilir.

Elektromagnetik röleler

1. Dalgıç armatürlü röleler
2. Menteşe armatürlü röleler
3. Polarize röleler
4. Terazi kollu röleler

Magnetik indüksiyon röleler

1. Disk tipi indüksiyon röleleri
2. Silindir tipi indüksiyon röleleri

olarak kendi içinde gruplara ayrılmıştır.

1.2.2.2 Statik Röleler

Koruma sistemlerinde elektromekanik rölelerden sonra kullanılmaya başlanan diğer röle tipi statik olanlardır. Statik röleler yarı iletken elektronik malzemelerden oluştuğundan bu tip rölelere elektronik röleler adı da verilmektedir. Statik rölelerin avantajları aşağıdaki gibidir:

- 1- Statik rölelerin çalışması için gereken güç yardımcı bir kaynaktan sağlanır. Bu nedenle bu tip röleler akım ve gerilim transformatörlerini daha az yüklerler.
- 2- Çalışma hızları elektromekanik rölelere göre daha yüksek olup ömürleri de daha uzundur.
- 3- Statik rölelerde hareketli parçalar bulunmadığı için mekanik eylemsizlik yoktur ve hızlı açma-kapama yapan kontaklardan dolayı meydana gelen parazitler

oluşmamaktadır. Ayrıca mekanik rölelerdeki gibi hareketli parçaların sürtünmesi ve teması sebebiyle aşınma olmaz bu nedenle daha az bakıma ihtiyaçları vardır.

- 4- Rölenin geri dönüş (reset) hızı elektromekanik tipe göre çok kısadır.
- 5- Rölenin ölçme kısmına gelen korunacak olan akım ve gerilim değerleri çok küçük olsa bile amplifikatör devreleri yardımıyla bunlar kolaylıkla kuvvetlendirilebilir, bu nedenle daha yüksek duyarlılık elde edilebilir.
- 6- Statik rölelerde temel karakteristiklere sahip birçok devre birleştirilerek istenen ideal karakteristiğe çok yakın bir karakteristik elde etmek mümkündür.
- 7- Yarı iletken elemanlardan oluşan ölçme devrelerinin enerji ihtiyacının düşük olması nedeniyle röle boyutları daha küçüktür.

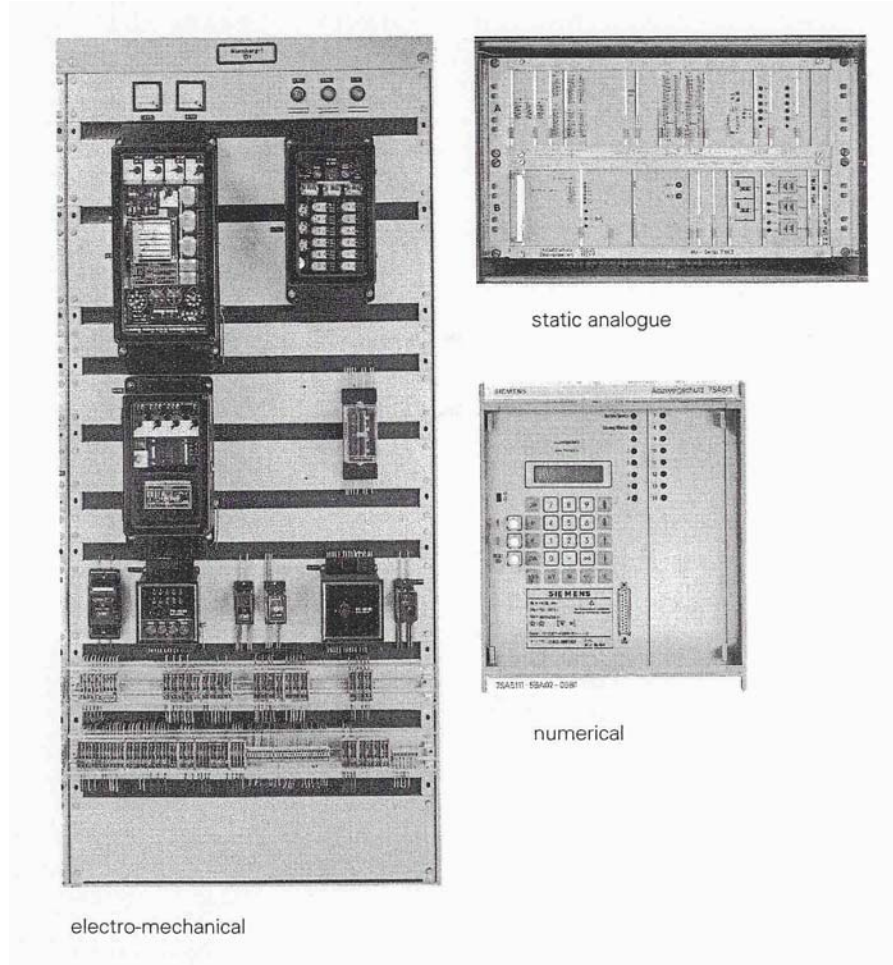
1.2.2.3 Nümerik (Sayısal) Röleler

Elektromekanik ve statik rölelerden sonra son yıllarda elektrik tesislerinde kullanılmaya başlanan diğer bir röle tipi ise, mikroişlemcilerle donatılan nümerik (sayısal) rölelerdir. Gerek elektromekanik gerekse statik röleler analog çalışan koruma röleleridir, yani analog olarak ölçülen büyüklükler, ayar büyüklükleri ile yine analog olarak karşılaştırılmaktadır. Mikroişlemci tekniğinde ise sayısal ölçme tekniğinden yararlanılır. Ölçü büyüklüklerinden alınan ani değerler analog - dijital çeviriciler ile dönüştürülmekte, hafızaya yerleştirilmiş bir programa göre işlem görmekte ve bu işlem sonunda varılan açma veya açma yapmama kararına göre dijital - analog çeviriciler üzerinden kumanda verilmektedir. Sayısal ölçme tekniğinin kullanımıyla diğer tip rölelere nazaran güvenlik, emniyet ve kullanıcıya kullanım kolaylığı sağlayan fonksiyonların artırılması avantajlardan bazılarıdır. Elektromekanik koruma röleleri tek tek koruma - modüllerinin birleşmesiyle meydana getirilirken, mikroişlemci tabanlı sayısal rölelerde ise tek bir donanım içinde birden fazla koruma fonksiyonları yerine getirilebilir. Sayısal rölelerin bir başka avantajı da yapısında bulunan haberleşme terminalleri vasıtasıyla diğer sayısal rölelerle haberleşme yeteneğinin olmasıdır. Bu terminaller vasıtasıyla sayısal rölelere dışarıdan bir PC yardımıyla müdahale edilebilir ve koruma rölesinin çok uzakta olan bir merkezle haberleşmesi sağlanabilir. Bu durum kullanıcılara kolaylık sağlamaktadır. Dikkat çeken diğer bir husus mikroişlemcili teknoloji sayesinde sayısal rölelerin kullanıcılara olduğu kadar üreticilere de büyük kolaylık sağlamasıdır. Mikroişlemci yazılımlarında yapılan küçük bir değişiklik sonucu cihazların

işlevleri kolayca arttırılabilir. Sayısal röleler ile analog röleler arasındaki farklar aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir:

- 1- Sayısal mesafe rölesi tek bir donanım içerisinde birden fazla koruma fonksiyonunu yerine getirebilir. Oysa ki elektromekanik mesafe rölesi bu fonksiyonları gerçekleştirebilmek için ek ekipmanlara ihtiyaç duyar. Bunun sonucu olarak da sayısal mesafe rölesinin bir pano içerisinde kapladığı alan mekanik mesafe rölesine göre daha azdır.
- 2- Sayısal mesafe rölesi yapısında bulunan seri haberleşme terminalleri vasıtasıyla diğer sayısal sistemlerle haberleşebilir. Bu terminaller sayesinde röleye bir PC yardımıyla dışarıdan müdahale edilebilir ve rölenin kendisinden çok uzakta olan bir merkezle haberleşmesi sağlanabilir. Böylece sayısal mesafe röleleri otomasyona yönelik olarak rahatlıkla kullanılabilir.
- 3- Sayısal mesafe rölesinin yapısında bulunan mikroişlemcinin yazılımını değiştirmek suretiyle röleye ek fonksiyonlar kazandırılabilirken elektromekanik mesafe rölesinde böyle bir olanak söz konusu değildir.
- 4- Herhangi bir arıza durumunda sayısal mesafe rölesinin minimum açtırma zamanı mekanik rölelere göre daha kısadır. Bunun sonucu olarak sayısal mesafe rölelerinde seçicilik fazla, arızaların temizlik süresinin de daha kısa olduğu söylenebilir.
- 5- Elektromekanik mesafe rölesi yapısında çok fazla eleman bulundurması nedeniyle sayısal mesafe rölesine göre hem akım devresinde hem de gerilim devresinde daha fazla güç harcar.
- 6- Sayısal mesafe rölesinin ayar hesabı yapılırken reaktans, faz-toprak direnci ve faz-faz direnç değerleri ayrı ayrı hesaplanır. Elektromekanik mesafe rölesinde ise yalnızca reaktans değerleri belirlenir. Sayısal mesafe rölesinde hesaplanan değerlerin çokluğu rölenin ölçüm duyarlılığını arttırır.
- 7- Sayısal mesafe rölelerinde, harmoniklerin etkisini önlemek amacıyla filtreler yer almaktadır.
- 8- Sayısal mesafe röleleri, herhangi bir arıza durumunda, arıza öncesi ve arıza anında akımı, gerilimleri kaydeden; sürekli hesap yapan ve geçici olmayan bir hafızaya sahiptir.

- 9- Sayısal mesafe rölesinin mekanik mesafe rölesine göre en önemli avantajlarından biri de rölenin devamlı kendi kendini kontrolüdür. Rölenin sürekli olarak kendi yazılımını ve donanımını kontrolü bakım maliyetlerini azaltarak önemli bir avantaj sağlar. Röle arızalı olduğunda kontağı vasıtasıyla dışarıya ihbar verir.
- 10- Sayısal mesafe rölesinde mikroişlemci teknolojisinden yararlanılarak güvenilirlik ve ölçüm doğruluğu arttırılmıştır.
- 11- Sayısal mesafe rölelerinin elektrik dayanımı elektromekanik mesafe rölelerine göre daha fazladır.
- 12- Sayısal mesafe rölesi zaman ayarları açısından da mekanik mesafe rölesine göre daha geniş bir toleransa sahiptir.
- 13- Sayısal mesafe rölesinde menü-tabanlı çalışmanın sonucu olarak basit ve güvenilir kullanım söz konusudur. Sayısal mesafe rölesinin sahip olduğu LCD ekran sayesinde arıza olayı ile ilgili mesajlar, arıza değerleri rahatlıkla izlenebilir. Bu değerler PC ile beraber kullanılan bir yazıcı vasıtasıyla kolaylıkla kağıda aktarılabilir.
- 14- Sayısal mesafe rölelerinde empedans, aşırı akım, düşük empedans v.b. başlatma seçeneklerinin bulunması nedeniyle istenen çalışma karakteristikleri rahatlıkla elde edilebilir. Ayrıca sayısal mesafe rölesi aşırı akım rölesi gibi de görev yapar. Mekanik mesafe rölesinde ise bu görev için ek olarak aşırı akım röleleri bulunmaktadır. Mekanik mesafe röleleri içinde bulunan ek teçhizatların çokluğu nedeniyle sayısal rölelere göre hem daha fazla yer kaplar hem de maliyet açısından daha pahalıdır.



Şekil 1.1 Geçmişten günümüze mesafe koruma rölelerinin gelişimi. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

1.3 Mesafe Korumaya Giriş

Mesafe koruması, genel bir kısa-devre korumasıdır. Çalışma yöntemi, klasik durumda arıza noktasına olan mesafeyle doğru orantılı olan kısa-devre empedansının ölçümü ve değerinin belirlenmesi temeline dayanır.

1.3.1 Uygulama Alanı

Mesafe koruması hem iletimde hem de enterkonnekte dağıtım şebekelerinde, şebeke korumasının temelini oluşturur. Bu şekilde havai hatlar ve kablolar için esas koruma olarak davranırken ek olarak baralar, transformatörler ve diğer fiderler gibi şebekenin birleşik kısımları için de yedek koruma görevi görür. Mesafe koruması, aşırı akıma göre daha hızlı ve

daha seçicidir. Hem de görelî kaynak empedansları ve sistem koşullarındaki değışimlere daha hassastır. Nümerik mesafe korumasının diğeri bir avantajı ise röleye eklenmiş arıza konum fonksiyonudur. Bu nedenle radyal şebekelerde de uygulanmaktadır.

Açtırma zamanı, birinci bölgede hat uzunluğunun ilk % 80 ila 90'ındaki arızalar için yaklaşık olarak bir veya iki periyottur (50 Hz' te 20 ila 40 ms). İkinci bölgede, korunan hattın son %10 ila 20'sindeki arızalar için açtırma zamanı yaklaşık 300-400 ms'dir. Uzaktan yedek koruma olarak görev yapan diğeri bölgeler önceki bölgeleri, benzer şekilde daha uzun ayarlanmış derecelendirme zamanları ile takip ederler.

İki hat-sonu arasındaki bir haberleşme kanalı ile (kılavuz hat, güç hattı taşıyıcısı, radyo hattı veya fiberoptik), mesafe koruması mutlak seçicilikle bir karşılaştırma yapan koruma düzeni kullanılabilir. O zaman bu, diferansiyel koruma düzenine benzer olarak hat uzunluğunun %100'ündeki arızaların hızlı açılmasını kolaylaştırır ve ek olarak şebekenin birleşik kısımları için uzaktan yedek koruma sağlar. Mesafe koruma haberleşmesi, sadece dar bir bant genişliği gerektirir, çünkü ölçülen değerler değil, sadece "GİT/GİTME" sinyalleri iletilmektedir. Bu sinyal iletimli mesafe koruma düzenleri, özellikle yüksek gerilim ve çok yüksek gerilim şebekelerinde çeşitli biçimlerde görünür.

Son olarak mesafe koruması, kısa açma zamanları yanında yüksek harekete geçme hassasiyetinin gerektiği büyük generatör ve transformatör blokları için bir yedek koruma olarak da uygulanır.

1.3.2 Teknik Gelişmeler

1920'de mesafe koruması kullanıma sunulmuş, ve o zamandan beri – endüksiyon diskli ölçüm elemanlarından hareketli bobin teknolojisine ve sonra işlemsel kuvvetlendiricili analog statik teknolojiye - sürekli gelişme göstermiştir. Bu şekilde doğruluk ve seçicilik önemli ölçüde ispatlanmıştır. Açma zamanı da, birkaç yüz milisaniyeden bugünkü bir-iki on milisaniyeye, on katı iyileştirilmiştir. Mesafe korumasının gelişiminde ani bir iyileşme 1985'te, mikroişlemci teknolojisinin kullanılmasıyla elde edilmiştir:

Nümerik koruma röleleri akıllı rölelerdir. Bilgi saklayabilirler ve çevre birimleriyle haberleşebilirler. Bu yetkinlikler, koruma kalitesinin gelişimi için temelde yeni kavramlar getirmektedir. Korumanın uygulanması ve yönetimi için temel olarak yeni özellikler oluşur.

Aynı zamanda mesafe korumasının daha ileri gelişmeleri, iletim ve dağıtım şebekelerinin

büyüyen karmaşıklığı sonucu oluşan, koruma sistemlerindeki daha yüksek gereksinimlerle ilgilidir.

1.3.3 Nümerik Mesafe Koruması

Ayrık sinyal işleme ve ölçümün nümerik oluşu, tam doğru filtre algoritmaları ve adaptif (uyumlu) sürecin uygulanmasıyla beraber daha yüksek doğruluk ve daha kısa açma zamanları sağlar. Ayrıca akıllı değer belirleme yöntemleri, karmaşık arıza durumlarında bile iyileştirilmiş seçicilik sağlar. Hepsinden önemlisi, maliyet/performans oranı ciddi ölçüde geliştirilmiştir, modern aygıtlar çok fonksiyonludur ve böylece koruma fonksiyonlarının yanında diğer görevler için ek fonksiyonları da icra edebilirler, örneğin işletme ölçümleri ve arıza çalışma kayıtları. Bu nedenle ana koruma ve yedek koruma için her hat sonunda sadece bir cihaz gerekmektedir. Röleye eklenmiş kendini izleme fonksiyonu sayesinde pahalı önleyici bakımdan, maliyet açısından daha etkin olan koşula göre bakım ve test etme özellikleri elde edilmiştir.

Nümerik aygıtlar, seri arayüzler kullanarak PC ile işletmeye veya şebeke kontrol sistemlerine eklenmeye de izin vermektedirler.

Böylece düzenleme, tesisat, devreye alma ve bakım için yeni usuller ortaya çıkmaktadır.

1.3.4 Mesafe Koruma ile İlgili Tanımlamalar

Mesafe koruma ile ilgili teknik terimler aşağıda açıklanmıştır. Bu terimler IEC 60050-448'e göre açıklanmıştır.

Mesafe koruması

Çalışmanın ve seçiciliğin, arızaya olan eşdeğerlerinin bölge ayarları ile karşılaştırarak belirlendiği elektriksel büyüklüklerin yerel ölçümüne dayalı olan ünitesiz bir koruma.

Nümerik mesafe koruması

Ölçülen değerlerin (akım ve gerilim) analog ve dijital dönüşümü, hesaplanmış (nümerik) mesafe saptaması ve dijital işlem yapma lojisiyle mikroişlemci teknolojisini kullanarak mesafe koruması. Bazen “dijital mesafe koruması” terimi kullanılmaktadır. (Nümerik mesafe rölesi, tamamen dijital bir aygıt için kullanılan bir terimdir. Dijital röle, önceki jenerasyonu

isimlendiren bir cihazdır, ve mikroişlemcileri kullanarak analog ölçüm devreleri ve dijital örtüşme zamanı ölçümleri (açı ölçümü)'ne sahiptir).

Mesafe bölgeleri

Bir güç sisteminde mesafe korumasının elemanlarının erişimleri.

Alt- ve/veya üst erişim

En hızlı bölgenin korunan bölgeye göre daha yakın olan (alt-erişim) veya daha uzun olan (üst-erişim) erişimle ayarlandığı mesafe koruması çalışma yöntemi.

Bölge sınırı

Bölge sonuna tekabül eden ölçülü empedans

Ölçüm sistemi (ölçüm elemanı)

Arıza mesafesi ve yönünün, başlangıç karakteristiklerini de içeren ölçüm modülü. Girdiler kısa-devre akım ve gerilimidir. Arıza ilgili bölgenin içinde yer aldığı, yani ölçüm sistemi harekete geçtiği zaman çıkışta aktif bir sinyal görünür. Konvansiyonel röleler bir elektromekanik veya statik ölçüm sistemi kullanmışlardır. Nümerik rölelerde ölçüm sistemi, arıza empedansının hesaplanması ve ayarlanan başlatma karakteristiği ile değer karşılaştırması yapan bir yazılım modülüdür.

Tam olarak düzenlenmiş mesafe koruması (değiştirmesiz)

Genellikle her tip faz-faz arızası, her tip faz-toprak arızası ve her bölge ölçümü için ayrı ölçüm sistemlerine sahip olan mesafe koruması.

Nümerik koruma için bu, tüm faz-faz ve faz-toprak çevrim empedanslarının aynı anda hesaplandığı ve bölge sınırlarıyla karşılaştırıldığını gösterir.

Değiştirmeli mesafe koruması

Tüm güç sistem arızaları ve/veya tüm bölgeler için tek ölçüm elemanına sahip olan mesafe koruması. Nümerik koruma durumunda “değiştirmeli” terimi, tüm ölçülen değerler sürekli olarak örneklendiği ve bir tamponda saklandığı için uygulanabilir değildir. Ölçüm devrelerinde HW-değiştirmesi yoktur. Arıza algılayıcı kontrollü çevrim seçimi kullanan ve mesafe ölçümü için sadece tek arıza çevrimi belirleyen röleler “tek sistem” mesafe röleleri olarak adlandırılabilirler.

Değiştirmeli mesafe koruması (çoklu ölçüm sistemi)

Çok sayıda ölçüm sistemi ve basitleştirilmiş çevrim seçimi ile mesafe koruması (bu değişik biçim Almanya'da elektromekanik çok yüksek gerilim korumasında yaygındır)

Uzaktan koruma kanallı mesafe koruması

Bir güç sisteminde korunan sistemin uçları arasında uzaktan haberleşme gerektiren mesafe koruması.

Müsaadeli modda mesafe koruması

Bir sinyal alımının, yerel korumanın açtırmayı başlatmasına müsaade ettiği mesafe koruması.

Mesafe koruması bloke (kilitleme) modu

Bir sinyal alımının, yerel korumanın açtırmayı başlatmasına engel olduğu mesafe koruması.

Başlatma zamanı

Arıza olayından ölçüm sisteminin başlangıcına (harekete geçmesine) kadar gereken zaman (örn. $I > I_{\text{harekete\_geçme}}$, veya $Z < Z_{\text{başlangıç}}$). Normal olarak zaman dolduğunda, ek bir fonksiyon harekete geçirilir veya engellenir ve bir alarm başlatılır. Bir açma emri, sadece açma lojisinin belirlenmesinden sonra veya ayarlı bir gecikme zamanının dolmasını takiben üretilmektedir.

Sıfırlanma (reset) oranı

Bu, ölçüm sisteminin harekete geçme seviyesinin durma seviyesine oranıdır. Bu fark, ölçüm sisteminin kesik kesik seyreden harekete geçmesini ve durmasını engellemek için gereklidir. Sıfırlanma oranı, artan ölçülü değerlerde harekete geçen ölçüm sistemleri için (örneğin aşırı akımla başlatma için 0.95) 1'en küçük, ve azalan ölçülü değerlerde harekete geçen ölçüm sistemleri için (örneğin empedansla başlatma için 1.05) 1'den büyüktür.

Sıfırlanma (reset) zamanı

Ölçülen sinyal, ölçülen sistemin sıfırlanma seviyesinin altına düştükten sonra, çıkış sinyalinin harekete geçmesi için gereken zaman. (Empedans bölgeleri için tersi geçerlidir: başlangıç sırasında ölçülen empedans $Z_{\text{başlangıç}}$ 'ın (Z_A) altına düşer. Sıfırlamak (reset) için, ölçülen empedans sıfırlama (reset) seviyesini aşmalıdır ($Z_R = 1.05 * Z_A$).

Başlangıcın sıfırlanma zamanı, kısa-devre akımının kesilmesinden sonra, mesafe koruması durumuyla en ilgili kavramdır. Bu zaman derecelendirme zamanlarını hesaplamak için

hesaplanır .

Açma zamanı

Mesafe korumasının açma zamanı, arıza başlangıcından açma kontaklarının kapanmasına kadar ölçülen zamandır. Gecikmesiz hızlı açma kademesi veya tipik açma zamanı teknik veri dokümanında belirtilmiştir. Ancak, bu açma zamanı sabit değildir. Çeşitli faktörler buna etki eder (hem kısa-devre gerilimi ve akımı, hem de arızanın konumu). Bu bağımlılık genellikle bir diyagram olarak gösterilmiştir (profil eğrileri).

Koruma sisteminin açma zamanını belirlemek için sinyal iletiminin, kanallarının ve harici açma rölelerinin muhtemel gecikmeleri eklenmelidir.

Derecelendirme zamanları

Yedek bölgelerin ayarlı gecikme zamanları

Otomatik tekrar kapama (OTK)

Havai hatlardaki arızaların çoğu geçicidir ve besleme kesildiği zaman kaybolurlar. Arıza giderildikten sonra hat işletmeye döndürülebilir. Bu, genellikle kısa bir zaman gecikmesinden sonra (ölü zaman) otomatik tekrar kapama (OTK) ile gerçekleştirilir. Bazı durumlarda, ilk girişim başarısız olursa, diğer bir tekrar kapama girişimi –çok atışlı OTK gerçekleştirilir.

Kısa-devre çevrimi (arıza çevrimi)

Beslemeden arıza konumuna ve geriye olan yolda sistemden geçen kısa-devre akımı. Mesafe koruması durumunda bu çevrim, röle konumundan arıza konumuna ve geriye olan yoldaki kısa-devre akımına tekabül eder.

Kısa-devre gerilimi (arızalı çevrim gerilimi)

Bu terim, kısa-devre çevrimindeki (arıza çevrimindeki) gerilimi ifade eder. Mesafe korumasında bu gerilim, röle noktasında arızalı fazlar arasındaki (faz-faz kısa-devresi) veya arızalı faz ve toprak arasındaki (faz-toprak arızası) gerilime tekabül eder. Kısa-devre gerilimi mesafe ölçümü için gereklidir. Bu gerilim doğrultuyu belirlemek için kullanıldığında, arızalı çevrim gerilimi olarak da adlandırılır.

Arızasız çevrim gerilimi (Normal işletmedeki faz gerilimi)

Arıza yönünü belirlemek için (arıza konumu röle konumunun önünde veya arkasında) modern mesafe koruması, arızadan etkilenmeyen ölçülü gerilimleri, örn. L1-T kısa-devresi için U_{L2-L3} gerilimini kullanır. Bu yöntemle sonsuz bir yönlü ölçüm hassasiyeti elde edilir. Bu, arızalı çevrim geriliminin güvenilir bir ölçüm için aşırı küçük olduğu yakın arızalar için bile geçerlidir .

Kısa-devre empedansı

Arızalı faz-toprak ve arızalı fazlar arasındaki kısa-devrede empedansı. Mesafe ölçümünde kısa-devre empedansı, rölenin gerilim ölçtüğü bağlantı noktasıyla arıza konumu arasındaki empedansa tekabül eder.

Kısa-devre akım hesaplamalarıyla bağlantılı olarak bu terim, beslemeden arıza konumuna olan toplam kısa devre çevriminin empedansını ifade eder.

Kaynak empedansı

Belirli bir arıza konumu için kaynak empedansı, empedansın kısa-devre çevriminde kaynak gerilimi (kısa-devre akımını sağlayan gerilim) ile rölenin gerilim ölçme bağlantı noktası arasındaki kısmıdır.

Empedans oranı

Belirli bir ölçüm noktasında bu oran, kaynak empedansının kısa-devre empedansına (korunan bölgenin empedansına) oranıdır. Bu, sistem veya kaynak empedans oranıdır. Bu, röle tarafından görülen arızalı çevrim geriliminin büyüklüğü için bir ölçüdür.

Yük empedansı

Belirli bir ölçüm noktasında bu empedans, faz-nötr geriliminin (hat gerilimi) yük akarken faz-akımına bölümüdür.

Arıza direnci

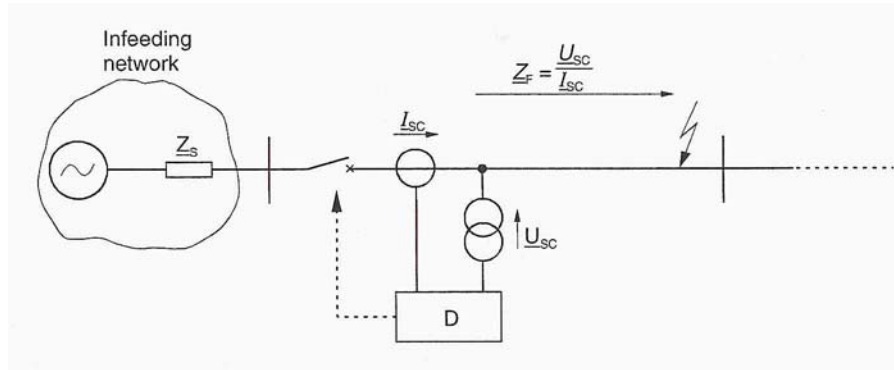
Bu, faz-iletkenleri ve arıza noktasındaki faz-iletkeni ve toprak arasındaki dirençtir.

2. MESAFE KORUMA

2.1 Mesafe Korumasının Temelleri

2.1.1 Kavram

Mesafe korumasında, rölenin bulunduğu noktadan ölçülen kısa devre gerilim ve akımından arıza empedansı belirlenir. (Şekil 2.1a) Sonra, ölçülen arıza empedansı, bilinen hat empedansı ile karşılaştırılır. Eğer ölçülen arıza empedansı, rölede ayarlanmış hat empedansından küçükse, bir dahili arıza belirlenmiş olur ve devre kesiciye bir açma komutu gönderilir. Bu da gösterir ki, mesafe koruması en basit şekliyle röle noktasında ölçülen gerilim ve akım ile bir koruma kararına varabilir. Bu temel koruma kararı için daha başka bir bilgiye gerek yoktur ve koruma bu yüzden herhangi bir ek teçhizata veya sinyal iletim kanallarına bağımlı olmak zorunda değildir. Genellikle, hesaplamaya dayalı olan ölçüm hataları, ölçü trafoları dönüştürme hataları ve hat empedansındaki yanlışlıklardan doğan mesafe korumasındaki hatalar nedeniyle; bir mesafe bölgesiyle pratikte hat uzunluğunun %100'ünün koruma erişim ayarlaması mümkün değildir. Dahili ve harici arızalar arasında güvenli koruma seçiminin sağlanabilmesi amacıyla, “düşük menzil bölgesi (1. bölge)” için hattın uzak ucundan bir güvenlik marjı (%10-15) seçilmelidir. (Şekil 2.1b)

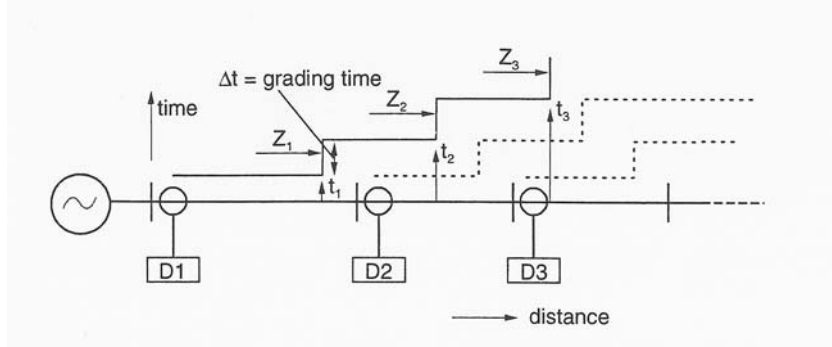


Şekil 2.1a Mesafe koruması prensibi, arıza empedansının ölçülmesi. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

Hattın geriye kalanı, seçiciliği sağlamak için bitişiğindeki hattın korumasına göre kademeli olarak zaman gecikmeli olmak zorunda olan bir 2. kademe (2. bölge) tarafından kapsanmıştır. Elektromekanik koruma yapıldığında bu derecelendirme zamanı 400-500ms, analog statik ve

nümerik korumalarda 250-300ms kadardır. Bu derecelendirme zamanının içinde enerji akış yönüne göre bir sonraki devre kesicinin operasyon zamanı (açma zamanı), mesafe ölçüm elemanlarının var olandan daha uzak mesafe ölçmesi ve bir güvenlik marjı hesaba katılmıştır.

Mutlak seçicilik gösteren diferansiyel korumaya zıt olarak (korunan bölge, hattın iki ucundaki akım transformatörlerinin konumu tarafından kesin bir şekilde belirlidir), mesafe koruması (uzaktan koruma eklentisi olmadan en basit haliyle) mutlak seçicilik özelliği göstermez. Seçici koruma, komşu koruma ile zaman kademelendirmesi yaparak sağlanır. Ancak, mesafe koruması bitişik hatlar için ek olarak yedek koruma imkanını verir. İkinci kademe (üst-erişim bölgesi) bu amaçla kullanılır. Bu kademe, bitişik bara üzerinden komşu hatlara ulaşır. Ayrıca genellikle üçüncü bir kademe, eğer uygulanabilirse komşu hatların tüm uzunluğunu korumak için uygulanır. (Şekil 2.1b)



Şekil 2.1b Mesafe koruma prensibi, derecelendirilmiş mesafe bölgeleri. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

Her bölge erişiminin koordinasyonu ve zaman ayarları bir “derecelendirme düzeni” ile elde edilir.

2.1.2 Röle Empedansı

Mesafe koruma röleleri sekonder röleler olarak adlandırılır ve uygulanırlar, yani primer sistemden (havai hattan) ölçü transformatörleri yardımıyla –akım trafosu ve gerilim trafosu- (AT ve GT) akım ve gerilimi ölçülmüş sinyallerle beslenirler. Bu nedenle röle, AT ve GT ’nin dönüştürme oranlarına göre bulunan sekonder empedansı ölçer:

$$Z_{sec} = \frac{I_{prim} / I_{sec}}{U_{prim} / U_{sec}} \cdot Z_{prim} \quad (2.1)$$

Örnek:

Anma sistem gerilimi: $U_{prim}=110\text{kV}$

AT oranı: $I_{prim}/I_{sec}=600/1\text{A}$

GT oranı: $U_{prim}/U_{sec}=110\text{kV}/100\text{V}$

$$Z_{sec} = \frac{600/1}{110/0.1} = 0.545 * Z_{prim}$$

Rölenin test edilmesi sekonder sinyallerle gerçekleştirildiğinden, röle ayarları sekonder empedanslarla yapılır. Bu nedenle röle empedans değerleri her zaman denklem (2.1) kullanılarak dönüştürülmelidir.

2.1.3 Empedans Diyagramı

Koruma mühendisi için empedans diyagramı, mesafe koruması davranışını değerlendirmek için önemli bir araçtır. Bu diyagramda röle karakteristiği, ölçülen yük ve kısa devre empedansı, kompleks R-X düzleminde modellenmiştir. Diyagramdaki bu üç empedans bileşeninin ilişkisi, sistemdeki röle performansının açık bir göstergesidir.

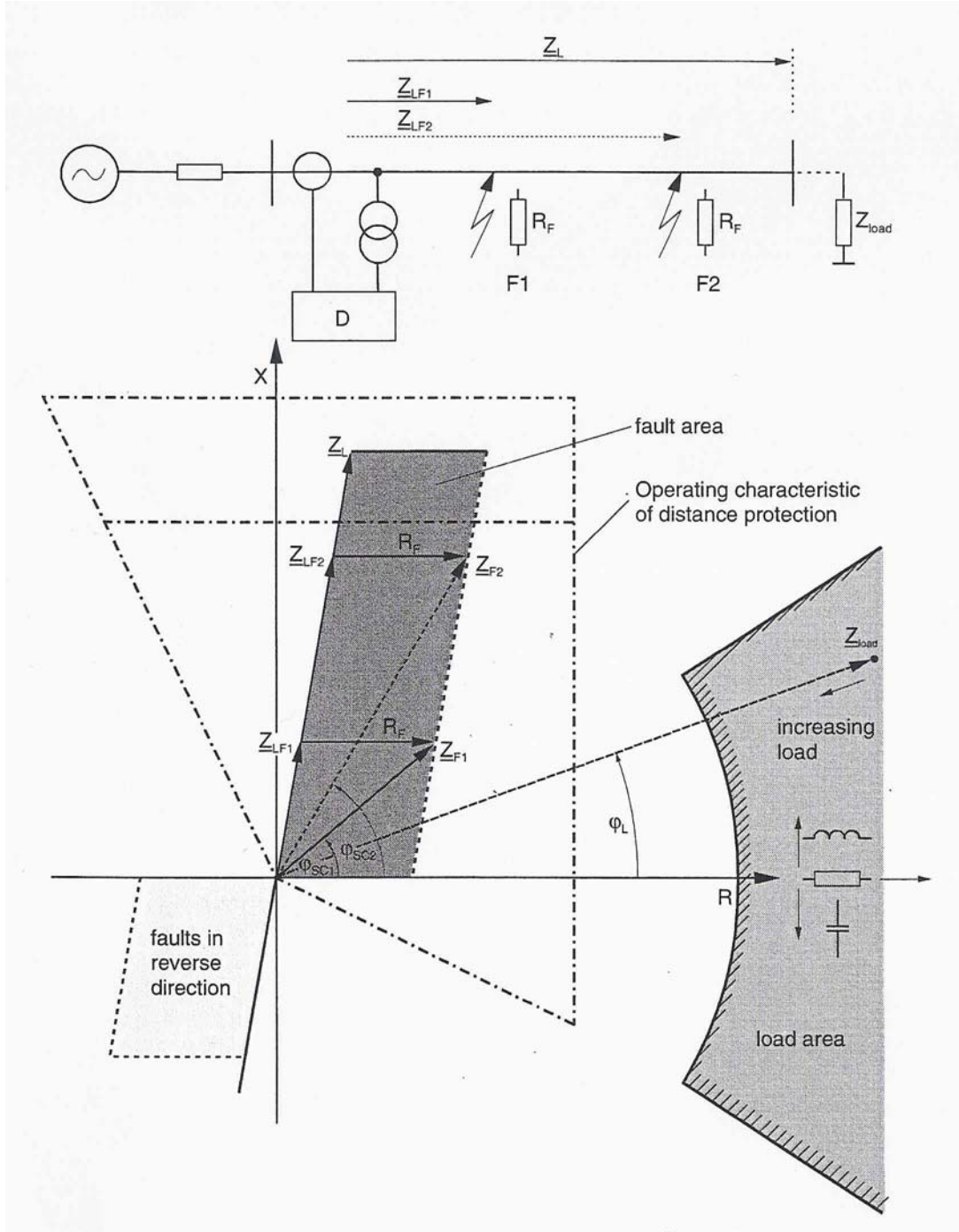
Normal sistem işletmesi sırasında ölçülen empedans yük empedansına denk düşer. Büyüklüğü, iletilen yükün miktarına ters orantılıdır ($Z_{load} = U_{line}^2 / P_{load}$). Bu koşul esnasında, akım ve gerilim arasındaki açı yük açısıdır φ_L (Şekil 2.2). Bu açı da aktif ve reaktif güç arasındaki orana bağlıdır ($\varphi_{load} = \arctan[Q / P]$).

Arıza başlangıcından sonra ölçülen empedans, genellikle yük empedansından daha küçük olan kısa devre empedansına sıçrar. Bu değer, rölenin konumu ile arıza konumu arasında kalan hat empedansına eşdeğerdir (yakın arıza Z_{LF1} veya uzak arıza Z_{LF2}). Arıza noktasında ark direnci veya arıza direnci mevcutsa, ek bir omik bileşen (R_F) hat empedansına eklenir. Bu durumda kısa devre akımı ile kısa devre gerilimi arasında ölçülen açı kısa devre açısı φ_{SC} 'dir.

Mesafe korumasının çalışma karakteristiği, empedans diyagramındaki sabit bir şekil

tarafından tanımlanmıştır. Bu diyagramla arıza bölgesi yük alanından ayrılmıştır ve mesafe bölgelerinin erişimleri belirlenmiştir. Bundan önemlisi, R-doğrultusundaki ayarlı erişimin (ark direnci toleransı da denir) beklenen arıza direnci için uygun olup olmadığı belli olur. Son olarak yönlü bir karakteristik rölenin, bir kısa-devrenin ileri veya geri yönde olduğunu belirlemesiyle iki empedans alanı tanımlar.

Röle empedans karakteristikleri, düz çizgiler, daireler veya daire dilimlerinden oluşan klasik şekillerdir. Bu kısıtlama, analog ölçüm tekniklerinin sınırlamalarından ötürüdür. Nümerik koruma rölesinin işlem yapma gücünün artışı, işletme karakteristiklerinin seçimini özgürleştirmiş ve optimizasyonlarına izin vermiştir. Tipik bir örnek Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

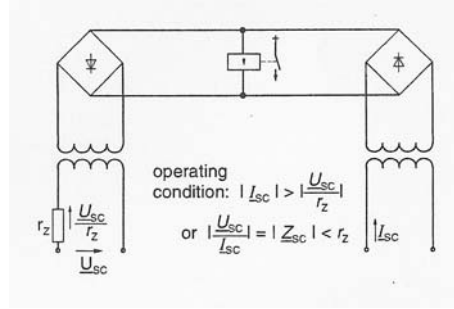


Şekil 2.2 Yük ve kısa-devre empedansı. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen

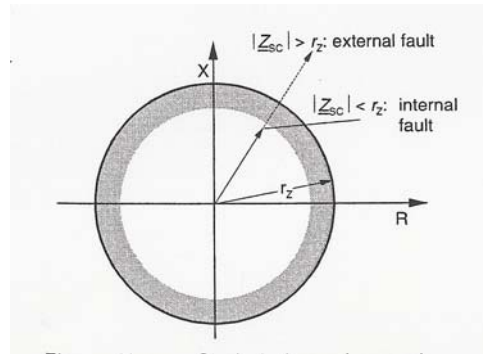
2.1.4 Mesafe Ölçümü

Konvansiyonel röleler arızanın korunan bölgenin içinde veya dışında olup olmadığını belirlemek için, kısa devre empedansını hat modeli empedansı ile karşılaştırırlar. Almanya’da

üretileen elektromekanik röleler empedans dengesi için bir köprü doğrultucu devre kullanırlar. Şekil 2.3a bu ölçüm sisteminin prensibini göstermektedir. Gösterilen denklem empedans düzleminde bir daireye eşdeğerdir (Şekil 2.3b). Ölçüm devresinin doğru şekilde değiştirilmesi ile daire empedans düzleminde hareket ettirilebilir (Şekil 2.4).

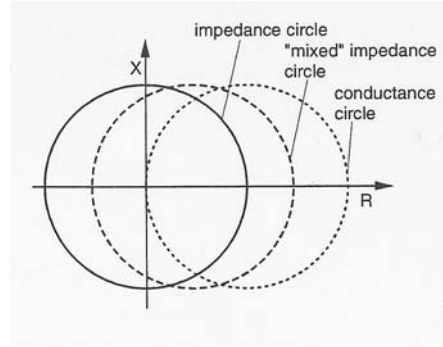


Şekil 2.3a Köprü doğrultuculu karşılaştırıcı. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen



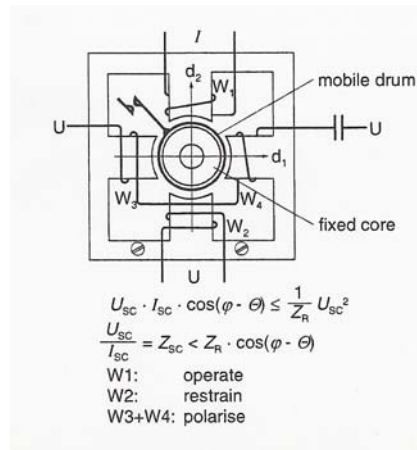
Şekil 2.3b Empedans düzlemindeki daire. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen

Arıza direncinin (ark direnci) daha iyi kapsanması bu yöntemle elde edilir.

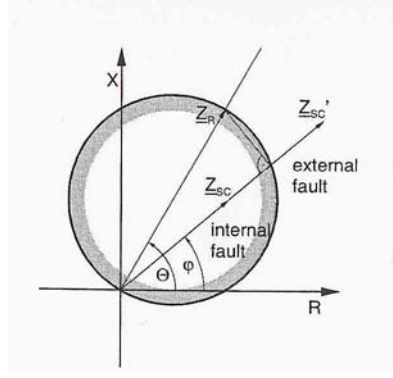


Şekil 2.4 Elektromekanik korumanın açma karakteristikleri (Alman üreticiler) . Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

İngiliz/Amerikan üreticileri, endüksiyon röleleri ile, Ferraris prensibine dayalı bir ölçme tekniği kullanmaktadırlar (Şekil 2.5a).

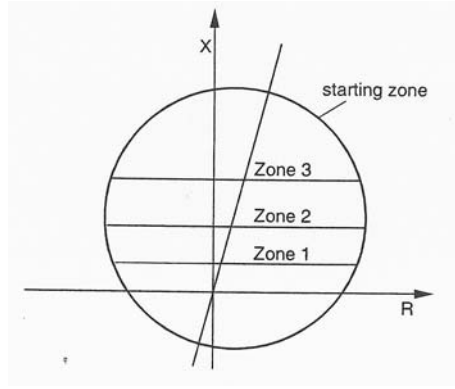


Şekil 2.5a Endüksiyon disk rölesi. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

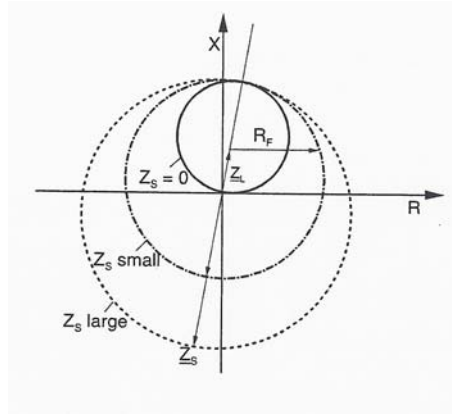


Şekil 2.5b MHO-karakteristiği (admitans dairesi) . Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

Ölçüm devresindeki değişikliklerle, empedans düzleminde dairesel ve diğer karakteristiklerin de üretilmesi mümkündür. En iyi bilinen karakteristik admitans-dairesidir (MHO-dairesi) (Şekil 2.5b). Mesafe koruma ölçümü için, arıza yerine olan mesafeyi etkili bir şekilde belirlemek amacıyla sadece arıza empedansının reaktif bileşeni X_F kullanılabilir. Omik bileşen, arıza noktasındaki belirlenmemiş ark direnci (arıza direnci) nedeniyle değişkenlik gösterebilir. X-doğrultusundaki erişim limiti bu nedenle mümkün olduğunca R-eksenine paralel ilerleyecek şekilde yatay olmalıdır (ideal durumda düz bir reaktans çizgisi). R-doğrultusundaki erişim, yük empedanslarının sınır aşımalarını engelleyecek şekilde sınırlandırılmalıdır. Elektromekanik röleler bu karakteristiği dairelerin ve düz çizgilerin bir kombinasyonu ile elde etmeğe teşebbüs etmişlerdir (Şekil 2.6). Sağlıklı faz gerilimi polarizasyonlu admitans-dairesi aynı zamanda gelişmiş bir ark direnç rezervi sağlar. Bu durumda dairenin çapı, kaynak empedansını içerecek şekilde değişir (Şekil 2.7). Tatminkar bir direnç kapsamı, ancak göreceli olarak zayıf olan besleyicilerde, yani büyük kaynak empedanslarında elde edilir.



Şekil 2.6 Birleştirilmiş daire ve düz çizgi karakteristikleri. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

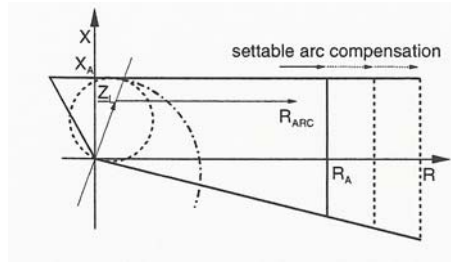


Şekil 2.7 Polarize admitans dairesi. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

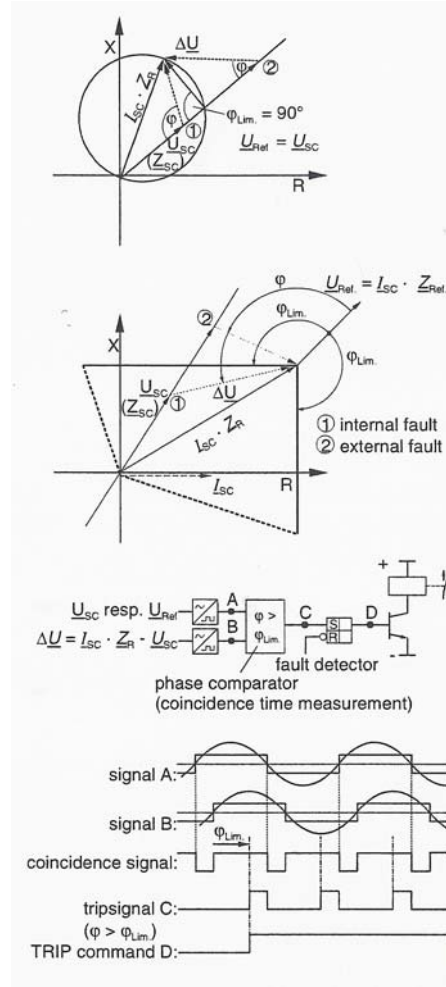
Bu bağlamda, statik röleler tarafından getirilen çokgen (dörtgen) karakteristikleri idealdir (Şekil 2.8a). Analog statik teknolojiye, mesafe ölçümü açı karşılaştırmasına dayanır. ΔU ve ΔU_{ref} işaretleri kare dalgalara dönüştürülür. Karşılaştırmacı kullanarak kare haline getirilmiş sinyallerin çakışması (üst üste binmesi) izlenebilir. Şekil 2.8b bunu bir admitans-dairesi ve bir dörtgen örneği için göstermektedir. Z_R her iki durumda, ayarlanmış bölge erişimidir (röle empedansı). Admitans-dairesi, ΔU ve kısa devre gerilimi U_{SC} arasındaki açıyı ölçerek oluşturulmaktadır. Dörtgen iki adet ölçüm gerektirir, çünkü kapalı işletme bölgesi bir mesafe açısı ve bir yön açısından ibarettir. Gösterilen mesafe açısı, referans fazör U_{REF} ve fark fazörü ΔU arasındaki açı ölçümünden bulunur. Nümerik röleler, ölçülen akım ve gerilimden hata

empedansını (X- ve R- değeri) hesaplamak için özel bir algoritma kullanırlar. Sonuç daha sonra parametrelendirilmiş açma karakteristiğinin sınırlarıyla matematiksel olarak karşılaştırılır. Böylece, nerdeyse her şekli ve optimize edilmiş karakteristikleri, aşağıda belirtildiği gibi uygulamak mümkündür.

Daire karakteristikleri için fazörler arasındaki açı ölçümü, kriter olarak ayrıca kullanılır; fakat fazörler artık ortogonal filtreler (örn. Fourier-filtresi) tarafından hesaplanmaktadır. Açı, faz kaymasının hesaplanması ile belirlenir.



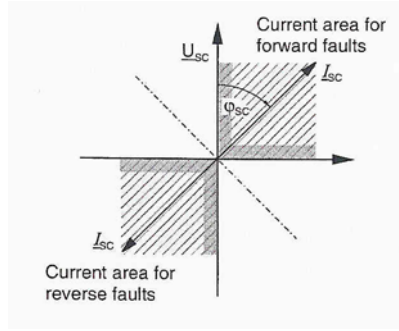
Şekil 2.8a Çokgen açma karakteristiği (dörtgen) . Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.



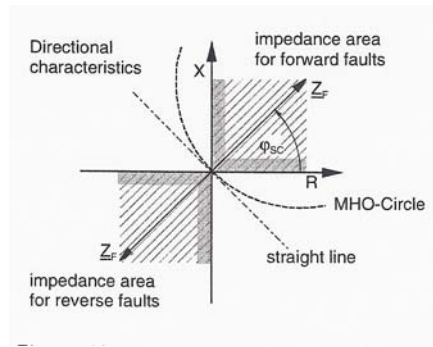
Şekil 2.8b Faz karşılaştırma mesafe ölçümü (çakışma lojiği) . Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

2.1.5 Yön Ölçümü

Her iki taraftan da beslenen fiderlerde (örnek. ring şebeke), koruma sisteminin, korunan fiderde olmayan ters yönlü arızaların yanlış açmaya sebep olmamaları için, bir arızanın ileri ya da geri yönde olduğunu belirleyebilmesi gerekmektedir. Yönün tespiti hem gerilim- hem de empedans düzleminde gösterilebilir (Şekil 2.9). İleri doğrultudaki arıza durumunda, akım endüktans ve dirençten oluşan bir kısa devre çevrimine doğru akar, yani ölçülen sinyallerin tanımı ve röleye bağlantısının aynı olduğu kabul edilirse, seçilmiş faz döndürme gösterilişine göre, akım gerilimden şekil 2.9a’da gösterildiği gibi geridedir. Çok yüksek gerilimdeki havai hatlarda φ_{sc} açısı 80° ’nin üstündedir, ve kablolarda 20° ’nin altında olabilir. Açılı hatta ark dirençli bir yakın kısa devre gibi ekstrem bir durumda 0° bile olabilir.



Şekil 2.9a Yön ölçümü: akım / gerilim diyagramı.



Şekil 2.9b Yön ölçümü: empedans düzlemi

Eğer arıza ters doğrultuda ise, akım ters çevrilir, yani bir arızada ileri doğrultuda akan akıma göre 180° döndürülmüş gibi görünür. Akımın bu ters çevrilmesi aynı zamanda bir empedans ters çevrilmesi ile sonuçlanır, yani arıza empedansı ters yöndeki akım için kartezyen düzlemin 3. bölgesinde yer alır. Bu gerçeği kullanarak bir doğrultu kararı alınırken akım ve gerilim arasındaki açının ölçümü baz alınabilir. Konvansiyonel rölelerin ölçüm devresi, yön karakteristiğinin, gerilim veya empedans düzleminde düz bir çizgi olacağı şekilde yapılmıştır. Nümerik rölelerle, hesaplanan arıza empedanslarının işaretlerini analiz ederek, arıza yönünün benzer şekilde belirlenmesi mümkündür. İletim dairesi (Şekil 2.4) ve admitans dairesinin (Şekil 2.5) kendiliğinden yön bilgisi içerdikleri, yani bu durumlarda ayrı bir yön ölçümünün gereksiz olduğu da ayrıca belirtilmelidir. Bahsi geçen yön belirleme metodu, gerilimi kısa devre edilmiş çevrimin içinde kullanır. Bu metodun dezavantajı, röle noktasının doğrudan önü veya arkasındaki yakın arızalarda, yön ölçümünün imkansız oluşudur, çünkü gerilim teoride sıfıra eşit olabilir. Bu nedenle bu tipte konvansiyonel röleler, yaklaşık $0.1V$ 'un altındaki kısa devreler için “ölü-bölge” diye tabir edilen bölgeye sahiptir. Bu durumda, arıza tarafından etkilenmeyen gerilim bir yedek olarak (çapraz-polarizasyon) kullanılır. Örneğin, L2-L3 fazlar

arası gerilimi, L1 fazından toprağa akan bir arıza için kullanılmalıdır. Doğal olarak, bu durumda ilgili faza kompanzasyon (dengeleme) uygulanmak zorundadır. Tüm gerilimlerin arızadan etkilendiği üç-fazlı arıza için, arızadan önceki gerilim, bir gerilim hafızasına kaydedilerek kullanılır. Bunu elde etmek için, analog röleler karmaşık bir gerilim hafızası (rezonans devresi) kullanmak zorundaydı, ve bu yüzden sadece ÇYG devrelerinin korumasında kullanılabiliyordu. Nümerik röleler ölçülen örnekleme değerlerini çevrimsel tamponlarda saklarlar. Röle, arızanın doğrultusunu, çevrimsel tamponun sabit büyüklüğüne bağlı olarak, ön-arıza hafızasına alınmış gerilimle tespit edebilir. (örn. 7SA513 kullanılırsa 400ms) Kısa devreden etkilenmeyen gerilimlerle yön tayini (çapraz polarizasyon) ve hafızaya alınan gerilimler, seri kompanzasyonlu hatlarda özel bir öneme sahiptir. Bu da ayrıntılı olarak bölüm 2.3.5’de işlenmiştir.

2.1.6 Başlatma (Arıza Algılanması)

Başlatma fonksiyonunun ilk görevi güç sistemindeki kısa devreleri algılamak ve sınıflandırmaktır. Fonksiyon faz-seçiciliğine sahip olmalıdır, yani sağlıklı fazların herhangi birinde yanlış bir başlatma yapmadan arızalı fazları doğru tanımalıdır. Bu, tek fazlı arızalarda, tek fazlı otomatik tekrar kapama uygulandığında seçici tek-fazlı açma yaptırabilmek için özel bir öneme sahiptir. Sadece tek mesafe ölçme elemanı olan açıp-kapamalı mesafe rölesi kullanıldığında, başlama fonksiyonu ölçülen değerlerin işleme seçimini kontrol eder.

Ayrıca, başlatma fonksiyonunun harekete geçmesi ve suskun kalması, arızanın başlangıcı ve bitişini belirlemek için kullanılır – örneğin başlatma fonksiyonu alan zamanlayıcılarını ve arıza kaydedicisini tetikler.

Akım artışı, gerilim azalması ve empedans değişimi başlatma fonksiyonu için gerekli kriterler olarak kullanılabilir.

2.1.6.1 Aşırı Akımla Başlatma

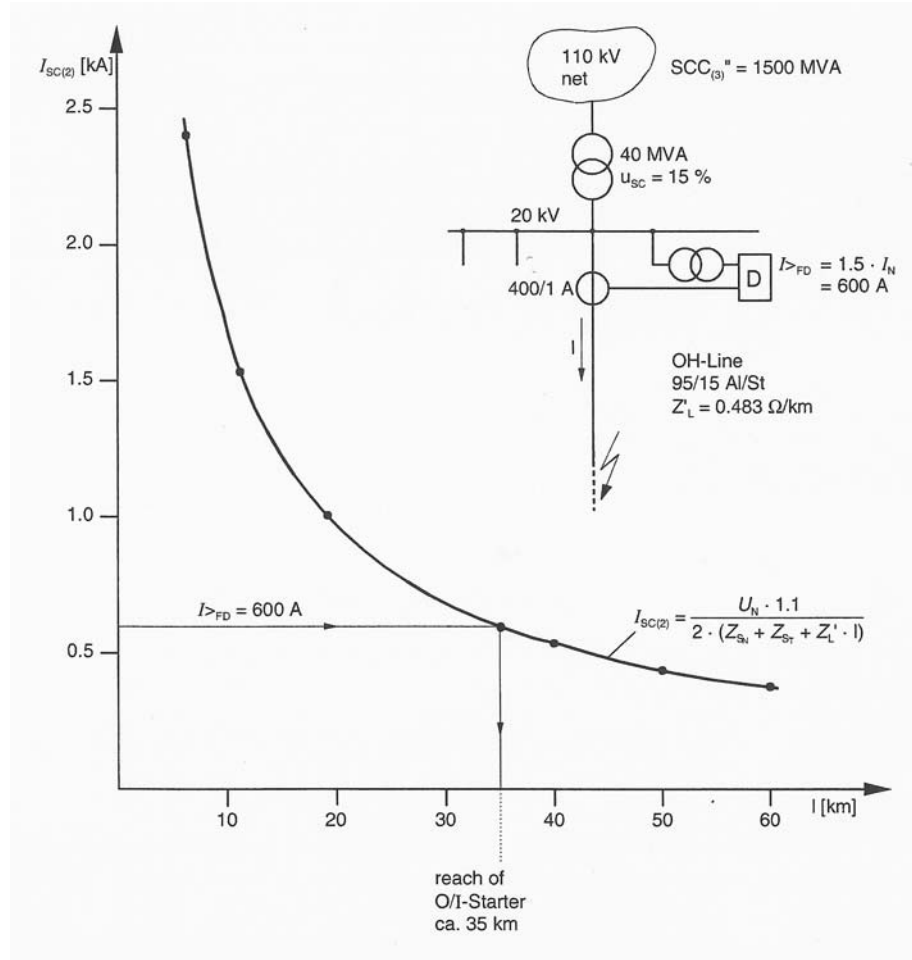
Bu, en basit ve en hızlı arıza belirleme metodudur. Bu yöntem küçük hat empedansları ve güçlü beslemeye sahip şebekelerde, yani yeteri kadar büyük kısa devre akımlarının aktığı her yerde kullanılabilir. Bu yöntemde, en küçük kısa devre akımı yaklaşık olarak en büyük yük akımının yaklaşık iki katından daha az olmamalıdır. Uygulanan ayar, fazlardaki en büyük yük

akımının yaklaşık 1.3 katı, ve toprak-akımı için I_N 'nin (anma AT akımı) 0.5 katı olmalıdır.

Paralel hatlar için, bir hat servis dışı olduğunda diğer hattın, en azından kısa bir süre için kendi akımının iki katını taşıyabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Böyle bir olayda, fazlar için ayarlar iki katına çıkar. Ayrıca, topraklanmış sistemlerde, kendi başına başlayan toprak akımı yeterli olmadığı da belirtilmelidir. Doğru çevrim seçimi için kısa devre akımı, ilgili fazın devreden çıkarılmasına sebep olacak kadar yeterli büyüklükte olmalıdır.

Arıza algılanmasının bağımlılığını sınamak için bir iki-fazlı arıza kullanılmalıdır, çünkü bu durumda arıza akımı üç fazlı arıza akımından $\sqrt{3}$ faktörü kadar daha küçüktür.

Topraklanmış şebekelerde, tek-fazlı kısa devre akımı da sınanmalıdır. Şekil 2.10, faz-faz arızalarının hesaplanması için bir örnek göstermektedir.



Şekil 2.10 Aşırı akım başlatıcısının erişimi (faz arızası için) .

2.1.6.2 Düşük Empedansla Başlatma ($U < U_n$ ve $I > I_n$)

Aşağıdaki nedenlerden dolayı, fiderdeki kısa-devre akımı aşırı akımla başlatmak için çok küçük olabilir:

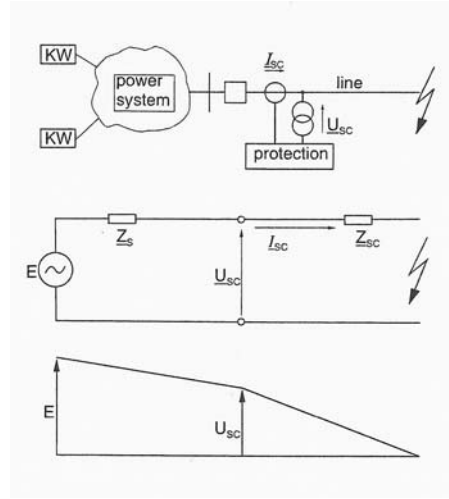
- zayıf kaynak (yüksek kaynak empedansı)
- ağ sisteminin paralel yollarında akımın dağılması
- transformatörün yıldız noktasında toprak akımının direnç veya reaktansla sınırlanması

Bu durumlarda gerilimin izlenmesi, faydalı bir ek başlatma kriteri olarak ortaya çıkar. Röle noktasında ortaya çıkan gerilim kaynak empedansına ve arıza empedansına (arızaya olan mesafeye) bağlıdır. (Şekil 2.11). Fider ayrılmış durumdayken (gerilim yok) yanlış bir başlatmayı önlemek amacıyla, düşük empedans kriteri düşük ayarlanmış ($0.2 I_n$ 'den $0.5 I_n$ 'e kadar) akım eşiği ile birleştirilir, yani düşük gerilimle başlatma ancak bu minimum akım akarsa mümkün olur. Düşük empedansla başlatma olarak bilinen başlatma düzenlemesinde gerilim eşiği akım tarafından, akım arttıkça gerilimin açtırma hassasiyeti artırılacak şekilde kontrol edilir. Şekil 2.12 sonuçta ortaya çıkan başlangıç karakteristiğini göstermektedir.

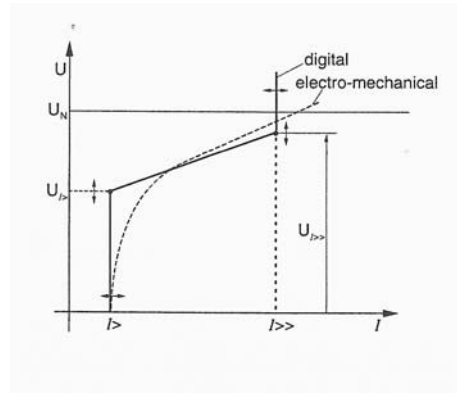
Bu durumda $I >> I_n$ bir aşırı akım başlatma kademesine eşdeğerdir. Tipik ayarlar:

$$I \geq 0.5 I_n \text{ ve } I \geq 2.5 I_n,$$

$$\text{aynı zamanda } U(I >) = 70\% U_n \text{ ve } U(I >>) = 100\% U_n$$



Şekil 2.11 Kısa devre sırasında röle noktasındaki gerilim.

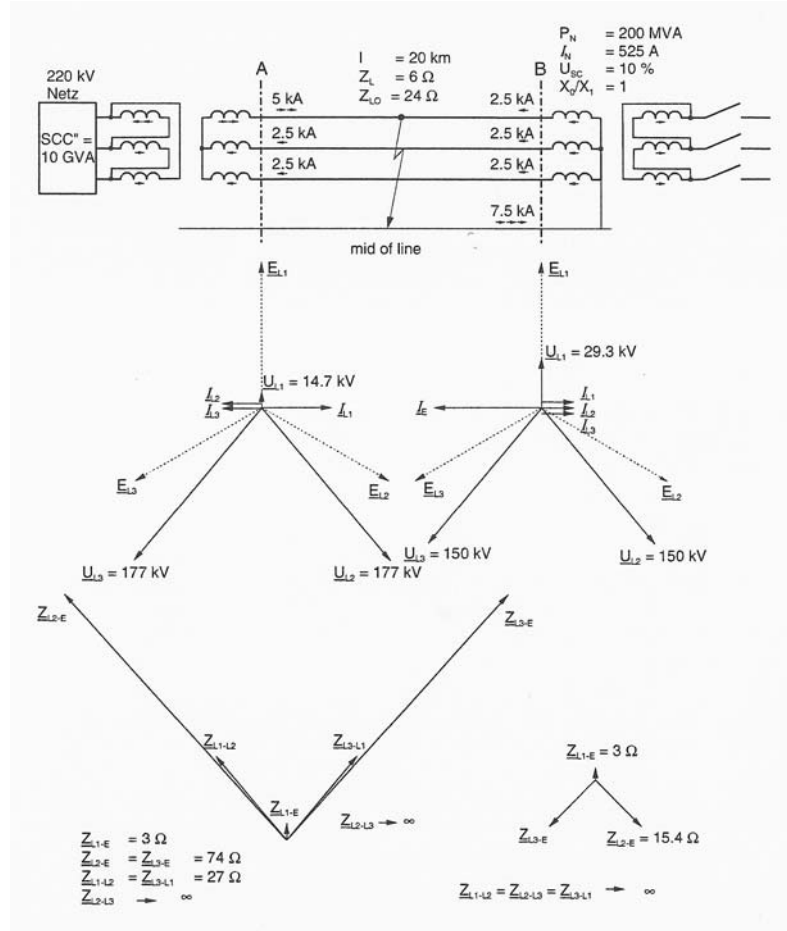


Şekil 2.12 Düşük-empedansla başlatma.

2.1.6.3 Etkili Topraklama Sistemi

Düşük empedansla başlatma (veya aşağıda anlatılan empedansla başlatma), faz seçiciliği olan arıza algılaması yapabilmek için kesinlikle gereklidir. Basit aşırı akımla başlatma genelde yeterli olmamaktadır. Topraklanmış bir sistemde, toprak arızaları esnasında kısa devre akımlarının sağlıklı fazlarda da akması mümkündür. Aşırı akımla başlatma bu faz akımlarının üzerinde ayarlanmalıdır. Bu akımlar sıfır ve doğru bileşenli sistemler arasında hattın iki ucunda ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.13, hattın bir ucunun beslenmediği, arızanın tek-faz toprak arızası olmasına rağmen üç fazdaki akımların eşit olduğu (Bauch paradoksu) ekstrem durumu göstermektedir. Seçici tek fazlı arıza algılaması, sadece faz-toprak gerilimi (veya ilgili empedans) kullanılarak mümkün olabilir. Normalde faz-faz gerilimleri röle ölçümü için,

toprak-arızaları sırasında faz-toprak gerilimlerine dönüştüğünde, yani toprak akımı aktığında veya bir yer-değiştirme (deplasman) gerilimi algılandığında kullanılmaktadır.



Şekil 2.13 Eşit olmayan kaynak ve topraklama koşullarındaki bir etkili topraklama sisteminde kısa devre.

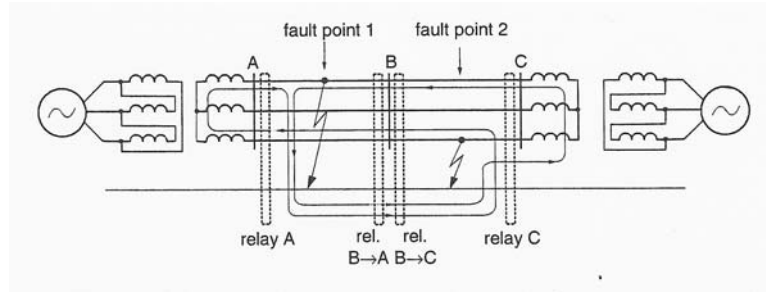
2.1.6.4 İzole (Ayrık) veya Peterson Bobiniyle Topraklanmış Sistemler

Bu sistemlerde tek-fazlı toprak arızaları özel bir toprak arıza koruması tarafından algılanır ve sadece uyarı alarmı yapılır. Hattın açılmasına gerek yoktur, çünkü bir kısa devre mevcut değildir; ve fider, şebekedeki uygun açma-kapama gerçekleştirilinceye kadar tüketicilerine kesinti yaşatmadan devrede kalabilir. Bu yüzden mesafe koruması tarafından yanlış arıza algılanması her ne pahasına olursa olsun engellenmelidir, çünkü arızalı fazdaki gerilim tüm şebekede sıfırdır ve harekete geçen mesafe ölçümü yanlış açmaya sebep olabilir. Bu nedenden dolayı faz-toprak ölçüm çevrimleri izole veya Peterson bobiniyle topraklanmış sistemlerde

sadece çift faz toprak arızalarında harekete geçirilmelidir. Bu, tek fazlı toprak arızası koşullarında arıza arkı Peterson bobini tarafından söndürülmemişken akan toprak akımının üzerine yerleştirilen bir toprak akımı detektörü ile gerçekleştirilebilir.

Büyük şebekelerde bu toprak arıza akımı (ark söndürülmemiş) çift faz toprak arızalarında tek faz toprak akımı değerini alabilir (ülke çapında arızalar). Bu durumda tek faz toprak ve çift faz toprak arızalarının ayırt edilmesi basitçe toprak-akımı kullanılarak yapılamaz. Bu durumda ancak doğru bileşen veya faz-faz gerilimleri ile yapılan ölçümlere izin verilebilir.

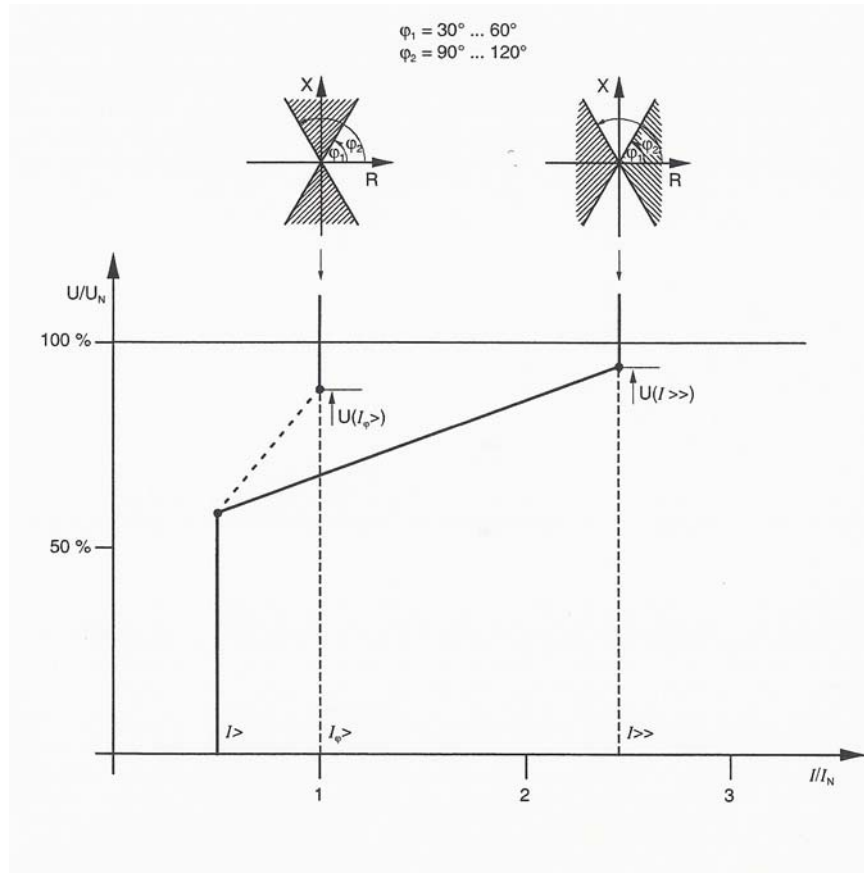
Çift fazlı arızanın toprak akımı ile kesin olarak algılanması ancak iki toprak arızası arasında mümkündür (Şekil 2.14). Yer değiştirme gerilimi $U_E = U_{L1} + U_{L2} + U_{L3}$ yöntemiyle algılama ise bu bölgenin dışında mümkün olabilir ancak günümüzde uygulanmamaktadır. Bu nedenle bir iki-fazlı arıza, besleme noktalarında algılanır ve ölçülür. Ölçülen empedans değeri doğal olarak hassas değildir ve iki toprak arızası noktasına olan uzaklıkların ortalamasıdır.



Şekil 2.14 Çift-faz toprak arızası (ülke çapında arıza) akım dağılımı.

2.1.6.5 $U/I/\phi$ ile Başlatma (Açıya Bağlı Düşük Empedans Başlatma)

Havai hat şebekelerinde kısa devre açısı yük açısından önemli ölçüde büyüktür. Örneğin, iletim hatlarında yük açısı $\pm 30^\circ$ seviyesinde iken kısa devre açısı $> 70^\circ$ 'dir. Akım ve gerilim arasındaki açı bu nedenle düşük empedanslı başlamada ek bir başlangıç kriteri olarak kullanılabilir. Açı kriteri, ölçülen kısa devre açısı yük açısının üzerinde, ayarlanabilir bir seviye içinde olduğu zaman (Şekil 2.15), düşük empedans başlatıcısının ($I_\phi > U_{(I\phi>)}$) daha yüksek hassasiyete ulaşabilmesi için kullanılmaktadır.



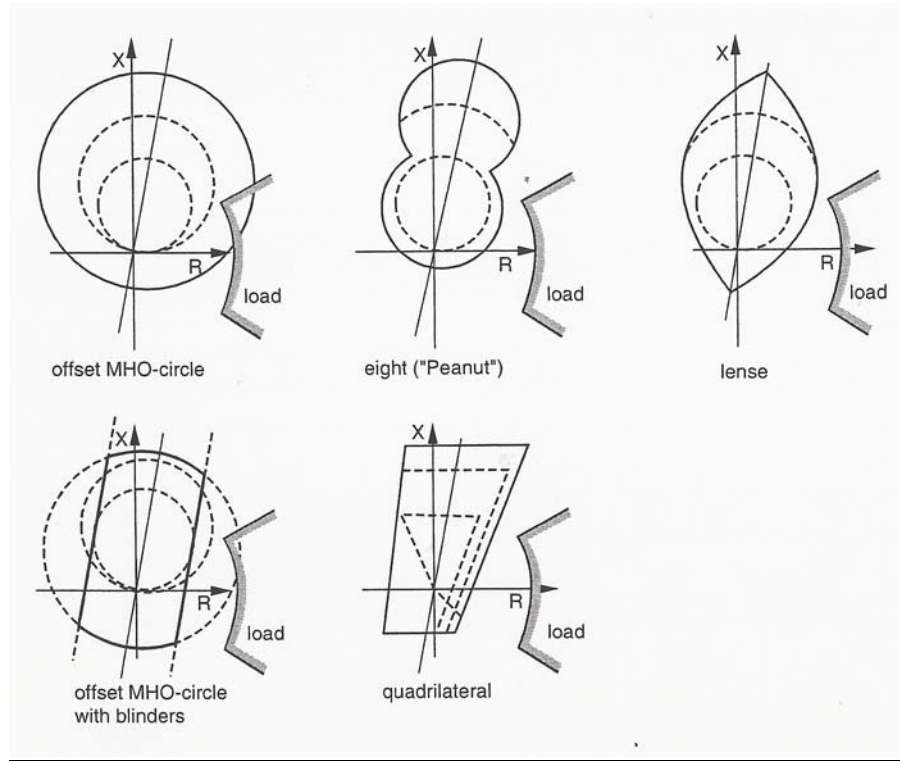
Şekil 2.15 U/I/φ -ile başlama.

Uzak beslemelerin ölçülen empedansın artışına sebep olduğu yerlerde açı kriteri, hataların algılanması için erişimi hatların sonunda veya bitişik hatlarda genişletir.

2.1.6.6 Empedansla Başlatma

Şekil 2.2’de gösterildiği gibi, empedans karakteristiği arıza ve yük koşullarını ayırt etmek için çok uygundur. Bu durumda, tüm altı arıza çevrimleri

(L1-T, L2-T, L3-T, L1-L2, L2-L3, L3-L1) sürekli olarak ölçülür veya nümerik teknolojiyle hesaplanır ve izlenir. Konvansiyonel rölelerle başlatma karakteristiği, daire ve düz çizgi elemanlarının varyasyonlarının uygulanmasıyla optimize edilmiştir (Şekil 2.16).

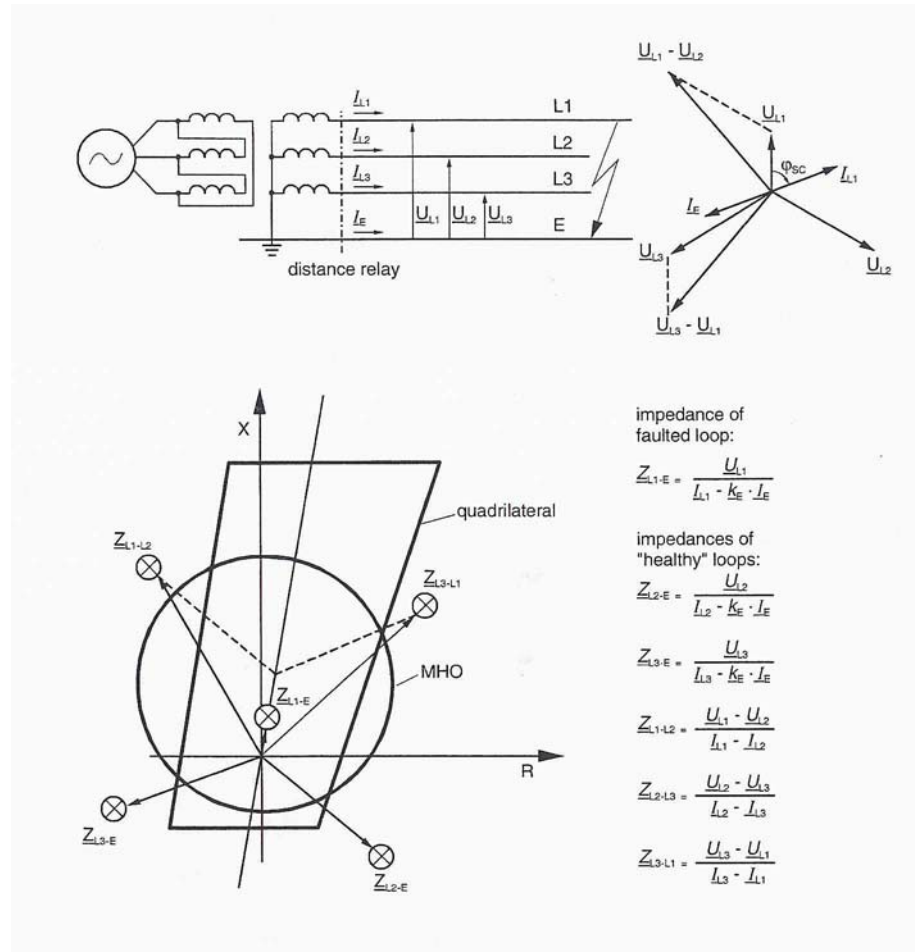


Şekil 2.16 Konvansiyonel teknolojiye empedansla başlatma. Kaynak: Ziegler G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

Bu durumda avantajlar aşağıdaki gibidir:

- uzaktaki arızaların algılanabilmesi için X-doğrultusunda büyük erişim
- yükün sınır aşımına karşı güvenli marj sağlayarak R-doğrultusunda yeterli ark kompanzasyonu.

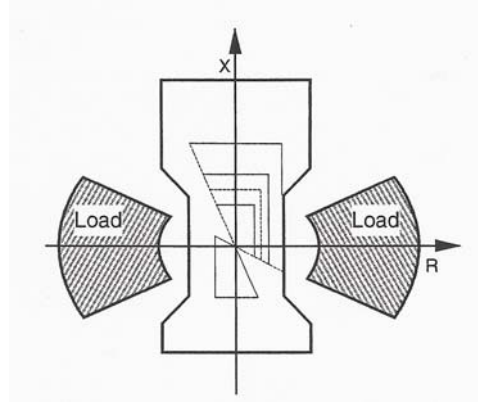
Fakat başlatma empedansı karakteristiğinin daha büyük alanı bir problem doğurur: kısa devre anında ölçülen, arızadan etkilenmeyen fazlardaki “sağlıklı” diye adlandırılan empedanslar (“görünür empedanslar”) başlatma karakteristiği içinde kalarak yanlış arıza algılamasına sebebiyet verebilir. O zaman koruma tek fazlı açacağı yerde üç fazlı açma yaparak otomatik tekrar kapamayı bloke edebilir (Şekil 2.17).



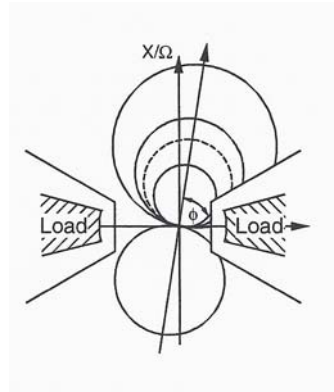
Şekil 2.17 Konvansiyonel koruma, faz seçici arıza koruması için başlatma karakteristiğinin alanının sınırlanması. Kaynak: Ziegler, G., (1999), "Numerical Distance Protection", Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

Bu nedenle, konvansiyonel rölelerde, ayar değeri uygun olarak sınırlı olmalıdır. Bu konuda nümerik teknoloji önemli gelişmeler getirmiştir, başlatma karakteristiğinin şekli artık geniş ölçüde optimize edilmiştir (Şekil 2.18).

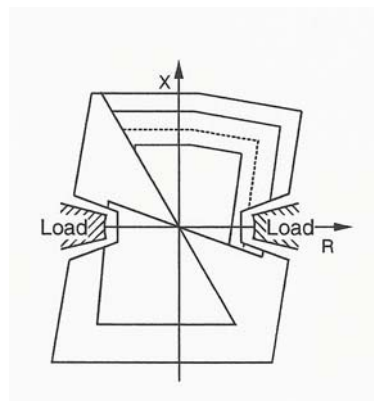
"Sağlıklı" empedansları hesaba katmamak için alanı kısıtlamaya artık gerek yoktur, çünkü faz seçiciliği ek önlemlerle sağlanmıştır (empedansların nümerik olarak karşılaştırılması, arıza kalıplarının algılanarak seçilmesi, fark miktarlarının kullanılması).



a) Röle 7SA513



b) Röle 7SA522 (MHO Ayarı)



c) Röle 7SA522 (dörtgen ayar)

Şekil 2.18 Optimize edilmiş başlatma karakteristiği. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

2.1.6.7 Başlatma Karakteristiğinin Modeli

Aşırı akım ve düşük empedansla başlatma, genellikle bir U/I diyagramında gösterilir (Şekil 2.15). Eğer verilen sabit bir kaynak empedansı ele alınırsa, U/I karakteristiği empedans yüzeyine dönüştürülebilir (Şekil 2.19). Bu durumda aşağıdaki ilişkiler geçerlidir:

Aşırı akımla başlatma:

$$|Z + Z_s| \leq \frac{1.1U_N}{I} \gg \quad (2.2)$$

Düşük gerilimle başlatma:

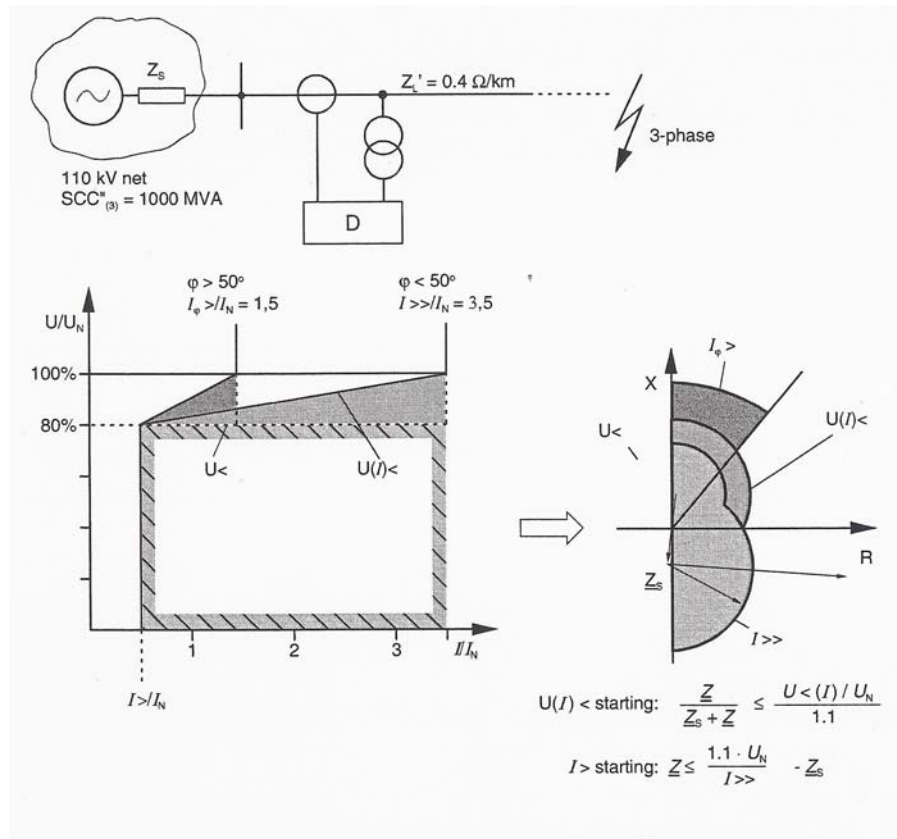
$$\left| \frac{Z}{Z + Z_s} \right| \leq \frac{U < / U_N}{1.1} \quad (2.3)$$

Bunlar her zaman şekil 2.19’da gösterildiği gibi dairelerle sonuçlanır. Artan $U(I) <$ karakteristiği empedans düzleminde daha yüksek dereceli bir fonksiyona tekabül eder. Bu karakteristiğin bir yaklaşımı, bilinen denklemlerle adım-adım yöntemle gerçekleştirilebilir.

Empedans düzlemindeki bu model pek alışıl gelmiş değildir. Düşük empedansla başlatmanın avantajı özellikle, ayarlamasının santralin anma değerlerine bağlı olan akım ve gerilim sınırlarına (örn. transformatörün izin verilen aşırı akımı) veya işletme verilerine (örn. sistemde izin verilen düşük gerilim) dayalı olması ve buralardan türetilmesidir. Sistemdeki arızalar sırasındaki erişim bir kısa-devre akım hesaplamasıyla belirlenir. Empedansla başlatma doğal olarak her zaman empedans düzleminde modellenir. Avantajı, koruma devresi üzerindeki erişim kaynak empedansından bağımsız olması ve empedans bölgeleriyle sabit bir ilişkiye sahip olmasıdır. Ayrıca örneğin güç sistemindeki güç salınımları ve mesafe koruması üzerindeki etkileri empedans diyagramında daha açık modellenmektedir, çünkü bunların arasında bilinen güç salınımı bloke etme fonksiyonları empedans ölçümü temeline dayanmaktadır. Fakat buna zıt olarak empedans diyagramından santralin ters olarak aşırı yüklenmesi mümkün değildir. Bu da yük merkezi için, örneğin bir aşırı akım esnasında hat korumasının açacağı bir akım belirlemenin imkansız olacağını göstermektedir. Başlatmanın faz seçiciliği önemli bir rol oynamaktadır. Değiştirmeli mesafe korumasında çevrim seçimi için kesinlikle zorunludur. Düşük empedansla başlatmada bunu elde etmek, sağlıklı fazlardaki görünür empedansların yok edilmesinin dikkate alınması gereken empedansla başlatmada elde etmekten daha kolaydır (Şekil 2.17). Büyük ihtimalle diğer sebeplerin arasında bu, düşük

empedansla başlatmanın; kompakt değiştirmeli mesafe rölelerinin orta ve yüksek gerilim ağ şebekelerinde büyük miktarlarda uygulandığı Avrupa'ya girmesindeki nedendir. Diğer ülkelerde mesafe koruması her zaman değiştirmesiz olmuş pratikte sadece iletim sisteminde kullanılmıştır. Bu yüzden sıkı bir faz seçici başlatma gerekli değildir, çünkü tek-fazlı otomatik tekrar kapama nadiren uygulanıyordu.

Nümerik rölelerle yeni bir durum ortaya çıkmıştır. Akıllı algoritmaların gelişile, örneğin ek bir empedans karşılaştırması için, ayarlamalarda kısıtlamalar olmaksızın kesin faz seçiciliğini elde etmek mümkün olmuştur. Sonuç olarak, her iki başlatma karakteristiğinin avantajları ve dezavantajları vardır. Birinin tercih edilmesi, büyük oranda tarihsel gelişimlerle açıklanmıştır. Düşük empedansla başlatma Avrupanın büyük bölümünde uygulanırken, dünyanın geri kalanı her zaman empedansla başlatmayı tercih etmiştir.



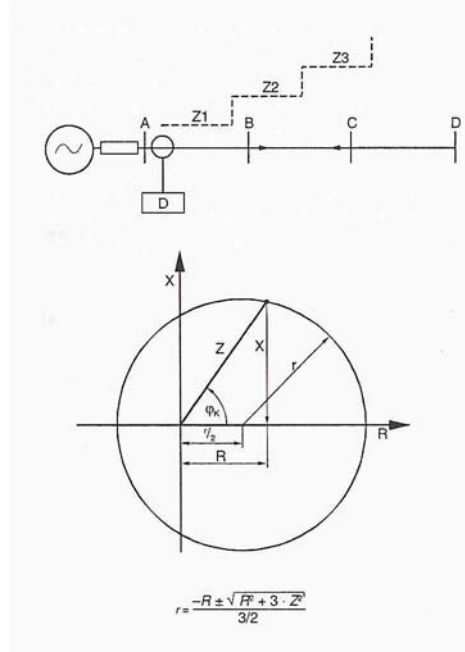
Şekil 2.19 Empedans düzleminde U-I- ϕ ile başlatmanın modeli. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

2.1.7 Mesafe Bölgeleri

Şekil 2.1b, mesafe korumasının adım adım karakteristiğini göstermiştir. Bu, empedans düzleminde bir empedans karakteristikleri kümesine tekabül eder. Empedans düzlemindeki orijin ($R=0$; $X=0$), buradan mesafenin ölçüldüğü röle konumuna tekabül eder.

Şekil 2.20b, modern bir nümerik korumanın (7SA511) dörtgen (çokgen) karakteristiğinin, mekanik bir korumanın (R1KZ4) dairesel karakteristiği ile karşılaştırmasını göstermektedir. Korunan fider boyunca yapılan korumanın erişimi; her zaman röle karakteristiğinin, fiderin empedans seyrini modelleyen çizgi ile kesişmesine tekabül etmektedir. Mekanik koruma için tipik bir örnek olarak bir kaydırılmış empedans karakteristiği kullanılmıştır. Bu durumda ölçüm devresi, basit empedans dairesiyle karşılaştırıldığında bir miktar ark kompanzasyonu sağlaması için daireyi R-doğrultusunda yarıçapının yarısı kadar otomatik olarak kaydıracak şekilde düzenlenmiştir. Yarıçap r 'ye tekabül eden ayarlama, şekil 2.20a'da gösterilen denklem kullanılarak hesaplanmaktadır. Dairesel karakteristiğin hat empedansını modelleyen çizgi ile kesişimindeki Z değeri denklemde kullanılmıştır. Bu kesişme noktası, daha önce tanımlanmış olan korunan hat boyunca yer alan bölgenin erişimine tekabül eder. O suretle örneğin $Z_{||}$, 2. bölge için yarıçap r_2 'nin hesaplanmasında 2. bölge için Z 'nin değerine eşittir. Radyal (merkezden çevreye doğru) bağlı fiderlerin hat açıları eşit olmadığı zaman, örneğin havai hattı bir kablo takip ediyorsa, o zaman hesaplama kullanışsız olur. Bu nedenle grafiksel yöntemlere başvurulur. Günümüzde bazen bilgisayar programları kullanılmaktadır. Diğer yandan dörtgen karakteristik (çokgen karakteristik) R ve X erişimi için bağımsız ayarlamalara sahiptir. Bu yüzden her hat uzunluğu için yeterli ark kompanzasyonu elde etmek mümkündür. Çokgenin X-doğrultusundaki (bölge erişimi) ayarlama, basit olarak ilgili kesişen empedansın X değerinden türetilir (örn. $x_2 = X_{||} = Z_{||} \sin \phi_{||}$). Bu durumda hat empedansını göstermeye gerek yoktur, çünkü hat empedansının X değeri, direkt olarak belirli bir hat-uzunluğundaki X erişim uzunluğunu belirlemek için kullanılabilir. O suretle örneğin

$$x_2 = X_{A-B} + 0.5X_{B-C}$$



Şekil 2.20a Kaydırılmış empedans dairesi. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

Benzer bir şekilde, R-erişim ayarlaması hat dirençlerinin toplamından hesaplanabilir. Ark direnci için yedek de buraya eklenmelidir, yani

$$R_2 = R_{A-B} + 0.5R_{B-C} + R_{ARC2} \cdot$$

Çokgen karakteristikli nümerik koruma (7SA511 ve 7SA513) için gerekli ayarlamaların hesaplamaları bu nedenle önemli ölçüde kolaylaştırılmıştır. Tüm bunların ötesinde, verilen sistem koşullarına önemli ölçüde daha fazla esnek uyumluluk mümkün kılınmıştır.

her bölgenin ya ileri ya da geri yönde seçilmesine izin verir. Konvansiyonel rölelerde bu sadece yüksek gerilim röleleri (R1Z23, 7SL24 veya R3Z27, 7SL31) ile, ve de sadece tek bir bölge için mümkündür.

Zamandan bağımsız bir aşırı menzil bölgesi (Z_{IB})

Müsaadeli bir koruma şekli için (karşı merkezden açtırma) için aşırı menzil bölgesi.

Güç-salınımını bloke etme bölgesi Z_p

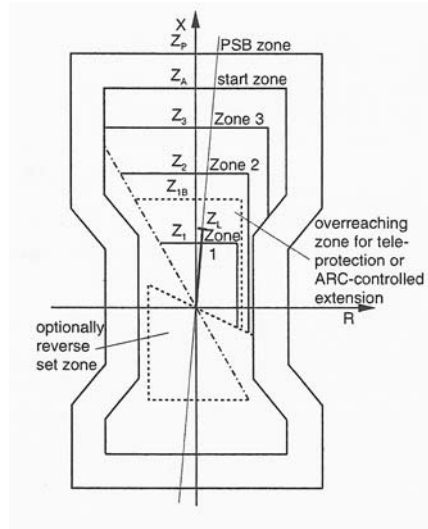
Bu bölge, güç-salınımı bölgesi ile başlatma bölgesi arasında ΔZ 'e eşit olacak bir boşluk olacak şekilde, başlatma bölgesi civarında yer alır. Güç salınımı blokaj denkleminin çalışma şekli bölüm 2.1.10'de açıklanmıştır.

Mesafe rölesinin başlamasıyla ve bölge zamanlayıcılarından daha uzun zaman ayarlamasıyla yönlü bir kademe

Yön karakteristiği ile birleşik olan başlatma, ileri doğrultudaki yönlü yedek bölgeyi oluşturur. Bu, üçüncü mesafe bölgesini takiben zaman gecikmeli üçüncü bir yedek bölge olarak kullanılır. Empedansla başlatmanın bu durumunda bu, belirli erişimiyle gerçek bir mesafe bölgesidir. Aşırı akım başlatması kullanıldığı zaman, bu bölge yönlü bir aşırı akım korumasına tekabül eder, ve düşük empedansla başlatma kullanıldığında, bu bölge bir yönlü, gerilim-kontrollü aşırı akım korumasına tekabül eder.

Mesafe rölesinin başlamasıyla ve bölge zamanlayıcılarından daha uzun zaman ayarlamasıyla yönsüz bir kademe

Bu yönsüz kademe son yedek olarak adlandırılır, önceki kademelerin hiçbirinin arızayı algılayamaması durumu içindir. Başlatma bölgesi, düşük empedansla başlatma kullanıldığında, uzun zaman gecikmeli veya yönsüz zaman gecikmeli aşırı akım korumasıyla birleşmiş yönsüz bir mesafe bölgesine tekabül eder.



Şekil 2.21 Nümerik mesafe korumasının bölgeleri (örnek olarak şekli değiştirilmiş dörtgen) .
Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

2.1.8 Değiştirmeli ve Değiştirmesiz Mesafe Koruması

Konvansiyonel teknolojide değiştirmeli mesafe koruması, mesafe veya doğrultu için sadece bir ölçüm sistemine sahiptir. Ölçü büyüklükleri olan gerilim ve akımın, arıza tipine göre seçilmesi ve ölçme sistemine çevrilmesi gerekmektedir. Analog koruma aygıtları, ölçülen değerlerin değiştirilmesi için kontak (röle) kullanmadan tranzistörleri uygulamıştır.

Bu yapıdaki röleler (elektromekanik: R1KZ4, R1Z23, statik: 7SL17, 7SL24) “seçim lojigiyle mesafe koruması” olarak adlandırılırlar ve yaygın olarak değiştirmeli mesafe röleleridirler. Bu rölelerin büyük bir miktarı orta gerilim ve yüksek gerilim devrelerinde hizmet vermektedir.

Sadece başlatma elemanlarının çalışmasından sonra ölçüm değerlerini seçerek ve onları ölçüm sistemlerine dönüştürerek, mesafe ölçümü her zaman geciktirilmiş olur. Buna ek olarak ta ölçümün biraz gecikmeli olması gerekmektedir (iki yarım periyod ölçümü) ki, arıza durumunun değişmesi sırasında yanlış operasyonlar önlenesin.

Benzer olarak, nümerik koruma için “tek sistem” mesafe koruması adlandırması, başlatıcılar tarafından kontrol edilen sadece tek bir çevrim-empedansını hesap eden bir koruma rölesini tanımlar. (7SA511)

Ancak nümerik koruma kullanılması durumunda, analog korumaya göre çok önemli bir fark mevcuttur.

- Tüm çevrimlerin ölçülen değerleri, sürekli olarak çevrimsel tamponlarda örneklenir ve kaydedilir. Bu yüzden mesafe koruması, bu ölçülen değerleri önce değiştirerek seçmeye gerek olmaksızın, onlara sürekli olarak erişebilir (değiştirmesiz röle).
- Ölçüm tekrarı artık çevrimle ilişkili değildir ve daha kısa aralıklarda gerçekleştirilebilir.
- Sonuç, açma zamanlarında sadece küçük bir farkın olmasıdır (iki zaman karşılaştırıldığında 7SA511: 25ms , 7SA513: 15ms)

2.1.9 Haberleştirme Kanallarıyla Mesafe Koruması

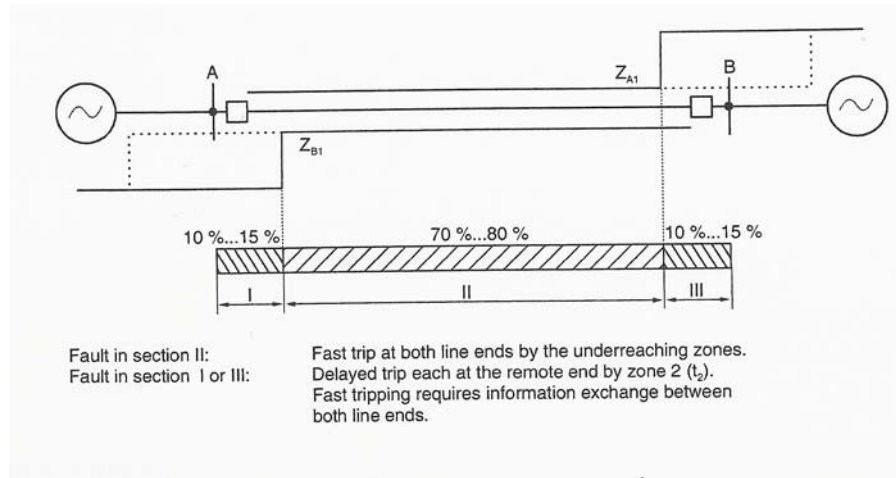
Devrenin her iki ucundaki mesafe röleleri, bilgi alışverişi için haberleşme kanallarıyla beraber, korunan fiderde zaman gecikmesi olmaksızın tüm arızaları seçici olarak gideren bir koruma sistemi oluşturabilmektedir. (Şekil 2.22)

Böyle bir sistemde koruma, ya müsaade veren veya bloke eden (kilitleyen) sinyali, müsaade veren ya da bloke eden düzenin uygulanmasına bağlı olarak iletmek zorundadır. Herhangi bir durumda, küçük bir bant genişliği kanalının yeterli olduğu sadece basit bir evet/hayır sinyali iletilir. Örneğin Siemens koruma haberleşme cihazı SWT 500FT, 2.5kHz ses frekansı bandında 4 komut iletebilir; yani mesafe koruma sinyali dışında diğer koruma amaçları veya uzaktan kumanda için 3 başka komutun iletilebilmesine uygun yer vardır.

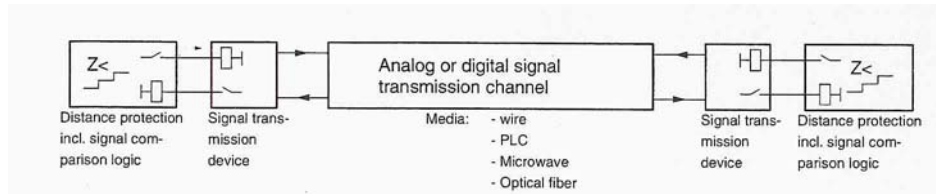
Aşağıdaki haberleşme ortamı geçerlidir:

- Kılavuz hatlar (endüklenen gerilimlere karşı ekranlama ve yalıtımlı özel koruma haberleşme kabloları)
- Yaklaşık 400km'ye kadar mesafede PLC diğer bir ismiyle kuranportör kanalları (yüksek gerilim havai hatlarında güç hattı taşıyıcısı ile iletim)
- Doğrudan yaklaşık 50km'ye (görüş çizgisi) kadar yönlü radyo; daha uzun mesafeler röle istasyonları kullanılarak
- Fiberoptik kablolarla yaklaşık 150km'ye kadar direkt hatlar; daha uzun mesafeler

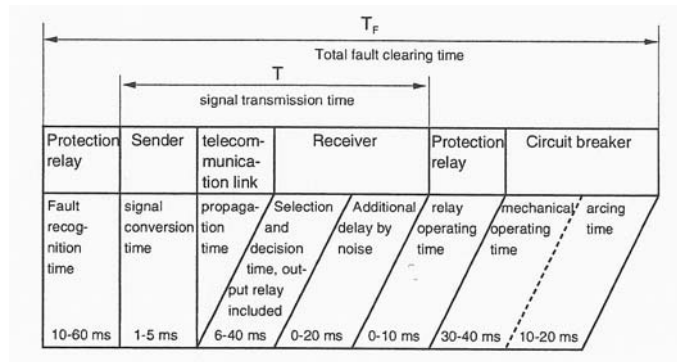
tekrarlayıcı kuvvetlendiricilerle kullanılabilir.



Şekil 2.22a Niçin haberleşme kanallarıyla mesafe koruması ? Kaynak : CIGRE Working Group Report, (1987), "Protection Systems Using Telecommunication", Paris.



Şekil 2.22b Koruma verisi haberleşme sistemi. Kaynak : CIGRE Working Group Report, (1987), "Protection Systems Using Telecommunication", Paris.



Şekil 2.22c Veri haberleşmesiyle mesafe koruması, operasyon zamanları. Kaynak : CIGRE Working Group Report, (1987), "Protection Systems Using Telecommunication", Paris

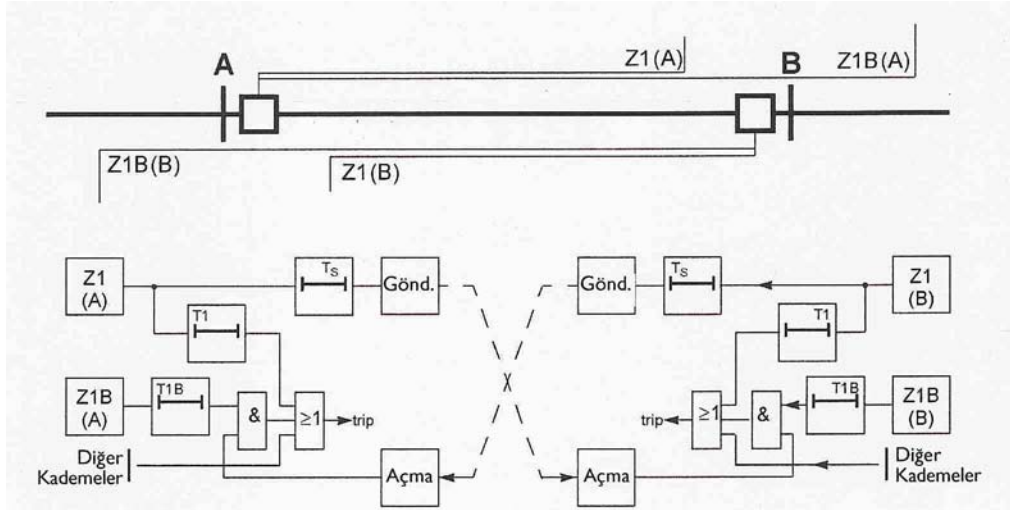
Ses frekansı koruması veri iletim cihazlarında sinyal iletim zamanı yaklaşık olarak 15-20ms'dir. Bu kanallarda frekans kaydırma modülasyon tekniği olarak kullanılır. Bu teknik girişimden etkilenmez. Güç hattı taşıyıcısı kullanıldığında (PLC), yüksek frekanslı taşıyıcının doğrudan uygun hale getirilmesiyle (genlik modülasyonu), iletim zamanı yaklaşık 5ms'ye indirgenir. Fakat kötü işleme karşı daha düşük güvenliği olması sonucu, bu yöntem sadece blokaj sisteminde kullanılır (özellikle ABD'de).

Optik fiberler kullanılarak dijital iletimle veri haberleşmesi, çok geniş imkanlar sunmaktadır. Bu durumda, pratikte girişim olmaz ve iletilen veriyi kodlayarak aşırı yüksek güvenlik elde edilebilir. Çok yüksek erişilebilirlik ve 5ms'nin altında aşırı kısa iletim zamanlarına ulaşılabilmektedir (koruma verisi haberleşmesi için FO cihazı SWT 2000 D).

Aşağıda Türkiyede yaygın olarak kullanılan yöntemler anlatılmıştır:

2.1.9.1 Kademe Hızlandırmalı Müsaadeli Düşük Menzil Karşıdan Açtırma (Permissive Underreaching Transfer Trip, PUTT)

Şekil 2.23'de bu müsaadeli düşük menzil karşıdan açtırma tertibi için kademe hızlandırmalı çalışma tertibinin fonksiyon şeması görülmektedir. Z1 kademesi içinde bir arıza durumunda, açma sinyali karşı hat ucuna gönderilir. Karşı uçtaki cihaz, ayarlanan yönde Z1B kademesi içinde başlatma almışsa, alınan sinyal ile birlikte bir açma başlatır. Her iki hat ucundaki cihazların başlatma zamanları arasındaki farkı denkleştirmek için, gönderme sinyali, Ts süresi kadar uzatılabilir. Mesafe korumanın birinci kademe menzili (Z1), yaklaşık olarak hattın %85'ini ve aşırı menzil kademe menzili de (Z1B), karşı istasyonun ötesini (yaklaşık olarak korunan hattın %120'sini) görece şekilde ayarlanır.



Şekil 2.23 Kademe hızlandırılmalı müsaadeli düşük menzil karşıdan açtırma. Kaynak : Siemens, (2003), “7SA6 Distance Protection Relay Manual”, Germany.

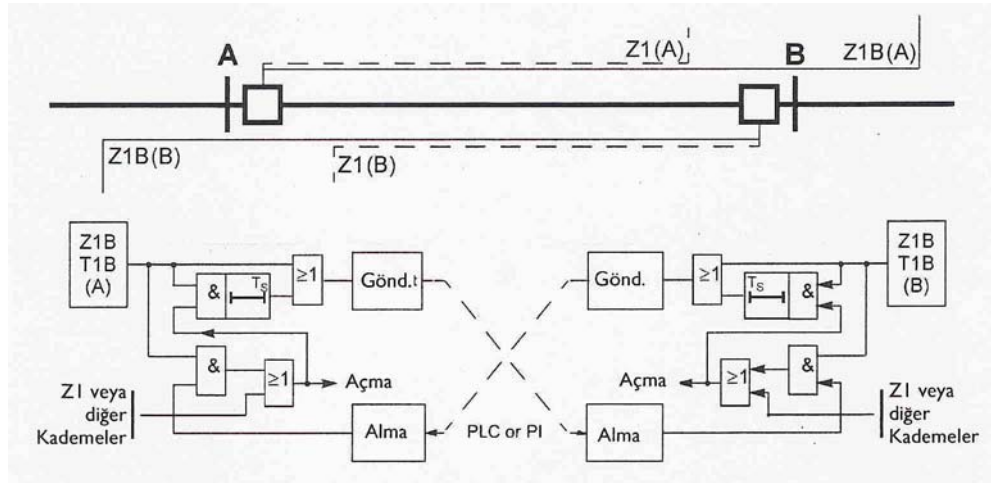
2.1.9.2 Müsaadeli Aşırı Menzil Karşıdan Açtırma (Permissive Overreaching Transfer Trip, POTT)

Müsaadeli aşırı menzil karşıdan açtırma modu, müsaadeli bir tertiptir. Karşı istasyonun ötesine ayarlanan aşırı menzil kademesi belirleyicidir. Bu mod, aynı zamanda Z1 kademesi için hat uzunluğunun % 85'i bir ayarın mümkün olmadığı ve dolayısıyla seçicili gecikmesiz bir açmanın yapılamayacağı aşırı kısa hatlarda da kullanılabilir. Bu durumda, Z1 kademesi ile seçicisiz açmayı önlemek için, bu kademe T ile biraz geciktirilmelidir (Şekil 2.24).

Eğer mesafe koruma Z1B kademesi içerisinde bir arıza tespit etmişse, karşı hat ucuna bir müsaade sinyali gönderir. Eğer karşı hat ucundan da bir müsaade sinyali alınmışsa, açma mantığına bir açma sinyali gönderilir. Dolayısıyla hızlı açma için bir önkoşul, arızanın her iki uçtan da ileri yönde, Z1B kademesi içerisinde görülmüş olmasıdır. Z1B aşırı menzil kademesi, karşı istasyonun ötesini görecektir (yaklaşık olarak hattın % 120'sine) ayarlanır. Gönderme sinyali, ayarlanabilir Ts süresi kadar uzatılabilir. Gönderme sinyalinin uzatımı, ancak koruma hızlı bir açma komutu vermişse etkindir. Bu, arıza bağımsız Z1 kademesi tarafından hızlı olarak temizlenmiş olsa bile, karşı hat ucundaki cihazın müsaade sinyalini almasını garanti eder.

Z1B kademesi hariç diğer tüm kademelerde, korumanın sinyal iletiminden bağımsız, genel koordinasyon karakteristiğine göre, karşı hat ucundan müsaade sinyali alınmaksızın kendi kademe zamanları ile açma komutu verilir. Türkiye’de 380kV mesafe koruma sistemlerinde

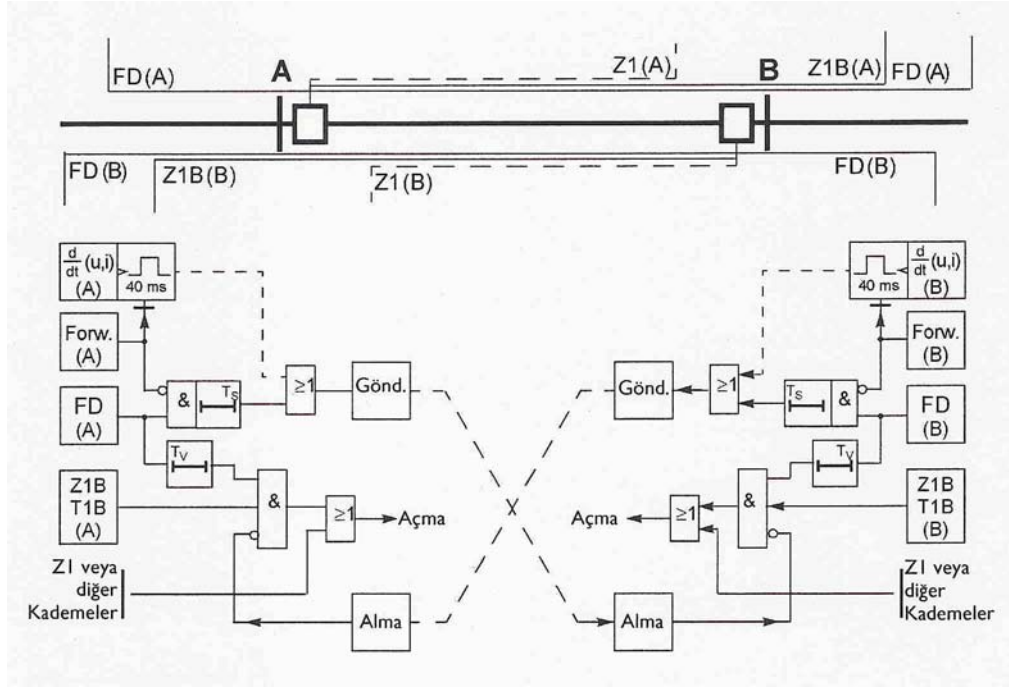
müsaadeli aşırı menzil karşıdan açtırma ve yönlü kilitleme düzeni kullanılmaktadır.



Şekil 2.24 Müsaadeli aşırı menzil karşıdan açtırma. Kaynak : Siemens, (2003), “7SA6 Distance Protection Relay Manual”, Germany.

2.1.9.3 Yönlü Kilitleme Düzeni

Kilitleme tertibinde, iletim kanalı, bir hat ucundan diğerine bir kilit sinyali göndermek için kullanılır. Sinyal, arıza başlangıcının hemen sonrası doğrudan gönderilebilir (birim basamak sinyali, Şekil 2.25’de noktalı çizgi) ve mesafe koruma ileri yönde bir arıza tespit eder etmez sinyal iletimi derhal durdurulur. Seçenek olarak, ancak mesafe koruma geri yönde bir arıza tespit etmişse sinyal gönderilir. Mesafe koruma ileri yönde bir arıza tespit eder etmez sinyal iletimi derhal durdurulur. Bu tertiple, karşı hat ucundan bir sinyal alınmasa bile açma mümkündür. Bundan dolayı; genellikle sinyal iletiminin kuranportör cihazı (PLC) kullanılarak korunan hat üzerinden yapılmasının gerekli olduğu çok uzun hatlarda, arıza yerinde iletilen sinyalin çok şiddetli zayıflamasından hatta kaybolmasından dolayı, karşı uçtan sağlıklı sinyal alınmasının artık garanti edilemeyeceği durumlarda kullanılır. Şekil 2.25’te, yönlü kilitleme tertibinin fonksiyon şeması gösterilmiştir. Eğer karşı uçtan bir kilitleme sinyali alınmamışsa, yaklaşık olarak hattın % 120’sine ayarlanan aşırı menzil kademesi Z1B içerisindeki arızalar açmaya sebep olur. Hattın her iki ucundaki cihazların başlatma zamanı gecikmelerindeki olası farklılıklar ve sinyal iletim zaman gecikmesi yüzünden, açma, T_v ile biraz geciktirilmelidir. Sinyal yarışı durumlarını önlemek için, gönderilen sinyal, bir kez başlatıldığında, ayarlanabilir T_s süresi kadar uzatılabilir.



Şekil 2.25 Yönlü kilitleme düzeni. Kaynak : Siemens, (2003), “7SA6 Distance Protection Relay Manual”, Germany

2.1.10 Güç Salınımı Blokajı, Güç salınımı açtırması

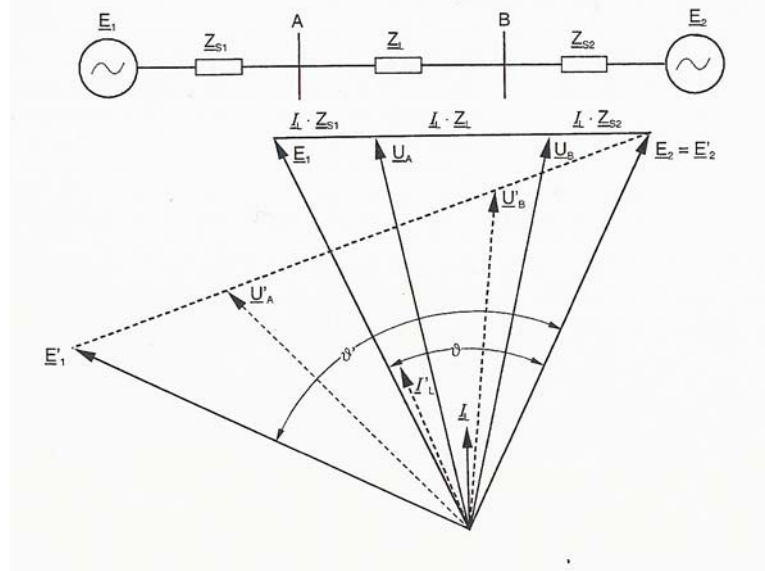
Yük dalgalanmaları, kısa devreler, tekrar kapama ölü zamanları veya anahtarlama işlemleri gibi dinamik olaylar sonrası, jeneratörler şebekedeki yeni yük koşullarına salınımlı bir biçimde kendilerini ayarlamak zorunda kalabilirler. Mesafe koruma, güç salınımı sırasında yüksek mertebedeki geçici dengeleme akımlarını ve –özellikle şalt merkezlerinde- güç salınımı sırasında gerilim düşümlerini tesbit eder. Küçük gerilimlere eşlik eden yüksek mertebedeki akımlar, arıza empedansı gibi görünür; bu da mesafe koruma tarafından yanlış açmalara yol açar. Ağır yük koşullarına sahip, yani büyük güç aktarmalarının yapıldığı büyük şebekelerde, bu şekildeki güç salınımları, enerji iletimindeki kararlılığı bile tehlikeli boyutlarda riske sokabilir.

Şekil 2.26a, yük altındaki bir havai hattın gerilim diyagramını göstermektedir. Bağlanan şebekeler E_1 ve E_2 eşdeğer kaynakları tarafından modellenmektedir. Z_{s1} ve Z_{s2} kaynak empedansları, iki kaynağın ilgili kısa devre gücüne tekabül eder. ψ açısı iletim açısı olarak adlandırılır. İletilen gerçek güç arttıkça, bu açı büyür.

İletilen güç aşağıdaki denklem tarafından tanımlanmaktadır:

$$P_{TP} = \frac{E_1 E_2}{Z_T} \sin \upsilon \quad (2.4)$$

$$Z_T = Z_{S1} + Z_L + Z_{S2} \quad (2.5)$$



Şekil 2.26a Bir iletim sisteminde güç salınım koşulu, gerilim diyagramı. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

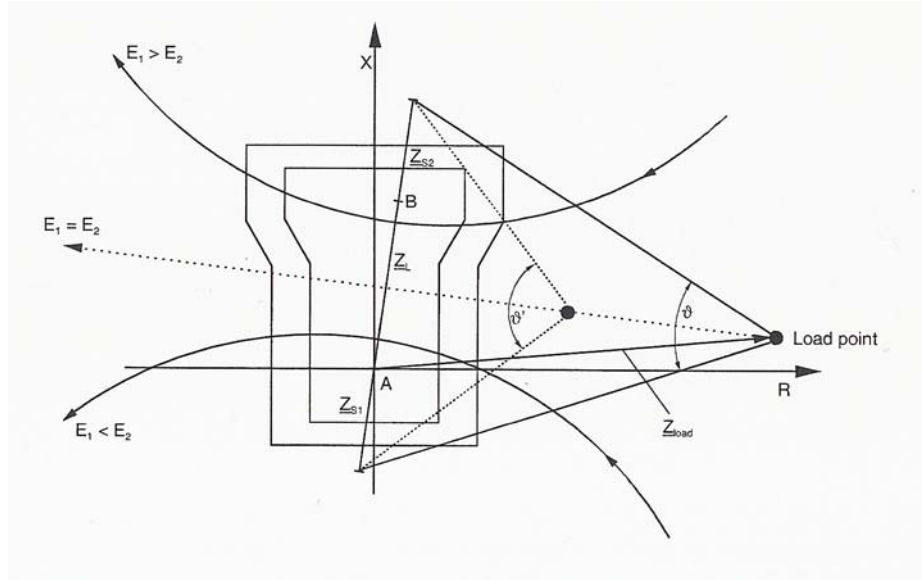
2.1.10.1 Statik Kararlılık

Şekil 2.26a’dan da görüleceği gibi maksimum güç transferi $\upsilon=90^\circ$ ile elde edilir. Aynı zamanda bu statik kararlılık sınırına da tekabül eder. Bu noktanın ötesinde kararlı bir işletme sağlanamaz. Fakat pratikte, 60° ’nin üstünde işletme neredeyse hiç bulunmaz, çünkü kararlılık eşiğiyle arasında bir güvenlik marjı bırakılmalıdır.

Eğer tüm gerilimler yük akımı I_L tarafından bölünürse, hattın yük altındaki empedans diyagramı elde edilmiş olur. Empedans düzlemindeki model, bahsi geçen mesafe rölesi koordinat sisteminin orijininde yer alacak şekilde yapılır (Şekil 2.26b). Bu modelle, röle tarafından ölçülen yük empedansı açıkça ortadadır ve röle başlatma karakteristiğine olan mesafesi belirlenebilir. Yük değiştiğinde, yük empedansı gösterilen yörüngelerde hareket eder (dairesel yol). Eğer normal sistem koşulları için ilk yaklaşıklık olarak kullanılabilen $E_1=E_2$ eşitliği varsa; empedans, toplam empedans Z_Σ ’a dik olan düz bir çizgiyi takip eder. İzin verilen en yüksek sürekli hal güç transferinde, yani $\upsilon=90^\circ$ iken, normal işletmede oluşan yük

değişimlerinde rölenin başlatılmasını engellemek için yük empedansı en büyük röle karakteristiğiyle arasında yaklaşık %20'lik bir güvenlik marjı bulundurulmalıdır ($Z_{yük} \cdot \cos \varphi \geq 1.2R_p$).

Çift devre fiderlerinde, bir devrenin enerjisi kesildiğinde yük empedansının değerinin yarılanabileceği belirtilmelidir.

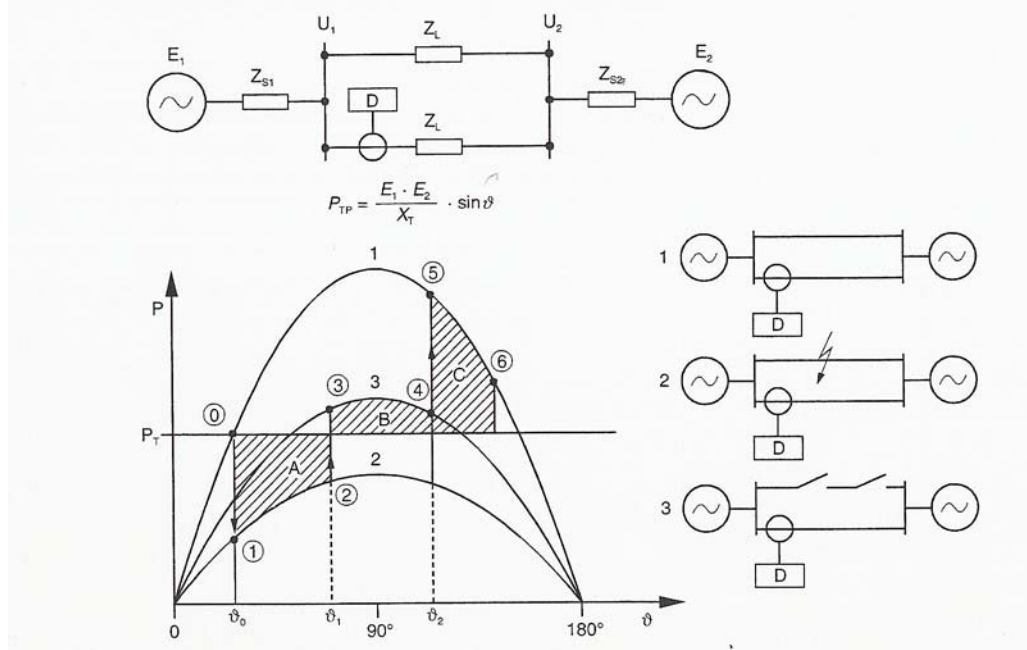


Şekil 2.26b Bir iletim sisteminde güç salınım süreci, iletim hattı, empedans diyagramı.
Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

2.1.10.2 Dinamik Kararlılık

90°'nin üzerinde değişen dinamik açıya şebeke kararsızlığı ile sonuçlanmadan izin verilmektedir. Bu, şekil 2.27a'da gösterilen “eşit alan” kriterine dayalıdır. İletilen güç verilen denklemle tanımlanır ve yük açısı ψ 'ye bağlı bir sinüzoidal eğri şeklindedir. Anma işletme noktası, bağlanan türbin gücü P_T 'ye tekabül eder. Generatörler, transfer edilen güç türbinlerden gelen mekanik güçten daha küçük olduğunda ivmelendirilirler. Bu, gerilimler çöktüğü zamanki kısa devre sırasında olan durumdur (Alan A). Tersine, otomatik tekrar kapama çevrim zamanı sırasında (Alan B) ve fiderin başarılı olan otomatik tekrar kapamasını takiben (Alan C) generatörler yavaşlatılacaktır, çünkü transfer edilen güç bu durumda bağlanan generatör türbin gücünden daha büyüktür. Yavaşlama (frenleme) bölgesi (B+C), hızlandırma bölgesinden daha büyük kaldığı sürece, generatörler başlangıçtaki kararlı işletme

noktalarına dönerler. Tabii ki bu, sadece güç sistemindeki arıza hızla giderilirse gerçekleşecek durumdur (kritik arıza giderme zamanı).

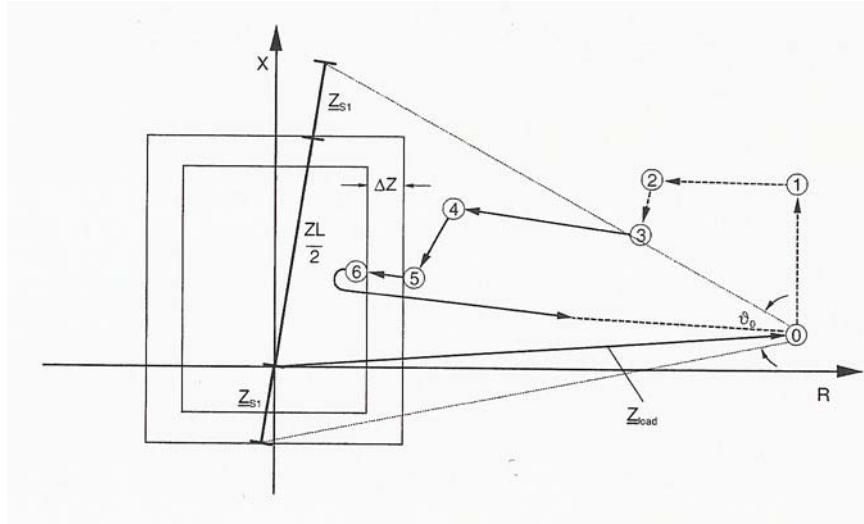


Şekil 2.27a Dinamik sistem kararlılığı, eşit alan kriteri. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

2.1.10.3 Güç Salınım Blokajı

Yukarıda anlatılan güç salınım süreci şekil 2.27b’de bir empedans eğrisi olarak gösterilmiştir. Sürekli hal işletmesi sırasında röle, güç transfer açısı ϑ_0 ’daki yük empedansını ölçer. Arıza başlangıcında, empedans önce röle tarafından harici bir arıza olarak algılanan arıza empedansına sıçrar (1). Arızalı fiderdeki devre kesiciler korumaları tarafından açıldıktan sonra (2), koruma tarafından görülen empedans, artık daha yüksek güç transfer açısı ϑ_1 ve daha yüksek transfer empedansına tekabül eden yük empedansına geri sıçrar (3) (önce: $Z_T = Z_{S1} + Z_L / 2 + Z_{S2}$, sonra: $Z_T = Z_{S1} + Z_L + Z_{S2}$). İletim açısı şimdi, ileri yönde daha fazla ilerleyen generatör rotorlarının bir sonucu olarak ϑ_2 ’ye gelir (4). Fiderin otomatik tekrar kapamasını takiben, yük empedans vektörü yeni pozisyona sıçrar (5), ve buradan da mesafe korumasının başlatma karakteristiğine doğru ilerler (6). Daha sonra bir açtırma olmazsa, yük

empedans vektörü başlangıçtaki kararlı pozisyona döner. Eğer yük empedans vektörü, yeterli bir zaman dilimi boyunca ilgili mesafe koruma bölgeleri içine girer ve kalırsa, koruma açtırması gerçekleşebilir. Güç salınımı esnasında açtırma, güç salınım blokaj fonksiyonu diye adlandırılan işlevle engellenebilir. Bunun çalışma prensibi arıza başlangıcından sonra, işletme noktasından hemen mesafe koruma karakteristiği içindeki kısa devre empedansına sıçraması gerçeğine dayanır. Tersine, bir güç salınımı sırasında, empedans vektörü sürekli bir gelişme gösterir. Bu vektörün değişme hızı, sistemin güç salınım frekansına tekabül eder. dZ/dt veya $\Delta Z/\Delta t$ 'nin bir eşikle ölçülmesiyle, kısa devreleri güç salınımlarından ayırmak mümkündür. Bu ölçüm için en basit yöntem; empedans vektörünün, iki empedans karakteristiği tarafından sınırlanan bir bölgeden geçmesi için harcanan süreyi belirlemektir. Bu amaçla bir güç salınım karakteristiği verilmiştir. Bu güç salınım karakteristiği başlatma karakteristiğini ΔZ sabit mesafesi ile çevreler. Δt zaman farkı ölçülür (Şekil 2.27b).



Şekil 2.27b Empedans düzleminde güç salınım vektörünün izlediği yol. Kaynak: Ziegler, G., (1999), "Numerical Distance Protection", Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

Eğer güç salınımı daha uzun olursa, zaman daha kısa olacaktır. Yüksek güç salınım frekanslarını algılamak için, ΔZ mümkün olduğunca yükseğe ve Δt ayarı mümkün olduğunca kısaya ayarlanmalıdır. Tipik ayarlamalar $\Delta Z = \%10-20 Z_A$ ve $\Delta t = 20-40ms$ 'dir. Bu ayarlamalarla, 2-3Hz'lik güç salınımları algılanabilmektedir.⁹

Özel ölçme teknikleriyle, yaklaşık 7 Hz'e kadar daha hızlı güç salınımları algılanabilmektedir (7SA513 ve 7SA522). Bu durumda $\Delta Z/\Delta t$ 'nin küçük aralıklarda (5ms) sürekli bir ölçümü

gerekmektedir.

Bir güç salınımı bir kere algılandığında bloke edici sinyal, yük empedans vektörü (bu durumda güç salınım vektörü) başlatma karakteristiğinden çıkana kadar devam ettirilmelidir. Alternatif olarak, sabit bir zaman gecikmesinden sonra bloke edici sinyali kaldırmak ta mümkündür. Güç salınım blokajı doğal olarak, blokaj zamanı sırasında gerçek bir kısa devrenin açtırmayla sonuçlanmaması riskini de beraberinde getirir. Güç salınımı blokaj koşulu bunu engellemek için, sadece dengeli simetrik üç fazlı sistem koşullarında üretilmektedir. Dengesizlikler ($> \%25$), veya toprak arıza akımının oluşumu güç salınım blokaj şartını doğrudan kaldırır (7SA5**). Ayrıca, güç salınım koşulunun devamlılığı izlenebilir (7SA513 ve 7SA522). Eğer bir sıçrama olursa, blokaj koşulu derhal kaldırılır. Böylece üç fazlı kısa devrenin en az ihtimalli olayının olması bile, güç salınım vektörü korumanın başlatma karakteri içindeyken algılanır.

Son olarak, mesafe korumasının hangi bölgelerinin güç salınım blokaj fonksiyonu tarafından bloke edileceğini seçmek mümkündür, yani tüm bölgeler, sadece ilk bölge ya da ilk bölge dışında tüm bölgeler. Bazen iletim açısının açtırmayı başlatmak için (R-doğrultusunda ilk bölgesinin küçük erişimi) yüksek bir değer alması gerektiğinde (180^0 'ye yakın), ilk bölge bloke edilmez. Bu durumda sistemin artık kararlı kalmayacağı varsayılır ve bu yüzden açtırma gereklidir. Sistemde hiç yavaş güç salınımlarının beklenmediği zaman daha yüksek bölgelerin bloke edilmesi gerekli değildir, yani güç salınım vektörü ilgili bölgeyi ayarlanmış bölge zamanının dolmasından önce terk eder.

Prensipte, bu sınırlamalar dengesizlik ve süreksizlik izlemesinin henüz uygulanmadığı konvansiyonel yöntemlerden kaynaklanmıştır. Bu nedenle güç salınımı esnasında bir sistem arızasının açtırmayı bloke etmesi sonucu engellenememiştir.

Sistem koşulları bir güç salınım blokaj fonksiyonu talep ettiğinde, güç salınımlarının seyri ve frekansı sistem yapısına bağlı olduğundan ve bu yüzden önceden hiçbir zaman doğru olarak öngörülemediğinden tüm bölgelerin blokajının dijital rölelerle seçilmesi tavsiye edilir.

Güçlü beslemesi olan ve uzun iletim yolu olmayan kararlı sistemlerde, güç salınım blokajı gerekmemektedir. Almanya'da böyle güç salınım blokaj sistemleri artık hizmet vermemektedir. Türkiyede güç salınımı blokaj sistemleri nümerik rölelerle aktif olarak kullanılmaktadır.

2.1.11 Otomatik Tekrar Kapamalı Mesafe Koruması

Mesafe koruması, genellikle otomatik tekrar kapama sistemleri olan havai hatlarda uygulanmaktadır. Konvansiyonel röleler için ayrı bir otomatik yeniden kapama cihazı gerekmektedir. Dijital rölelerde, bu fonksiyon rölenin içindedir.

2.1.11.1 Üç Fazlı Otomatik Tekrar Kapama

Etkin topraklamanın yapılmadığı orta ve yüksek gerilim sistemlerinde, üç fazlı otomatik tekrar kapama Avrupa'da uygulanmaktadır. Bu teknik bazı ülkelerde, özellikle ABD'de topraklı sistemlerde de kullanılmaktadır. Bu teknikle, tüm kısa devreler üç fazlı açtırılır, ve 0,3 ile 0,5 saniye arasındaki bir ölü zamandan sonra otomatik olarak tekrar kapatılır. Arıza noktasında arkın iyonizasyonunun kaybolma (deiyonizasyon) zamanı yaklaşık olarak :

$$t_{3-kutup} = 210 + 0,6 \cdot U(kV) [ms] \quad (2.6)$$

Arıza noktasını ayırmak (izole etmek) ve enerjinin arka akmasını engelleyerek arkı söndürmek için, iki hat ucu gecikmesiz olarak açılmalıdır. Bu mesela, eğer sinyal iletim kanalı mevcutsa anlatılan müsaadeli açtırma düzenlerinin biriyle mümkündür. Daha düşük gerilim seviyelerinde, bu seçenek maliyet nedeniyle genellikle kullanılmaz. Bu durumda mesafe koruması bölge genişleme modunda işletilir. Bu yöntemle hat arızaları (F1, F2) bir aşırı menzil mesafe bölgesi $Z_{üst}$ (yaklaşık %120) tarafından hattın iki ucunda zaman gecikmesi olmadan açtırılır (Şekil 2.28). Ölü zaman sırasında gecikmesiz açtırmanın erişimi olağan düşük menzil açtırmasıyla Z_{ALT} (%80-90) kısıtlanmıştır. Bu yüzden koruma tekrar kapamada seçici olarak kademelendirilmiştir: Eğer kısa devre, tekrar kapamadan sonra hala mevcutsa (başarısız OTK-otomatik tekrar kapama), koruma olağan zaman kademesine göre açacaktır.

İlk arıza başlangıcını takiben, sistem arızalarının aşırı menzil bölgesiyle beraber bir sonraki istasyonun (F3) ötesinde de açılması riski mevcuttur. Bu, ilgili beslemede istenmeyen bir otomatik tekrar kapamaya sebep olur. Bu merkezdeki kısa besleme kesintisi dışında zarar verici bir sonuç yoktur. Bu gereksiz, otomatik tekrar kapamaların oluşma ihtimali ağ sistemlerde, ek beslemelerin etkisi nedeniyle aşırı menzil bölgesinin alanı çok küçük olduğundan, herhangi bir durumda çok sınırlıdır .

Konvansiyonel rölelerde, hızlı açtırma bölgesinin genişletilmesi veya azaltılması tekniği

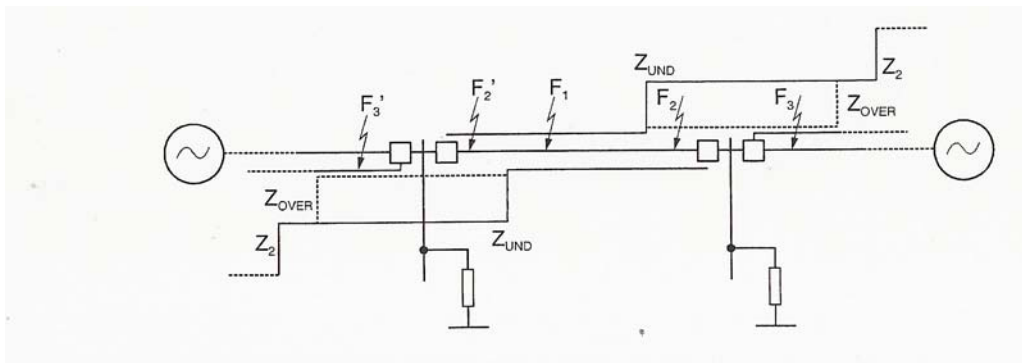
vardır. Bu, gecikmesiz açma bölgesinin başlatıcı tarafından arıza başlangıcını takiben mi aktive edildiği yoksa hareketsiz hal sırasında zaten aktif mi olduğuna göre değişir. Nümerik rölelerde, bölge değiştirmeye gerek yoktur. Sadece genişletilmiş erişimi harekete geçirmek veya durdurmak gerekmektedir.

2.1.11.2 Gecikmeli Otomatik Tekrar Kapama

Orta gerilim sistemlerinde, başarısızlıkla sonuçlanmış bir ilk hızlı OTK takiben başka bir gecikmeli OTK çevrimi uygulanması yaygındır. Bu amaçla, dijital röleler ayrı bir ayarlanabilir kademe sağlarlar.

2.1.11.3 Kablo Bölümlü Havai Hatlarda Otomatik Tekrar Kapama

OTK, sadece havai hatlardaki geçici arızaları sonrası geçerlidir (özellikle yıldırım düşmesi veya ağaçlara atlamasını takiben oluşan kısa devreler). Prensipde kablolardaki arızalar için OTK yoktur. Geçmişte genellikle, kablo bölümlü havai hatlarda OTK uygulanmamıştır, çünkü korumanın harekete geçeceği zaman arızanın yeri bilinmemektedir. Uygun bölge ayarlamalarıyla nümerik koruma rölelerinde, havai hat ile fiderin kablo bölümünü ayırt edebilir. Bu, OTK'nin sadece hat bölümünün arızaları için olmasına izin verir .



Şekil 2.28 OTK kontrollü aşırı menzil bölgesi. Kaynak: AIEEE/PES T&D Committee Working Group Report, (1963), “Arc Deionization Times On High Speed Three Pole Reclosing”, IEEE Transactions on PAS.

2.1.11.4 Tek Fazlı Otomatik Tekrar Kapama

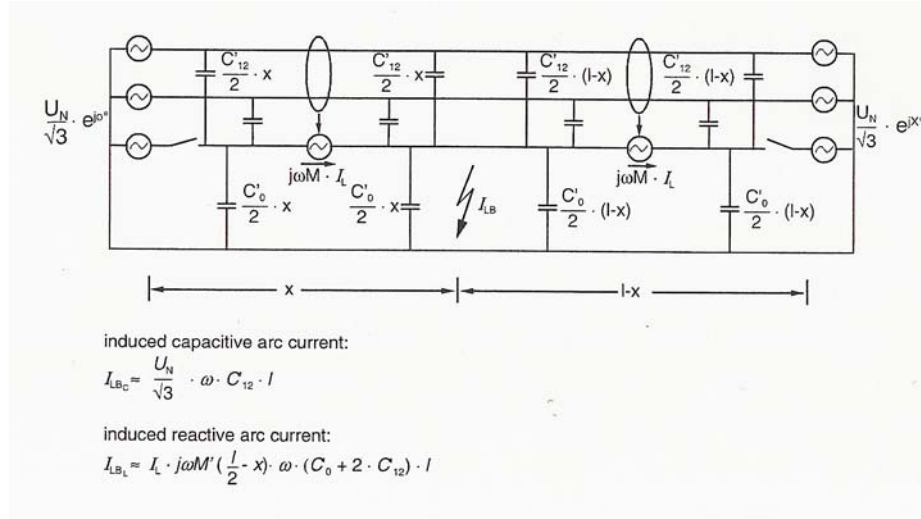
Topraklanmış, yüksek gerilim şebekelerinde ve özellikle çok yüksek gerilim şebekelerinde tek fazlı OTK genellikle uygulanmaktadır. Bu durumda, tek fazlı bir toprak arızasını takiben sadece arızalı faz izole edilir. Bu durumda ölü zaman üç fazlı OTK'da olduğundan daha uzun olmalıdır, çünkü sağlıklı fazları kullanarak enerjili kalan akımlar endüklenir ve arkı beslerler (Şekil 2.29). Artan hat uzunluğu ile, bu akım endüklenmesi daha da kötüleşir, ve daha uzun ölü zamanlara ihtiyaç duyulur. IEC [3.9]'a göre, aşağıdaki koşullar sağlandığında tek fazlı OTK arızaları başarıyla giderir:

$$I_{OTK} [A] \leq 43.(t_{DT}[s]-0,2) \quad (2.7)$$

Bu formülde t_{DT} OTK'nın ölü zamanıdır. Ek olarak kararlılık gereksinimlerinin kısa ölü zamanlar gerektirdiği uzun hatlarda, ark akımını azaltmak için kompanzasyon (dengeleyici) reaktörleri gerekmektedir.

Çizelge 2.1 Tek kutuplu otomatik tekrar kapama, kabul edilebilir hat uzunlukları

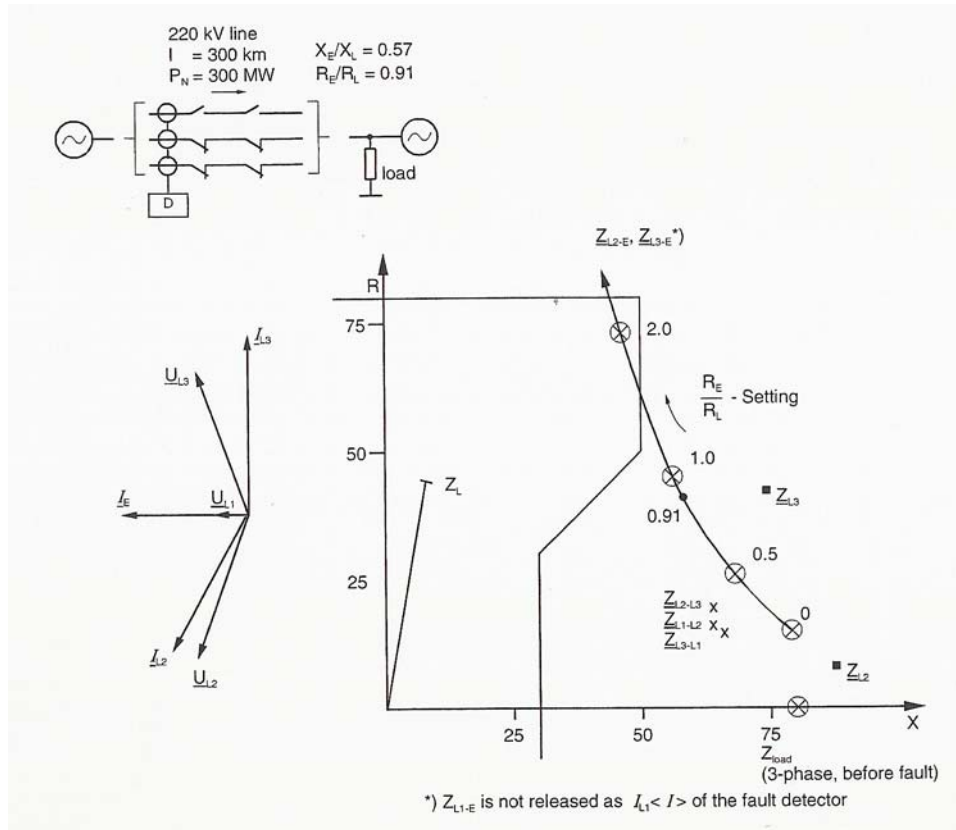
Anma gerilimi kV	Dengeleyici (kompanzasyon) reaktör gerektirmeyen hat uzunluk seviyesi km	Dengeleyici (kompanzasyon) reaktör kullanmadan ark söndürmenin sağlanamadığı hat uzunluk seviyesi km
765	0-80	80-130
500	0-100	100-160
345	0-230	230-420
230	0-430	480-800



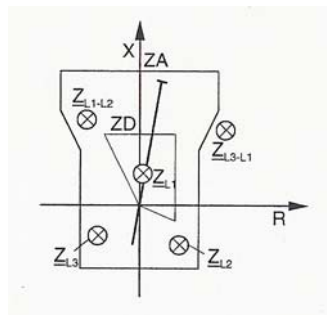
Şekil 2.29 Tek fazlı OTK, endüklenen kapasitif ve endüktif akımlar. Kaynak: IEEE Committee Report, (1991), “Single Phase Tripping and Reclosing of Transmission Lines”, IEEE Paper.

Almanya’da sistem koşulları kompanzasyon gerekliliğini ortadan kaldırmaktadır. Ölü zaman yaklaşık olarak 1 saniyeye ayarlanmıştır. Tek fazlı OTK’nın iki fazlı topraksız arızalarda da, örneğin iletken salınımı (hızla ilerlemesi) sırasında üç fazlı açtirmasını önlemek gibi özel durumlarda uygulanmaktadır. 7SA511 ve 7SA513 mesafe röleleri bunu, önde giden veya geri kalan fazın mı açılacağını seçilebileceği vasıtasıyla kolaylaştırmaktadır. Tek fazlı OTK, her fazı ayrı açma yeteneği ile sıkı bir faz seçici mesafe koruması gerektirmektedir. Ayrıca, mesafe koruması tek fazlı ölü zaman sırasında diğer fazlarda yanlış bir açma yaptırmamalıdır, çünkü bu devam etmekte olan OTK’yı durdurur. Bu, özellikle uzun, ağır yüklü fiderlerde bir sorundur (Şekil 2.30). Bu nedenle konvansiyonel röleler, R-doğrultusunda ciddi bir sınırlandırma gerektirmektedir. 7SA513 nümerik mesafe rölesi bu duruma otomatik olarak adapte olur, OTK ölü zamanı sırasında artık akım (toprak akımı), arıza algılaması için empedans hesaplamasından çıkartılır (şekil 2.30’taki Z_{L2} ve Z_{L3}). Yük empedansının sağlıklı fazlarda başlatma çokgenine girmesi böylece önlenmiş olur. Eğer bir yönlü toprak arızası karşılaştırma koruması (%10-20 I_n) kullanılırsa, yük akımı toprağa akacağından her zaman bu koruma tek-fazlı ölü zaman sırasında durdurulmalıdır.

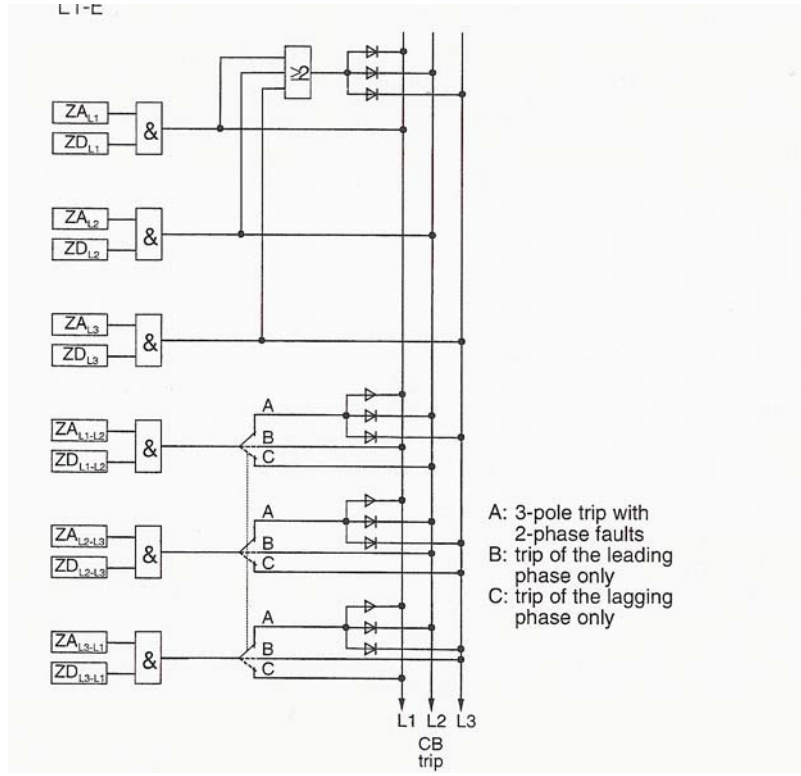
Türkiye’de YG sistemlerde tek fazlı otomatik tekrar kapama kullanılmaktadır.



Şekil 2.30 Yük empedanslarının tek fazlı ölü zaman sırasında (L1 fazı açık) sınır aşımı.
Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.



Şekil 2.31a Empedans rölesi tarafından görülen 6 çevrim empedansı, tek fazlı arıza L1-T.
Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.



Şekil 2.31b Lojik (şema)

Şekil 2.31b Mesafe koruması, açtırma lojiği. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

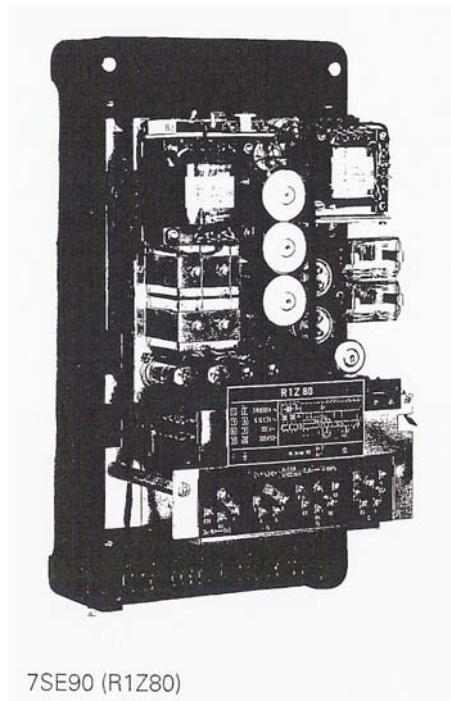
Bir tek sistem mesafe rölesinde (7SA511), faz seçici açtırma her zaman arıza algılaması (başlatıcılar) tarafından kontrol edilir. Bu durumda OTK arıza algılaması tarafından kontrol edilmelidir. Bir tam olarak düzenlenmiş mesafe rölesinde arızalı fazın hızlı açtırması sadece arıza, arıza algılamasına ek olarak bu faz için ilgili mesafe bölgesinde algılandığında mümkündür. Çok fazlı arızalar sırasında üç faz birleştirmesi, arıza algılaması kullanarak değil mesafe bölgelerini kullanarak yapılır. Bu da gösterir ki, bu durumda açtırma için faz seçiciliği geliştirilmiştir (Şekil 2.31a). Birçok çevrimde arıza algılamasıyla bile doğru tek fazlı açtırmayı elde etmek mümkündür.

2.1.12 Arıza Mesafesinin Belirlenmesi

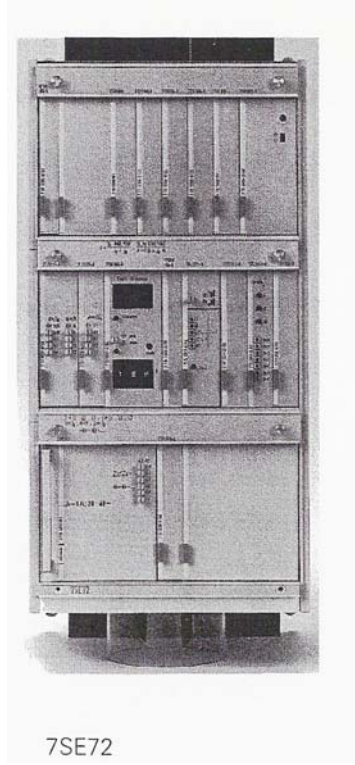
Basit fiderlerde arızaya olan mesafe arıza reaktansı ile doğru orantılıdır, ve bu yüzden ölçülen kısa devre akım ve gerilimi ile belirlenebilir:

$$I_{(km)} = \frac{X_{F(Ohm)}}{X'_{(Ohm/km)}} \quad (2.8)$$

$$X_F = \frac{U_{KD}}{I_{KD}} \cdot \sin \varphi_{KD} \quad (2.9)$$



Şekil 2.32a Elektromekanik röle



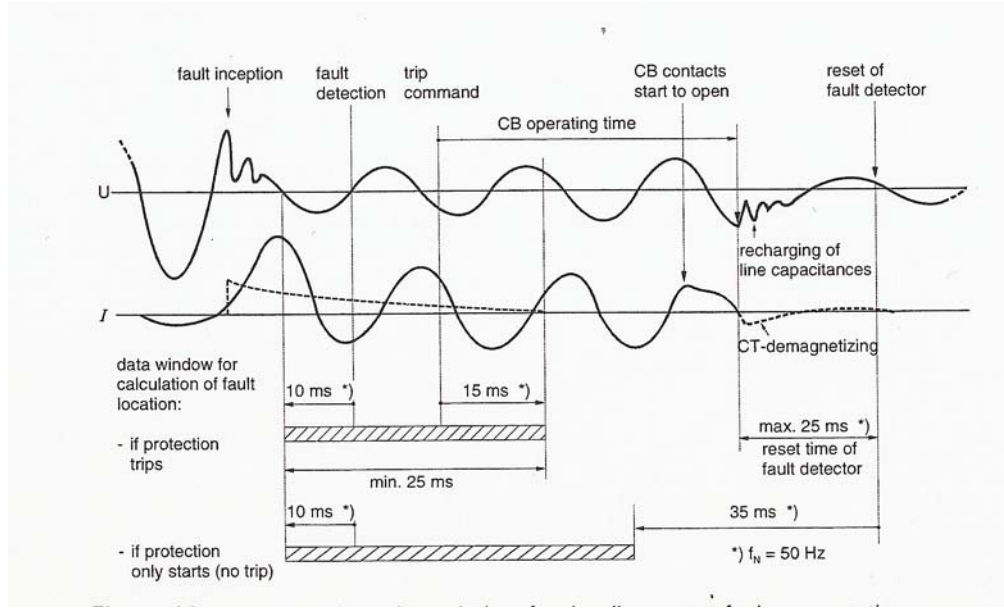
Şekil 2.32b Aritmetik işlemcili statik röle

Konvansiyonel rölelerde bu fonksiyon için, özel tasarlanmış aygıtlar kullanılmıştır. Başlangıçta analog ölçüm teknikleri kullanılmaktaydı, sonra nümerik bileşenler onların yerini aldı. (Şekil 2.32). Bu cihazlar genel olarak pahalıydı (bir yüksek gerilim mesafe koruması fiyatı seviyesinde). Bu nedenle sadece nadiren ve ÇYG sistemlerinde uygulanıyorlardı.

Arızaya olan mesafe bilgisi, nümerik röle ölçüm tekniğinin bir yan ürünü sayılabilir. Bu bilgi, hızlı arıza yeri belirlemeye yardımcı olmak ve tüketiciyi hızla yeniden enerjilendirilmek için başarıyla kullanılmaktadır. Arızaya olan mesafenin hesaplanması, kısa devrenin kaydedilen anlık ölçüm değerleriyle yapılmaktadır. Ölçüm penceresi, arıza başlangıcından sonra başlayıp devre kesicinin açılmasından önce bitecek şekilde otomatik olarak yerleştirilir. Bu yöntemle, zayıf kısa devre büyüklüklerinin hesaplama için kullanılabilmesini sağlar (Şekil 2.33).

Mesafe rölesi koruma fonksiyonuyla karşılaştırıldığında (en düşük ölçüm zamanı: 10ms); arızaya olan mesafe belirleyicisi, korumanın çalışma zamanı artı devre kesicinin çalışma zamanına tekabül eden (en az yaklaşık 50ms) ciddi oranda daha uzun bir veri penceresine sahip olabilir. Bu nedenle, dijital filtreleme ve arıza geçici değerinin kompanzasyonu ile gelişmiş hassasiyet elde etmek mümkündür. Ayarlanmış toplam hat uzunluğu ile ilişki içindeki arıza yerine olan mesafe belirlemesi için belirtilen doğruluk (hassasiyet) %2.5'ten

daha iyidir (7SA511, 7SA513).



Şekil 2.33 Arıza yerine olan mesafenin hesaplanması için veri penceresinin yerleştirilmesi.

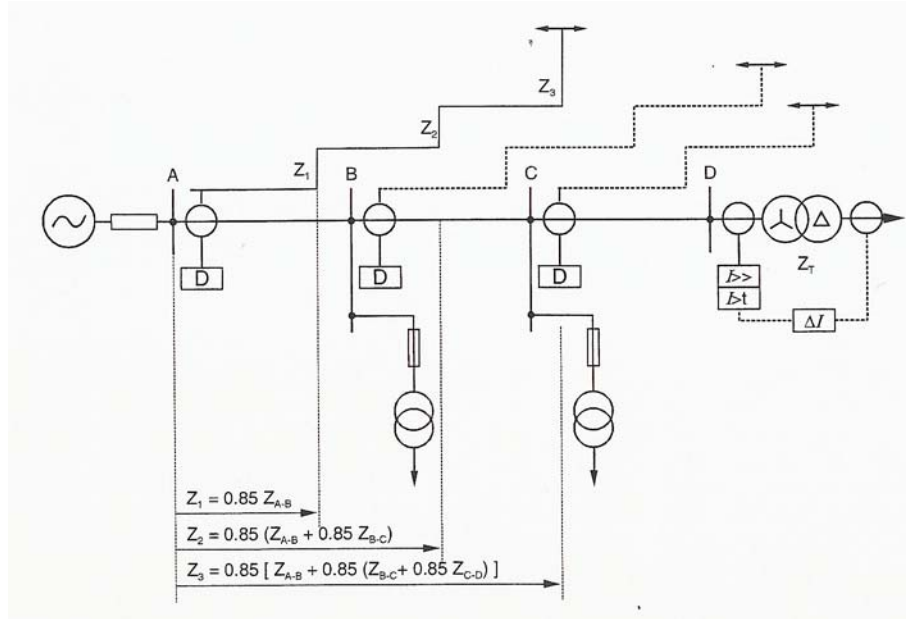
Arıza yerine olan mesafe hesaplaması, sonuçlarını km, direk sayısı veya empedans (X,R) olarak sunabilir. Ayrıca arıza yerinin, koruma arıza detektörü her harekete geçtiğinde mi yoksa sadece bir açtırma komutunu takiben mi hesaplanacağı seçilebilmektedir. Genel olarak, ağ sistemlerde arıza yerine olan mesafe belirleyicisinin doğruluğu yüksektir ve onun sadece arızalı fiderde olması istenir (ayarlar: açtırma komutuyla arıza yeri belirleyici çıkışı). Radyal (merkezden çevreye doğru) çıkış fiderli dağıtım sistemlerinde, tek bir arıza yerine olan mesafenin ölçümü birçok arıza yerine tekabül edebilir (Şekil 2.34). Etkilenen fider ek bilgiler kullanılarak (örn. kısa devre hedefleri) belirlenmek zorunda olabilir, veya değişik arıza noktaları birbiri ardına “devriye” gezerek öğrenilebilir.

Paralel havai hatlarda, toprak arızalarının arıza yerine olan mesafe hesaplaması, sıfır bileşen sistemlerinin birleştirilmesinden etkilenir. Paralel fiderin toprak-akımının katılmasıyla, ölçüm dengelenebilir.

T-noktalarından veya ortadaki beslemelerden geçilerek arıza yerine olan mesafenin doğru ölçümü, sadece hat sonlarının birindeki ölçülen değerler kullanıldığı zaman pratikte mümkün değildir.

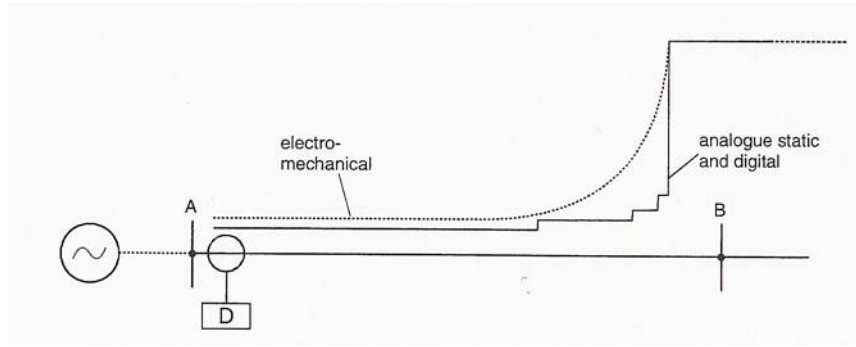
Tipik olarak aşağıdaki faktörler uygulanmaktadır:

- 0.80: elektromekanik koruma için
- 0.85: statik ve nümerik koruma için; veya hat verisi ölçüm tarafından belirlendiğinde elektromekanik koruma için
- 0.90: Hat verisi ölçümle belirlendiğinde statik ve nümerik koruma için



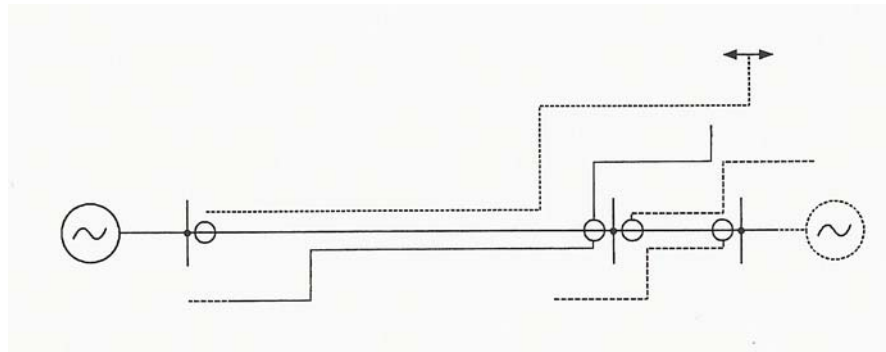
Şekil 2.35 Radyal bir fiderin kademe grafiği.

Bu ayarlamalar, bölge erişim sınırının mutlak olmadığını hesaba katar. Daha doğrusu, özellikle elektromekanik korumada açtırma zamanı, bölgenin sonuna yaklaşıldıkça sürekli olarak artar (Şekil 2.36). Kademe hesaplaması için, ilk önce 1. bölge hesaplanır. Bölge, belirli hattın ucuyla derecelendirilir. Diğer belirlenecek bölge 2. bölgedir. İkinci bölge için, komşu fiderdeki 1. bölgenin erişim sınırı referans olarak kullanılır. Benzer olarak, 3. bölge için, komşu fiderin 2. bölge erişiminin sonu referans olarak alınır.

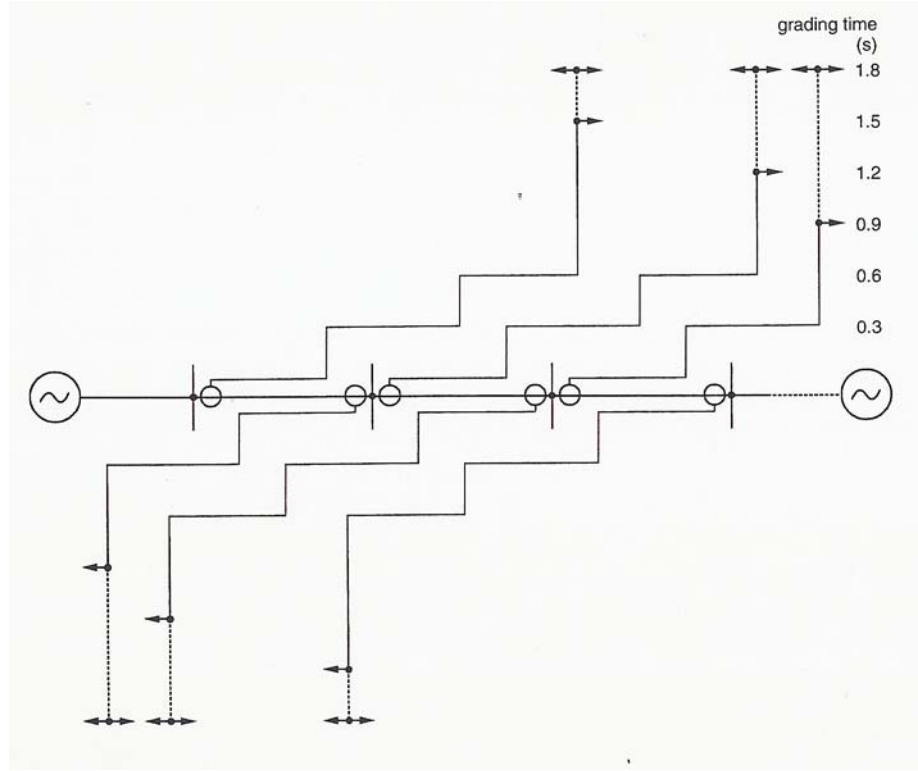


Şekil 2.36 Bölge sınırı yakınında açtırma zamanının yavaş yavaş kaybolması.

Komşu transformatör merkezlerindeki bara arızaları için uzak yedek koruması elde etmek amacıyla (özellikle bara koruması yokken), mümkün olan her yerde her zaman en azından hat sonundan %20 öteye erişecek şekilde ayarlanmalıdır. Bu genellikle, örneğin kısa bir kablo uzun bir havai hattı takip ediyorsa (tipik kent beslemesi : Şekil 2.37) elde edilebilir değildir. Bu durumda, özel önlemler uygulanmadıkça, bölge 3'ün daha yavaş açtırma zamanı kabul edilmelidir. Örneğin, uzak istasyondaki mesafe rölesinde ters bir erişim bölgesi, bölge 2'deki bara arızalarını güvenle kapsayacak şekilde kullanılabilir. 3. bölge, bitişik fideri mümkün olduğunca uzakta kapsamalıdır. Komşu fider kısa olduğu zaman, 2.bölgede olan benzer problem oluşur. Başlatma bölgesi (arıza algılaması), mümkün olduğunca hassas ayarlanmalıdır, ve 3. bölgenin ötesine erişmelidir. Sonraki bara dahil en uzun komşu fiderin tamamen kapsanması sağlanmalıdır. Bu da, bir koruma veya devre kesicinin arızası olayında, 3. kademedeki bir uzak açtırmanın gerçekleşmesini sağlar (ağ sistemlerde bu zordur, çünkü aradaki beslemeler, sonra söz edileceği gibi, mesafe rölesi erişimini azaltır).



Şekil 2.37 Bir mesafe bölgesinin geri yönde kademelendirilmesi.



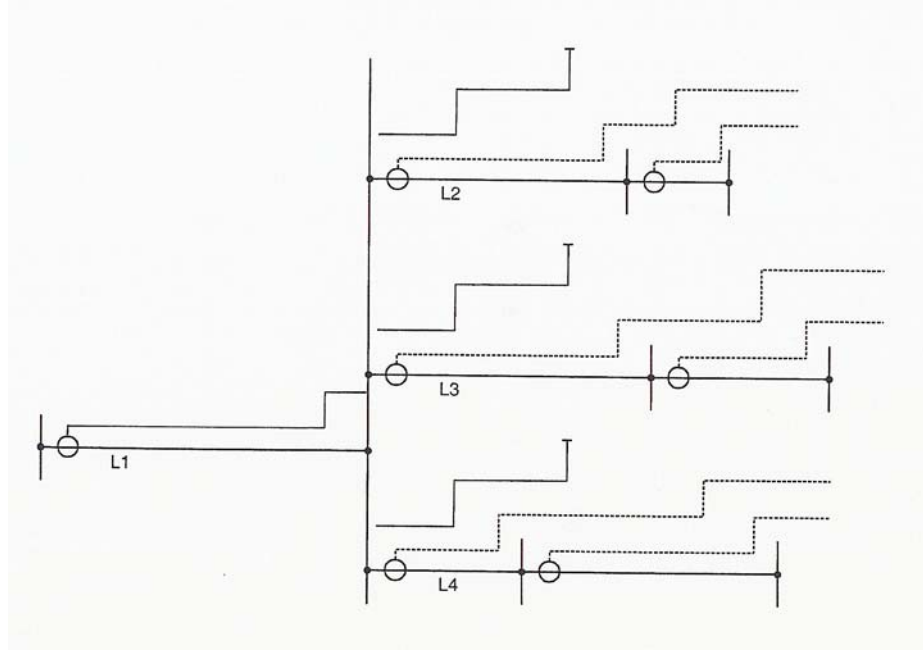
Şekil 2.38 Zıt uca karşı derecelendirmeli halka (ring) fider.

2.1.13.2 Ring Fiderler

Her iki uçtan beslenen bir fiderde, örneğin bir ring fiderinde, kademelendirme ayrı ayrı her doğrultu için yapılmalıdır (Şekil 2.38). Bu, koruma bölgelerinin yönlülüğü ve yönlü başlatıcının gecikmeli açtırmasıyla mümkündür.

2.1.13.3 Dalı Radyal Şebeke

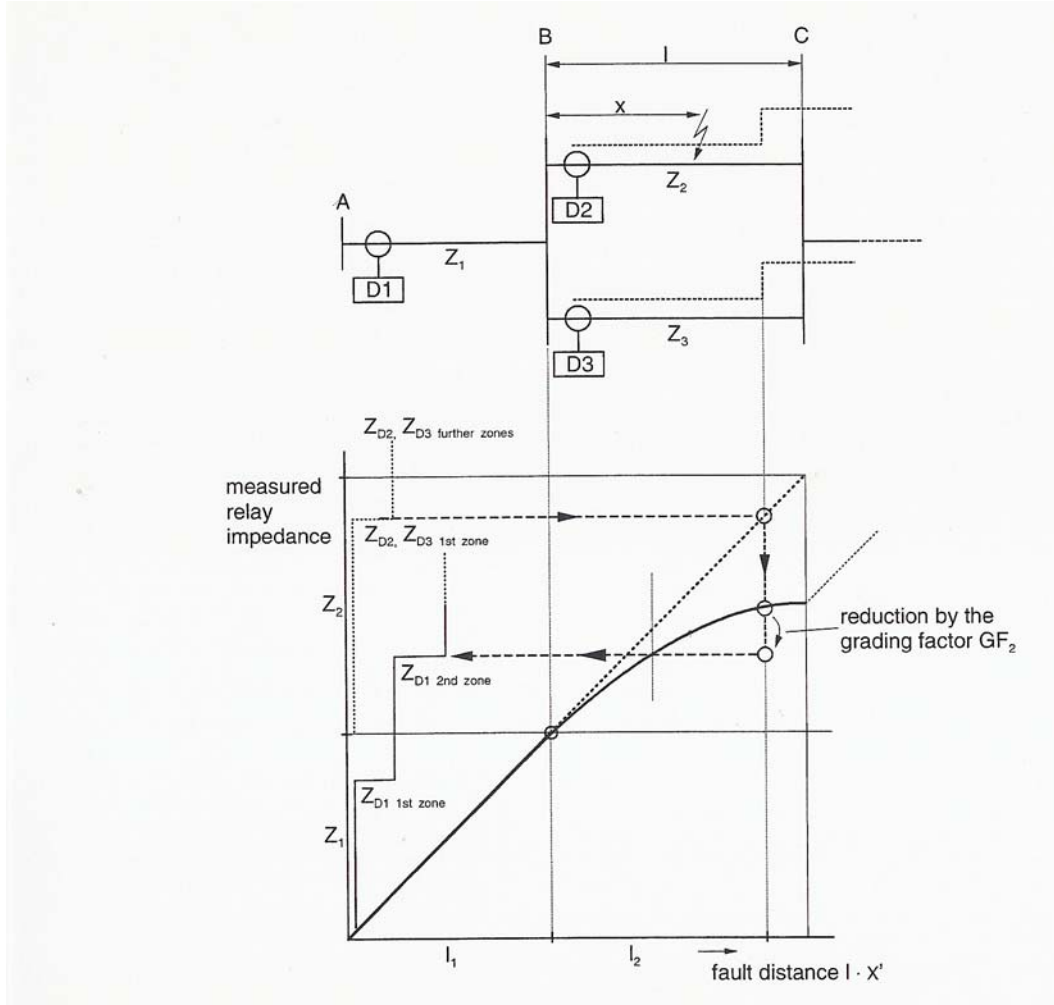
Uzak istasyonda birçok fider bağlanmışsa, o zaman 2. bölge, orada mevcut olan rölelerin en kısa olan 1. bölgesiyle kademelendirilmelidir (Şekil 2.39). Eldeki durumda, bu fider 4'teki 1.bölgedir. 3. bölge, uzak istasyondaki rölelerin en kısa olan 2. bölgesine bağlıdır. Eldeki bu durumda, bu 2. fiderdeki rölenin 2. bölgesidir.



Şekil 2.39 Bir dallı radyal sistemde kademelendirme.

2.1.13.4 Paralel Fiderler

Paralel fiderler olması durumunda, arıza empedansı daha küçük görünür. Bu, şekil 2.40'da gösterilmiştir. İstasyon B'den x kadar mesafedeki hat 2'deki arıza için, şekil 2.40'ın parabolik eğrisindeki ilgili empedans A istasyonundaki D1 rölesinde görünür.



Şekil 2.40 Paralel fiderler için kademelendirme. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

$$Z_{D1\_2.bölge} = GF_2 \left\{ Z_1 + \frac{[Z_3 + (1 - GF_1) \cdot Z_2] \cdot GF_1 \cdot Z_2}{Z_2 + Z_3} \right\}$$

$Z_2 = Z_3$ için, aşağıdaki yaklaşıklık verilmiştir:

$$Z_{D1\_2.bölge} \approx GF_2 \left\{ \frac{Z_2}{2} \right\}$$

GF_1 = D1 ve D2'nin 1. bölgesinin derecelendirme faktörü

GF_2 = D1'in 2. bölgesinin derecelendirme faktörü

Parabolik yörünge, $\frac{x}{1}.Z_2$ ve $Z_3 + \left(1 - \frac{x}{1}\right).Z_2$ empedanslarının paralel bağlantısından doğmaktadır. $X=1$ olduğunda, Z_2 ve Z_3 paralel bağlıdır. Bu durumda Z_2 ve Z_3 eşit olduğunda hat empedansı ikiye bölünür.

Kesin olarak konuşulduğunda 2. bölge ayarı için D1’de, 2. ve 3. fiderdeki 1. bölgenin erişim sınırına kadar olan empedans, verilen denklem kullanılarak hesaplanmalıdır. Ayarlama sonra derecelendirme çarpanıyla çarpılarak verilir. Fakat Z_2 ve Z_3 ’ün eşit olduğu paralel fiderlerde, parabolik yörünge nedeniyle pek bir fark olmadığından, empedans değerinin yarısı kullanılabilir. Bu nedenle 2. bölgenin D1’deki ayarı aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$Z_{2(D1)} = GF_2 * (Z_1 + 1/2 * Z_2) \quad (2.10)$$

2.1.13.5 Aradaki Beslemeler

Röle ile arıza yeri arasında bir besleme, ölçülen empedansı etkiler. Empedans daha büyük görünür, yani röle arızayı daha büyük bir uzaklıkta “görür”, ve ancak daha yüksek bir bölgede açma yapabilir. Bu etki ortaya çıkar, çünkü aradaki beslemeden genel akım kısa devre çevrimine ek bir gerilim düşümü katar. Bu röle noktasındaki gerilim düşümünü artırır, alt-erişime sebep olur (Şekil 2.41). Ölçüm hatasının büyüklüğü, ortadaki besleme akımı ve röle noktasındaki akımın oranıyla orantılıdır, yani ortadaki besleme ne kadar büyük olursa, hata da o kadar büyük olur. Kademelendirme endeksinin seçimi her durumda, pratik sistem koşullarına göre belirlenmelidir. Ve genellikle kişisel bir fikirle oluşturulur, ve her enerji şirketinin “felsefesi” farklıdır. Aşağıdaki stratejiler uygulanmaktadır:

1. bölgelerin derecelendirilmesi

Bu durumda, ortadaki beslemeler sadece T-sonlu ve kollara ayrılmış fiderlerde bir rol oynar.

2. bölgelerin derecelendirilmesi

Ayarlama, ortadaki beslemeyi dikkate almadan gerçekleşir. Bu, tüm sistem koşulları için seçiciliği sağlar. Bu; hat ucuna yakın arıza, müsaadeli açtırma olmadan, hep 2. bölgede giderilmesi ve hiçbir koşulda burada daha yukarıdaki bir korumanın açmaması gerektiğinden, tüm uygulamalar için mantıklı görünür. Her zaman 2. bölgenin, uzak

istasyondaki bara için yedek koruma sağlayacak şekilde, karşı istasyonun en azından %20 kadar ötesine eriştiği denetlenmelidir. Eğer erişimi azaltan birçok besleme varsa, bir uzlaşma dikkate alınabilir. Bunların en azından bir kısmının her zaman mevcut olduğu varsayılabilir. Bir ağ sistemde, burada anlatılan süreç koruma veya devre kesici arızasını takiben görelî olarak kısa 2. bölgelerle ve daha uzun koruma çalışma zamanlarıyla sonuçlanır.

3. bölgelerin derecelendirilmesi

- Alternatif 1

Ortadaki beslemeler hesaba katılır:

Böylece 3. bölgelerle büyük bir erişim elde edilir. Ama eğer ortada bir besleme yoksa, 3. bölgeler her zaman seçici olmayacaktır. Ancak 4. veya 5. bölgelerindeki, röle başlatıcılarıyla uzun zaman gecikmeli açtırma büyük ölçüde engellenir. Eğer bir barada birkaç ara besleme varsa, o zaman burada uzlaşmanın bir anlamı olur, yani 3 beslemenin sadece 2'si tüm zamanlarda mevcut varsayılır.

- Alternatif 2

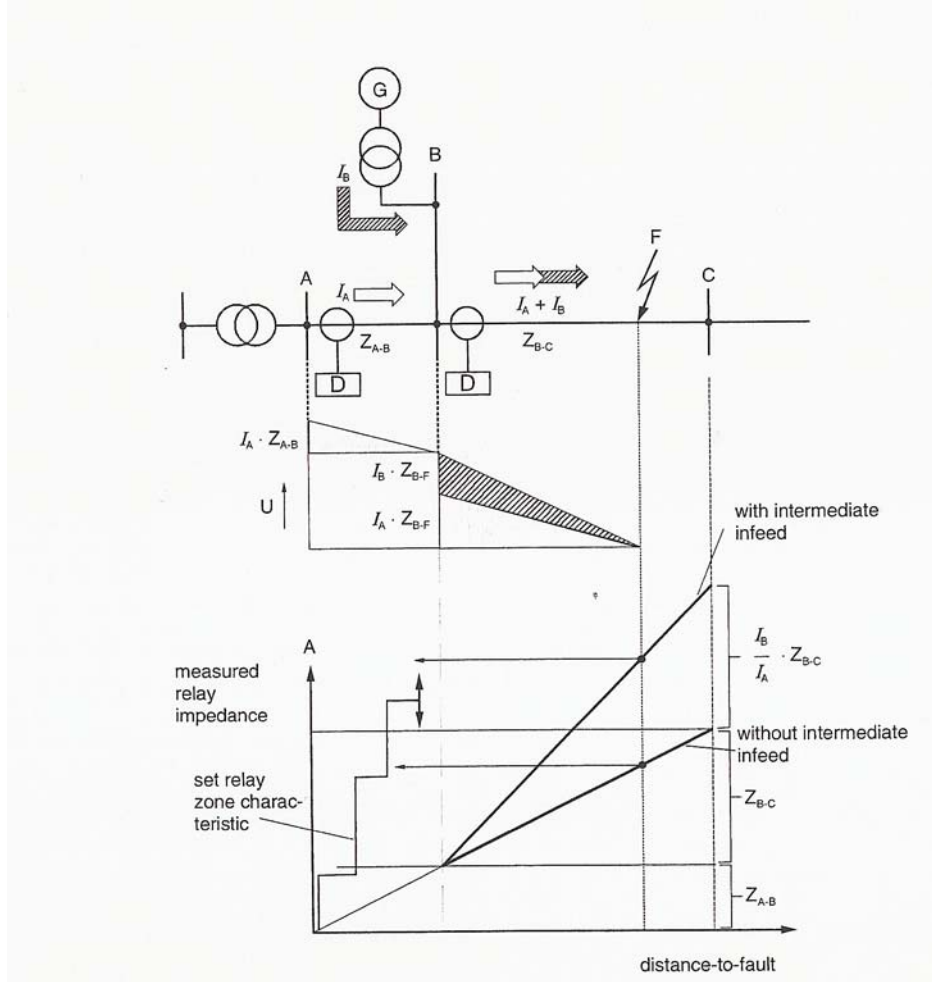
Ortadaki beslemeler hesaba katılmaz:

Genelde, ağ sistemlerinde çok kısa 3. bölgeler oluşur. Bu, bir koruma ve devre kesici arızasını takiben, arızaların sıkça sadece arıza algılamasının geciktirilen açtırmasıyla giderildiğini gösterir. Bu durumda geciktirilen arıza detektörlerinin seçici bir kademelendirilmesi mevcut olmalıdır ki daha sık kontrolsüz açtırma ve sistem kesintileri önlenebilsin. Ayrıca, daha uzun arıza giderme zamanları kabul edilebilir olmalıdır.

Arıza algılaması

Sistemde mümkün olduğunca uzağa erişmelidir. Ağ sistemlerde, uzak yedek besleme korumasının uygulanması sıkça sorun yaratmıştır, ve çözümü zor olmuştur. Ortadaki besleme nedeniyle, arıza yerine olan mesafe çoğu durumda daha büyük görünmektedir, ve hatta mesafe koruma rölesinin arıza algılama kademesi tarafından “görülemez”dir. Ortadaki besleme etkisi nedeniyle arıza detektörüyle en uzun komşu fideri kapsamak imkanı yoksa, yerel bir yedek korumaya (kesici arıza koruması) başvurulmalıdır. Toprak arızaları için ek bir hassas yönlü-toprak-arızası koruması uygulanabilir. Almanya’da sıfır bileşen gerilimine bağımlı, örneğin 7SA513 içine yerleştirilmiş geciktirilmiş bir yönlü toprak-arızası koruması,

uygulanmaktadır. Belli durumlarda, beslemeler farklı büyüklükte olursa bu yararlı olabilir. O zaman, fiderin en büyük beslemeyle hala arızayı algılayıp açtırması mümkündür. Ortadaki beslemenin büyük bir bölümünün kaybolmasından sonra, diğer fiderlerde kalan röleler de arızayı algılayıp açtırma yapabilirler. Kısa bir ek zamanla sıralı açtırma gerçekleşir.



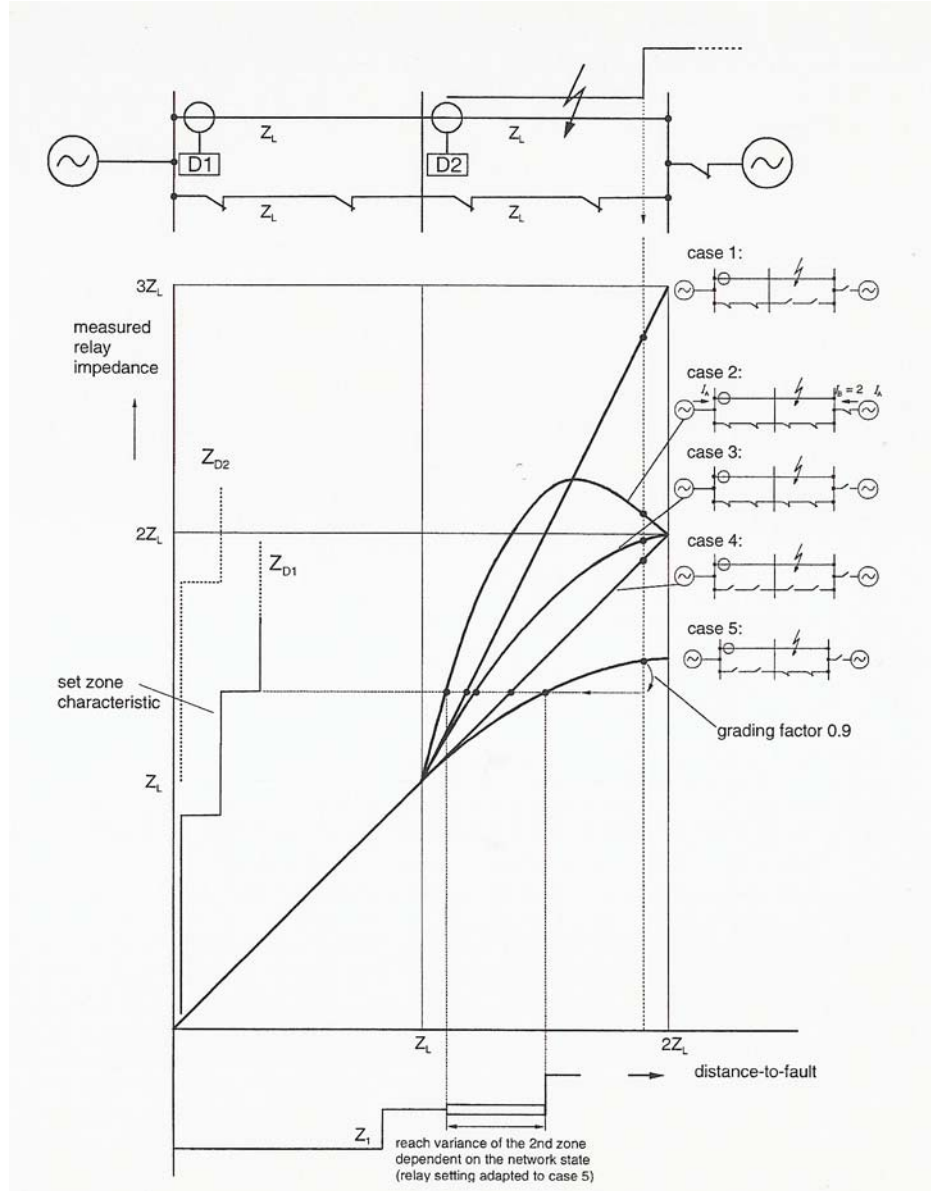
Şekil 2.41 Mesafe ölçümünde ortadaki beslemelerin etkisi. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

2.1.13.6 Ağ Şebekelerde Mesafe Bölgelerinin Kademelendirilmesi

Ağ şebekelerde, paralel yolların ve ortadaki beslemelerin anlatılan etkileri birleşik olarak ortaya çıkar. Paralel kısa devre yolları bir üst erişime neden olur, bu sırada düğümlerde ortadaki besleme etkisinin sonucu olarak bir alt erişim doğar.

Bu, bir çift devreli havai hattın basit örneğiyle gösterilebilir (Şekil 2.42). D1 rölesinin 2. bölgesinin içinde olamayan, D2 rölesinin 1. bölge erişim limitindeki arıza için mesafe, paralel hattın şalt durumuna bağlı olarak değişir. Bir üst erişimi engellemek için, en kısa empedansın $GF_2=0.9$ derecelendirme faktörü kullanılır. Bu, beklendiği gibi tek devre/çift devrenin şalt durumuna tekabül eder. Bu, ortadaki besleme etkisinin dikkate alınmadığı, ama tüm paralel kısa devre empedanslarının hesaba katıldığı anlamına gelir.

Şekil 2.42’de şimdi, diğer şalt durumları sırasında, seçilen ayarlamalarla 2. bölgenin erişimi görülebilmektedir. Diyagram dikey ekseninde röle tarafından ölçülen empedansı ve bölge ayarını gösterir. Yatay ekseninde ise arızaya olan mesafe gösterilmiştir, yani hat empedansları, aynı zamanda fiziksel mesafeye tekabül eden çünkü bu örnekte tüm hatların aynı geometri ve toprağa sahip olduğu varsayılmıştır (km başına aynı empedans). Arızaya belirli bir mesafeye ait empedanslar sistem şartlarına bağlıdır ve dikey bir çizgide görünürler. Şekil 2.41’te bu çizgi, 1. bölgede D2’deki rölenin erişim limitindeki bir arıza için gösterilmiştir. Bununla, D1’de röle tarafından ölçülen empedanslar okunabilir. Alternatif olarak, bu diyagram, bölgelerin erişimlerini yatay bir çizgi çekerek belirlemek için kullanılabilir. Bu, 2. bölge için şekil 2.41’te gösterilmiştir. Erişimin şalt durumuna bağlı olan değişikliği böylece hazır olarak algılanabilir durumdadır. Benzer bir şekilde, ölçülen röle empedansları diğer sistem takımları için de belirlenebilir. Ancak çoğu durumda, paralel fiderlerde, hesaplamada hat empedansının yarısını kullanmak yeterlidir. Buna göre de üç paralel devre kullanıldığında empedansı üçte biri kullanılabilir.



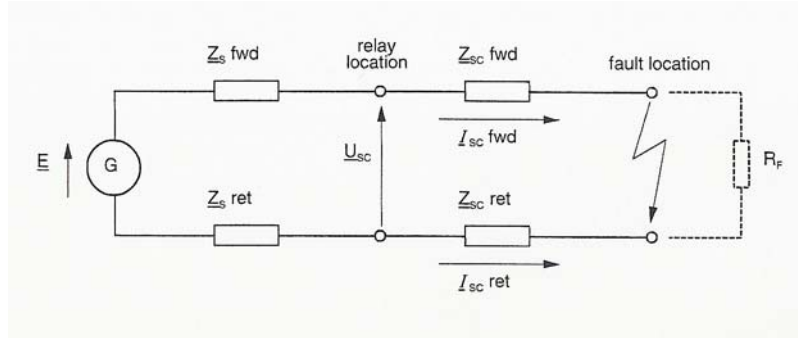
Şekil 2.42 Şebeke koşullarına bağlı bölge erişimi. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

2.2 Nümerik Mesafe Ölçümü

2.2.1 Arıza Çevriminin Tanımı

Şekil 2.43’de gösterilen eşdeğer devre, arıza çevrimini temsil eder. Mesafe ölçümü için ilgili sinyaller bu devreden çıkartılabilir. Bu diyagram arızaya tek uçlu beslemeyi göstermektedir. Dikkate alınan röle için, eğer arıza direnci R_F ihmal edilecek kadar küçükse, iki uçlu besleme de geçerlidir. Bu, neredeyse tüm kablo arızaları ve çelik direkli ve normal topraklama koşullarına sahip havai hatlar için doğrudur. Daha büyük arıza dirençleri için mesafe ölçümü, arızayı kullanarak ta akmak suretiyle karşı taraftan gelen akımdan etkilenmektedir.

E eşdeğer EMK ve Z_s sistem beslemesinin kaynak empedansıdır. $Z_{sc} = Z'_s \cdot l$ kısa devre empedansıdır, Z'_s hattın km başına empedansı ve l arızaya olan mesafedir. Z_s ve Z_{sc} , ileri ve dönüş yolundaki toplanan empedanslar tarafından belirlenmektedir. U_{sc} kısa devre gerilimini ve I_{sc} de röle konumundaki kısa devre akımını adlandırır. R_F , arıza veya toprak-arızalarında direk temel direnci nedeniyle oluşan direnci sembolize eder.



Şekil 2.43 Arıza çevriminin eşdeğer devresi. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

Aşağıdaki genel bakış, üç fazlı bir sistemde klasik arıza tipleri için E’nin Z_s ’nin ve Z_{sc} ’nin önemini gösterir.

Çizelge 2.2 Arıza çevriminin karakteristik parametreleri

Kısa devre	E	I _{sc} İleri	I _{sc} Dönüş	Z _s İleri	Z _s Dönüş	Z _{sc} İleri	Z _{sc} dönüş
3-faz	$1.1 * U_n / \sqrt{3}$	I_{ph}	0	Z_{S1}	0	Z_{SC1}	0
1-faz-T	$1.1 * U_n / \sqrt{3}$	I_{ph}	I_E	Z_{S1}	Z_{SE}	Z_{SC1}	Z_{SCE}
Faz-Faz	$1.1 * U_n$	I_{ph1}	I_{Ph2}	Z_{S1}	Z_{S1}	Z_{SC1}	Z_{SC1}

Sistem anma gerilimi U_n ile verilmiştir, ve her zaman hat gerilimi (faz-faz) olarak tanımlanır 1.1 çarpanı, sistemdeki generatörlerin genellikle daha iyi sistem kararlılığı için üst uyarda çalıştırıldığı gerçeği dikkate alınarak kullanılır. Bu nedenle, ortalama iç generatör gerilimi sistem geriliminden yaklaşık %10 daha fazladır.

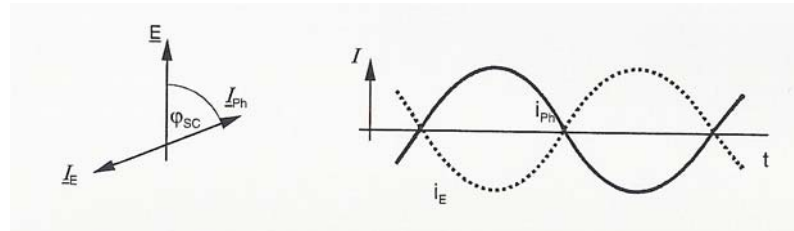
Akımlar için belirtilmelidir ki, pozitif yön hatta doğrudur. Toprak akımları için aşağıdaki ilişki geçerlidir: $I_E = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}$. Bu, aşağıdaki denklemlerde faz akımlarından toprak akımı hesaplandığı zaman dikkate alınmalıdır.

$$I_{ph} = +1200 + j500A$$

$$I_E = -1200 - j500A$$

$$E = +j60kV$$

Bu ilişki ile, faz ve toprak-akımları hesaplanan sonuçlarda farklı işaretlere sahip olur. Vektör diyagramında ve arıza algılamasında, bu işaret ilişkisi gösterir ki, iki-faz arızasındaki faz akımlarına benzer bir şekilde, faz ve toprak akımları her zaman zıt yöndedir (Şekil 2.44).



Şekil 2.44 Akımlar için işaret ilişkisini gösteren örnek (tek fazlı toprak arızası). Kaynak: Ziegler, G., (1999), "Numerical Distance Protection", Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

2.2.1.1 Kaynak Empedansı

Kaynak empedansı, röle konumundaki kısa devre gücünden veya verilmiş olan kısa devre akımlarından çıkartılır.

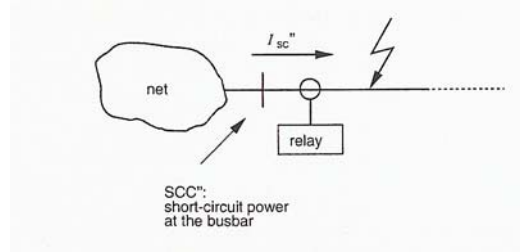
Pozitif bileşenli kaynak empedansı:

$$Z_{S1} = \frac{1.1 * U_N^2}{SCC''_{(3-kut)}} \quad (2.11)$$

$$Z_{S1} = \frac{1.1 * U_N}{\sqrt{3} * I''_{SC(3-kut)}}$$

SCC'', sistemin başlangıç AC kısa devre gücüdür, ve I_{sc}'' direk röle konumunun önündeki fiderde üç fazlı bir arıza için başlangıç AC kısa devre akımıdır.

Yüksek gerilim ve çok yüksek gerilim sistemlerinden beslemelerde, kaynak empedanslarının X/R oranı büyük olduğundan $Z_s = X_s$ koyulması iyi bir yaklaşımdır:



Şekil 2.45 Akımlar röle konumunda kısa devre gücünün tanımı. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

Çizelge 2.3 X/R oranları ve sistem zaman sabitleri

Gerilim seviyesi	X/R	Sistem zaman sabiti T_N [ms]
380kV	8-10	25-32
220kV	5-8	16-25
110kV	3-5	10-16

Daha doğru hesaplamalar için, R-bileşeni çizelge 3'teki R/X değerlerinden türetilebilir.

Sadece kaynak empedansı esas olarak orta gerilim havai hatları veya kabloları tarafından belirlendiği zaman, yani X/R 5'ten küçük olduğu zaman (kabaca bir tahminle 3'ten küçük) hesaplamalarda karmaşık sayıların kullanılması tavsiye edilir.

Sıfır bileşenli kaynak empedansı

Simetrikli bileşenli sistem çalışmalarında, sıfır bileşenli sistem verisi genellikle bulunmaktadır. Buradan, ilgili toprak empedansları türetilir. Kaynak Z_{se} 'nin toprak empedansı, hangi sistem verisinin mevcut olduğuna bağlı olarak (omik bileşenler ihmal edilir) aşağıdaki gibi belirlenebilir:

1. Verilen baradaki X_{S0} / X_{S1} oranı verilmiştir:

$$X_{SE} = \frac{1}{3} * X_{S1} * \left(\frac{X_{S0}}{X_{S1}} - 1 \right) \quad (2.12)$$

2. Tek-fazlı kısa devre gücü verilmiştir:

$$X_{SE} = \frac{1.1 * U_N^2}{SCC_{(1-kut)}} - X_{S1} \quad (2.13)$$

3. Tek-fazlı kısa-devre akımı verilmiştir:

$$X_{SE} = \frac{1.1 * U_N}{\sqrt{3} * I_{SC(3-kut)}} - X_{S1} \quad (2.14)$$

2.2.1.2 Kısa Devre Empedansı

Kısa devre empedansı genellikle röle konumundan arıza konumuna kadar olan hat empedansına tekabül eder, ve km başına hat empedansı verisi kullanılarak hesaplanır:

Doğru bileşenli sistem

$$Z_{SC1} = Z_{L1} = (R_{L1} + jX_{L1}) \quad (2.15)$$

burada:

$$R_{L1} = R_{L1} '[\text{Ohm} / \text{km}]./[\text{km}] \quad (2.16)$$

$$X_{L1} = X_{L1} '[\text{Ohm} / \text{km}]./[\text{km}] \quad (2.17)$$

Sıfır bileşenli sistem

$$Z_{SCE} = Z_{LE} = \frac{1}{3}(Z_{L0} - Z_{L1}) \quad (2.18)$$

burada: $Z_{L0} = (R_{L0} + jX_{L0})$ (2.19)

ve

$$R_{L0} = R_{L0} '[\text{Ohm} / \text{km}]./[\text{km}] \quad (2.20)$$

$$X_{L0} = X_{L0} '[\text{Ohm} / \text{km}]./[\text{km}] \quad (2.21)$$

km başına hat empedansı için tipik değerler çizelge 2.4'te gösterilmiştir:

Çizelge 2.4 Havai hat ve kabloların tipik empedans değerleri

	R_{L1} ' ohm/km	X_{L1} ' ohm/km	ϕ_{L1} °	R_{L0} ' ohm/km	X_{L0} ' ohm/km	ϕ_{L0} °	R_{LE} ' ohm/km	X_{LE} ' ohm/km	R_{LE} / R_{L1} '	X_{LE} / X_{L1} '
Havai hat 380kV Üçgen düzenleme, tek-toprak-iletkenli, dörtlü-demet iletken 4xAl/St 265/35	0,018	0,25	86	0,170	0,94	80	0,053	0,230	2,94	0,92
Havai hat 220kV Üçgen düzenleme, tek-toprak-iletkenli, ikili demet iletken 2xAl/St 265/35	0,058	0,30	79	0,220	0,99	77	0,053	0,230	0,91	0,77
Havai hat 110kV Üçgen düzenleme Tek-toprak-iletkenli, 1xAl/St 435/35	0,071	0,38	79	0,220	1,10	79	0,050	0,240	0,70	0,63
Havai hat 20kV, toprak iletkenli, 95mm ² Al	0,310	0,37	50	0,530	1,58	71	0,073	0,400	0,24	1,08
400kV kablo, tek iletken yağlı kablo, 3x1x1200mm ² Cu	0,020	0,22	85	0,049	0,11	66	0,010	-0,036	0,50	-0,16
110kV kablo, gazlı, 240mm ² Cu	0,090	0,14	57	0,390	0,16	22	0,100	0,007	1,11	0,05

2.2.1.3 Arıza Çevrimleri

Tipik üç fazlı sistemde hangi fazların rol oynadığına veya toprağa bağlantısının mevcudiyetine bağlı olarak bir takım kısa-devre ihtimalleri mevcuttur. Arıza tipine uygulanabilecek arıza çevrimleri tayin edilmelidir (Çizelge 2.5). Topraksız tek fazlı ve iki fazlı arızalar için, sadece bir arıza çevrimi mevcut olduğundan saptama ileri doğrudur. Tüm diğer kısa devre tipleri için, birçok muhtemel çevrim vardır.

2.2.2 Çevrim Empedansının Belirlenmesi

Mesafe rölesinin ölçüm devresi prensip olarak, her arıza tipi için arıza çevriminin hat empedansı (şekil 2.46'te $Z_{SC-ileri}$) belirlenecek şekilde düzenlenir. Eğer havai hat simetrik ve tamamen kruvaze (çaprazlanmış) ise, empedans doğru bileşenli empedansa tekabül eder. Bunun avantajı, her arıza tipi için aynı ölçüm sonucunun ve arızaya olan mesafeyle orantılı olan aynı hat empedansının elde edilmesidir.

Konvansiyonel mesafe koruması

Bu durumda, ölçülen değerleri değerlendirmek için aşağıdaki denklemler uygulanmaktadır:

Faz-faz çevrimi:

$$Z_{faz-faz} = \frac{U_{faz-faz}}{I_{faz-faz}} = \frac{U_{faz1-T} - U_{faz2-T}}{I_{faz1} - I_{faz2}} \quad (2.22)$$

1 ve 2 arızalı fazları göstermektedir. $U_{faz-faz}$ ve $I_{faz-faz}$ hat akım ve hat geriliminin değerleridir.

Tek uçlu bir besleme ve yoğun bir kısa devre için ($R_f=0$), şekil 2.46'dan aşağıdaki eşitlik doğar:

$$U_{faz-faz} = I_{faz1} * Z_{SC1} - I_{faz2} * Z_{SC1} \text{ ve } I_{faz1} = -I_{faz2}$$

Buradan:

$$Z_{faz-faz} = Z_{SC1}$$

Çizelge 2.5 Mesafe ölçümü için kısa-devre tipleri ve arıza çevrimleri

Arıza tipi	Katılan fazlar	Mesafe ölçümü için arıza çevrimleri
Topraksız iki-fazlı kısa-devre	L1-L2	L1-L2
	L2-L3	L2-L3
	L3-L1	L3-L1
Topraksız üç-fazlı kısa-devre	L1-L2-L3	L1-L2 veya L2-L3 veya L3-L1
Tek-fazlı toprak-arızası	L1-T	L1-T
	L2-T	L2-T
	L3-T	L3-T
Topraklı iki-fazlı kısa-devre	L1-L2-T	L1-T veya L2-T veya L1-L2
	L2-L3-T	L2-T veya L3-T veya L2-L3
	L3-L1-T	L3-T veya L1-T veya L3-L1
Topraklı üç-fazlı kısa-devre	L1-L2-L3-T	L1-L2 veya L2-L3 veya L3-L1
		L1-T veya L2-T veya L3-T

Faz-toprak çevrimleri:

Aşağıdaki denklem ölçüme tekabül eder:

$$Z_{\text{faz-T}} = \frac{U_{\text{faz-T}}}{I_{\text{faz}} - k_E * I_E} \quad (2.23)$$

k_E vektörü artık kompanzasyon faktörüdür. Havai hattın $\frac{Z_E}{Z_L}$ oranına tekabül eder. Z_E 'nin değeri denklem 2.18 kullanılarak hesaplanır.

Şekil 2.46 ve çizelge 2.2 kullanılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

$$U_{faz-T} = I_{faz} * Z_{SC1} - I_E * Z_{SCE} = Z_{SC1} \left(I_{faz} - \frac{Z_{SCE}}{Z_{SC1}} I_E \right) \quad (2.24)$$

2.24'ü 2.23'te yerine koyarsak:

$$Z_{faz-T} = Z_{SC1} \frac{\left(I_{faz} - \frac{Z_{SCE}}{Z_{SC1}} I_E \right)}{I_{faz} - k_E * I_E} \quad (2.25)$$

Buradan açıkça görülmektedir ki, eğer $k_E = \frac{Z_{SCE}}{Z_{SC1}}$, yani k_E korunan fidere göre seçildiğinde, hat empedansı Z_{SC1} doğru olarak ölçülmüştür. k_E 'nin karmaşık bir sayı olduğu akıldan çıkartılmamalıdır. Elektromekanik rölelerde sadece $k_E = |k_E|$ büyüklük oranı ayarlanabilir. Bununla ilgili olarak toprak-arızaları esnasında sapmalar ortaya çıkar.

Bu ölçüm hatası havai hatlarda, Z_E ile Z_L arasındaki açısal fark görece olarak küçük olduğunda hoşgörülebilir. Z_E ve Z_L 'nin önemli açısal farklara sahip olduğu kablolarda, $|k_E|$ 'nin değeri grafiksel olarak rölenin dairesel karakteristiğinin toprak-arıza çevriminin empedans odağı ile kesişiminden belirlenir. Sadece analog statik rölelerin gelişiyle bir açı-düzeltilmenin ayarlanması ihtimali de mevcut olmuştur. Artık kompanzasyon sadece yoğun toprak-arızaları için doğrudur. Arıza dirençli kısa devreler için (ark direnci), açı kompanzasyonu $k_E = |k_E| e^{j\varphi_E}$ arıza direncini empedans diyagramında döndürür, ve buna göre bir ölçüm hatası oluşur. Bu aynı zamanda, konvansiyonel bir ölçüm tekniği uygulayan nümerik röleler için de geçerlidir.

2.2.3 Nümerik Olarak Empedans Hesaplanması

Arıza çevriminin örneklenen akım ve gerilim sinyalleriyle nümerik olarak hesaplanması, mesafe ölçümü ve arıza konumuna bir başlangıç kademesidir. Çokgen karakteristikli mesafe ölçümü durumunda, nümerik olarak hesaplanmış arıza çevrim empedansının R ve X değerleri empedans düzlemindeki bölge sınırları ile basitçe karşılaştırılabilir. Bu nedenle bir büyüklük karşılaştırılması, arızanın belirli bir bölgenin içinde mi yoksa dışında mı olduğuna karar vermek için yeterlidir. Prensip olarak, bu teknik herhangi bir şekilde sahip bir karakteristiğe uygulanabilir. Ancak admitans-dairelerinde, akım ve gerilim vektörlerinin klasik ölçülen açı karşılaştırması tercih edilmektedir. Arıza yeri belirleme fonksiyonunda, hesaplanan X değeri arızaya olan mesafe için bir ölçü vermektedir .

2.2.3.1 Hesaplama süreci

Zaman domenindeki kısa devre çevrimi için aşağıdaki diferansiyel denklem geçerlidir:

$$u_{sc}(t) = R_{sc} * i_{sc}(t) + L_{sc} * \frac{di_{sc}(t)}{dt} \quad (2.26)$$

7SA5** rölelerinde, örneklenen akım ve gerilim sinyalleri değiştirilmiş Fourier-filtreleriyle birleştirilmiş ve frekans domenine dönüştürülmüştür. Sonuç, ortogonal bileşenler biçiminde verilen (reel ve imajiner bileşenler) vektörlerdir. Temel bileşen değerlendirilir, DC bileşen ve daha yüksek harmonikler bastırılır.

2.26 denkleminde vektörler için alışılmış denklemler türetilir:

$$U_{sc} = R_{sc} * I_{sc} + jX_{sc} * I_{sc} \quad (2.27)$$

Reel ve imajiner bileşenleri ayırarak, R_{sc} ve X_{sc} 'nin belirlenmesi için iki denklem elde edilir. Kısa devre çevriminin reel ve imajiner bileşenlerinin ayrı değerlendirilmesi, toprak-arızaları sırasındaki arıza reaktansının, pozitif ve sıfır bileşen empedanslarının kısa devre açıları farklı olduğu zaman da doğru ölçülmesi gibi belirli bir avantajı vardır.

2.2.3.2 Empedans Hesaplaması İçin Denklemler

Çevrim empedansını belirlemek için kullanılan aşağıdaki denklemler, 7SA511/7SA513 ve 7SA522 mesafe rölelerindeki ölçüm tekniğine tekabül eder.

Sadece örneğin iki-fazlı topraksız kısa devre ve tek besleme gibi belirli arıza tiplerinde ve sistem düzenlemelerinde, I_{ileri} ve $I_{\text{dönüş}}$ şartı verilmiştir. Genelde, ileri yoldaki empedans (R_{ileri} , X_{ileri}) dönüş yolundaki empedansa ($R_{\text{dönüş}}$, $X_{\text{dönüş}}$) eşit olmaz. Toprak-arıza çevrimlerinde, faz empedansı ile toprak empedansı arasındaki fark hesaba katılmalıdır. Bu, rölede ayarlanan artık kompanzasyon faktörü k_E kullanılarak yapılır. Kruvaze olmayan (çaprazlanmamış) havai hatlarda faz empedanslarının, mesafe koruma rölesinin ölçüm sistemleri tarafından genelde dikkate alınmayan bir simetrisizliği vardır. Bu da, faz-faz çevrimlerinde ve dönüş yollarında (simetrik fider) aynı empedansın varsayıldığını gösterir. Eğer büyük simetrisizlikler var olursa, bölge ayarları buna göre ayarlanmak zorunda kalır.

2.2.3.4 Hesaplama süreci

Arıza çevrimi için aşağıdaki denklemi elde ederiz:

$$\vec{U}_{\text{ileri}} - \vec{U}_{\text{dönüş}} = R_{\text{ileri}} * \vec{I}_{\text{ileri}} + jX_{\text{ileri}} * \vec{I}_{\text{ileri}} - R_{\text{dönüş}} * \vec{I}_{\text{dönüş}} - jX_{\text{dönüş}} * \vec{I}_{\text{dönüş}} \quad (2.28)$$

burada fazörler aşağıdaki gibi ifade edilirler:

$$\vec{U} = U e^{j(\omega t + \varphi_U)} = U [\cos(\omega t + \varphi_U) + j \sin(\omega t + \varphi_U)]$$

$$\vec{I} = I e^{j(\omega t + \varphi_I)} = I [\cos(\omega t + \varphi_U) + j \sin(\omega t + \varphi_U)]$$

Denklemin çözümü aşağıdaki çözümleri verir:

Faz-faz çevrimleri

Bu durumda, $R_{\text{ileri}} = R_{\text{dönüş}}$, ve $X_{\text{ileri}} = X_{\text{dönüş}}$ olduğu varsayılmaktadır (simetrik sistem).

Buradan aşağıdaki denklemleri elde ederiz (örneğin L2-L3 çevrimi):

$$R_{L2-L3} = \frac{U_{L2-L3} [I_{L2} * \cos(\varphi_{UL2-L3} - \varphi_{IL2}) - I_{L3} * \cos(\varphi_{UL2-L3} - \varphi_{IL3})]}{I_{L2}^2 - 2 * I_{L2} * I_{L3} * \cos(\varphi_{IL2} - \varphi_{IL3}) + I_{L3}^2} \quad (2.29)$$

$$X_{L2-L3} = \frac{U_{L2-L3} [I_{L2} * \sin(\varphi_{UL2-L3} - \varphi_{IL2}) - I_{L3} * \sin(\varphi_{UL2-L3} - \varphi_{IL3})]}{I_{L2}^2 - 2 * I_{L2} * I_{L3} * \cos(\varphi_{IL2} - \varphi_{IL3}) + I_{L3}^2} \quad (2.30)$$

Bu denklemler, aşağıdaki vektörel büyüklüklere tekabül etmektedir.

$$Z_{L2-L3} = \frac{U_{L2} - U_{L3}}{I_{L2} - I_{L3}} \quad (2.31)$$

$$R_{L2-L3} = \operatorname{Re} \left\{ \frac{U_{L2} - U_{L3}}{I_{L2} - I_{L3}} \right\} \quad (2.32)$$

$$X_{L2-L3} = \operatorname{Im} \left\{ \frac{U_{L2} - U_{L3}}{I_{L2} - I_{L3}} \right\} \quad (2.33)$$

Bu durumda $U_{L2} - U_{L3}$, kısa devre hat gerilimi U_{LL} 'dir.

I_{L2} ve I_{L3} , arızalı fazlardaki akımları göstermektedir.

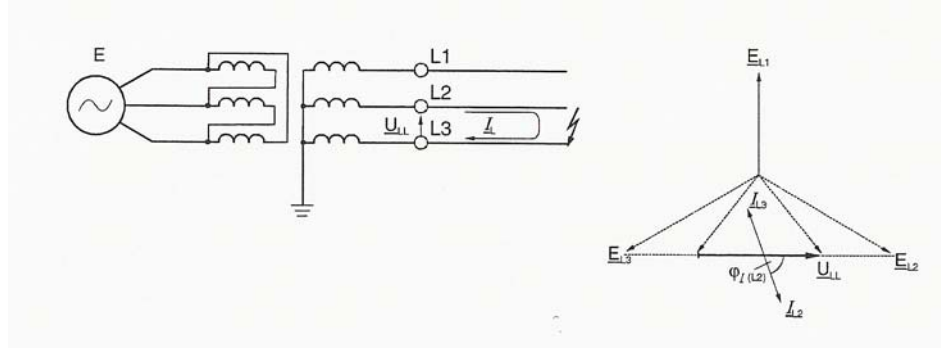
Tek beslemeli bir iki fazlı arıza durumunda, aşağıdaki ek koşul devreye girer (Şekil 2.47):

$$\vec{I}_{L3} = -\vec{I}_{L2} = \vec{I}_L \text{ ve } \varphi_{I(L3)} = \varphi_{I(L2)} + 180^\circ$$

Bu, 2.29 ve 2.30 denklemleri aşağıdaki gibi basitleştirir.

$$R_{L2-L3} = \frac{U_{LL} \cdot \cos(\varphi_{ULL-L3} - \varphi_{IL})}{2.I_L} = \frac{U_{LL}}{2.I_L} \cdot \cos \varphi_{SC} \quad (2.34)$$

$$X_{L2-L3} = \frac{U_{LL} \cdot \sin(\varphi_{ULL-L3} - \varphi_{IL})}{2.I_L} = \frac{U_{LL}}{2.I_L} \cdot \sin \varphi_{SC} \quad (2.35)$$



Şekil 2.47 Topraksız iki-fazlı kısa devre , arıza çevrimi. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

Üç fazlı arıza için aşağıdaki koşullar geçerli olur (Şekil 2.48):

$$* I_{L2} = I_{L3} = I_{SC}$$

$$* \varphi_{U(L2-L3)} - \varphi_{I(L2)} = \varphi_{SC} + 30^\circ$$

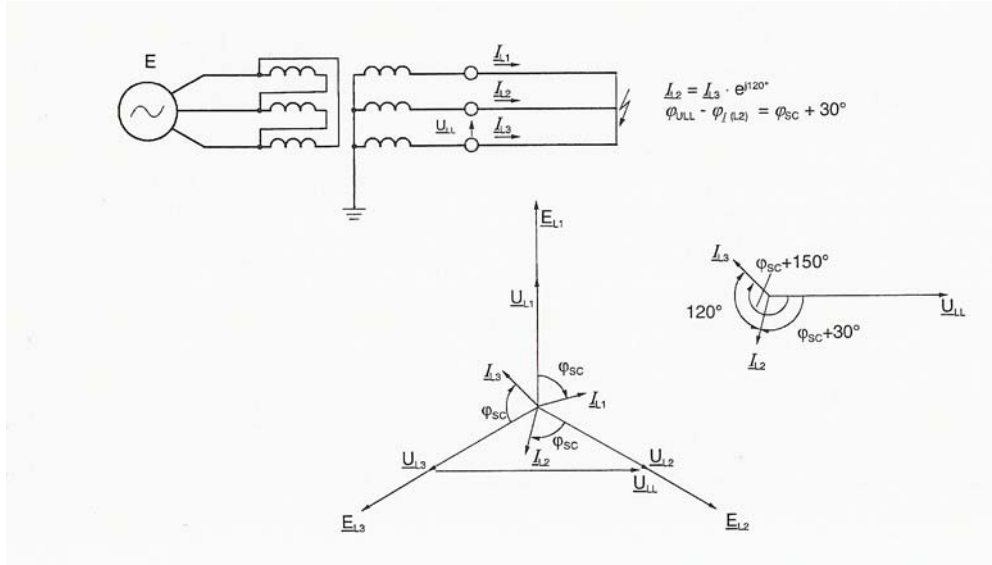
$$* \varphi_{U(L2-L3)} - \varphi_{I(L3)} = \varphi_{SC} + 150^\circ$$

$$* \varphi_{I(L2)} - \varphi_{I(L3)} = 120^\circ$$

Sonuçta aşağıdaki basitleştirilmiş denklemler geçerlidir:

$$R_{L2-L3} = \frac{U_{LL}}{I_{SC}\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi_{SC} \quad (2.36)$$

$$X_{L2-L3} = \frac{U_{LL}}{I_{SC}\sqrt{3}} \cdot \sin \varphi_{SC} \quad (2.37)$$



Şekil 2.48 Üç-fazlı kısa devre arıza çevrimi. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

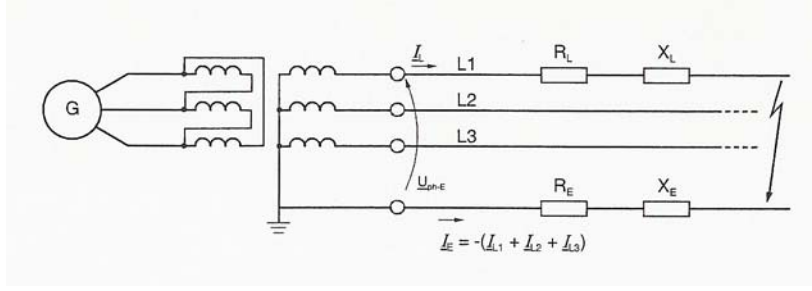
Kısa devre incelemesinde sadece faz gerilimlerinin bilinmesi durumunda, aşağıdaki denklemler (2.38) ve (2.39), faz-faz çevrimleri için uygulanabilir:

$$R_{L2-L3} = \frac{U_{L2} \cdot I_{L2} \cdot \cos(\phi_{U2} - \phi_{I2}) + U_{L3} \cdot I_{L3} \cdot \cos(\phi_{U3} - \phi_{I3}) - U_{L2} \cdot I_{L3} \cdot \cos(\phi_{U2} - \phi_{I3}) - U_{L3} \cdot I_{L2} \cdot \cos(\phi_{U3} - \phi_{I2})}{I_{L2}^2 - 2 * I_{L2} * I_{L3} * \cos(\phi_{I2} - \phi_{I3}) + I_{L3}^2} \quad (2.38)$$

$$X_{L2-L3} = \frac{U_{L2} \cdot I_{L2} \cdot \sin(\phi_{U2} - \phi_{I2}) + U_{L3} \cdot I_{L3} \cdot \sin(\phi_{U3} - \phi_{I3}) - U_{L2} \cdot I_{L3} \cdot \sin(\phi_{U2} - \phi_{I3}) - U_{L3} \cdot I_{L2} \cdot \sin(\phi_{U3} - \phi_{I2})}{I_{L2}^2 - 2 * I_{L2} * I_{L3} * \cos(\phi_{I2} - \phi_{I3}) + I_{L3}^2} \quad (2.39)$$

Faz-toprak çevrimleri

Şekil 2.49’ta, L1-T’de bir faz-toprak kısa devresi için ölçülen arıza çevrimi gösterilmektedir. L1-T çevriminin, diğer kısa devre tipleri, örneğin iki-faz toprak arızaları L1-L2-T ve L3-L1-T veya bir üç fazlı kısa devre için de geçerli olduğu belirtilmelidir.



Şekil 2.49 Tek-fazlı toprak-arızası, arıza çevrimi. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

Aşağıdaki denklemler tüm toprak arıza tipleri için geçerlidir (1-,2-, 3-fazlı)

$$X_{\text{faz-T}} = \frac{U_{\text{faz-T}}}{I_L} \cdot \frac{\sin(\varphi_U - \varphi_L) - \frac{I_E}{I_L} \cdot \frac{R_E}{R_L} \cdot \sin(\varphi_U - \varphi_E)}{1 - \left(\frac{X_E}{X_L} + \frac{R_E}{R_L} \right) \cdot \frac{I_E}{I_L} \cdot \cos(\varphi_E - \varphi_L) + \frac{R_E}{R_L} \cdot \frac{X_E}{X_L} \cdot \left(\frac{I_E}{I_L} \right)^2} \quad (2.40)$$

$$R_{\text{faz-T}} = \frac{U_{\text{faz-T}}}{I_L} \cdot \frac{\cos(\varphi_U - \varphi_L) - \frac{I_E}{I_L} \cdot \frac{X_E}{X_L} \cdot \cos(\varphi_U - \varphi_E)}{1 - \left(\frac{X_E}{X_L} + \frac{R_E}{R_L} \right) \cdot \frac{I_E}{I_L} \cdot \cos(\varphi_E - \varphi_L) + \frac{R_E}{R_L} \cdot \frac{X_E}{X_L} \cdot \left(\frac{I_E}{I_L} \right)^2} \quad (2.41)$$

burada:

$U_{\text{faz-T}}$: kısa-devre gerilimi (rms)

I_L : kısa-devre faz-akımı (rms)

φ_U : kısa-devre geriliminin faz açısı

φ_L : kısa devre faz akımının faz açısı

φ_E : kısa-devre toprak-akımının faz açısı

$\frac{R_E}{R_L}$ ve $\frac{X_E}{X_L}$ artık kompanzasyon için rölede ayarlanan parametrelerdir.

Tek-fazlı toprak-arızalarında, I_E ve I_L akımlarının yaklaşık olarak fazları zıttır. Fakat

büyüklikler, topraklama tipine göre farklı olabilir. Eğer $\varphi_E = \varphi_L + 180^\circ$ varsayılırsa, 2.40 ve 2.41 denklemleri önemli ölçüde sadeleştirilmiş olur.

$$X_{faz-T} = \frac{U_{faz-T} \cdot \sin(\varphi_U - \varphi_I)}{I_L + \frac{X_E}{X_L} \cdot I_E} = \frac{U_{faz-T} \cdot \sin \varphi_{SC}}{I_L + \frac{X_E}{X_L} \cdot I_E} \quad (2.42)$$

$$R_{faz-T} = \frac{U_{faz-T} \cdot \cos(\varphi_U - \varphi_I)}{I_L + \frac{X_E}{X_L} \cdot I_E} = \frac{U_{faz-T} \cdot \cos \varphi_{SC}}{I_L + \frac{X_E}{X_L} \cdot I_E} \quad (2.43)$$

burada:

φ_U = kısa devre geriliminin faz açısı

$\varphi_I = I_L$ ve I_E 'nin faz açısı

$\varphi_U - \varphi_I = \varphi_{SC}$ = arıza çevriminin kısa devre açısı (faz-toprak çevrimi)

2.2.3.5 Hesaplama örneği:

Verilen denklemlerin uygulaması, aşağıdaki örnekle açıklanmıştır:

Bir 110kV havai hatta ait aşağıdaki veriler verilmiştir:

Hat uzunluğu: $l = 50\text{km}$

Km başına hat empedansı:

Doğru bileşen sistemi $R'_{L1} = 0.1286 \text{ ohm/km}$, $X'_{L1} = 0.4023 \text{ ohm/km}$

Sıfır bileşen sistemi $R'_{L0} = 0.2409 \text{ ohm/km}$, $X'_{L0} = 1.0863 \text{ ohm/km}$

Mesafe rölesi 7SA611'deki artık kompanzasyon için ayar parametrelerinin fiderde uyarlanması ön şarttır:

$$R_E / R_L = (R'_0 - R'_1) / (3 \cdot R'_1) = 0.291$$

$$X_E / X_L = (X'_0 - X'_1) / (3 \cdot X'_1) = 0.567$$

Örnek 1:

Hattın sonunda tek-fazlı toprak-arızası. Aşağıda röle konumundaki gerilimler ve akımlar bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmıştır:

$$U_{L1} = 53.51 \text{ kV ve } \varphi_{UL1} = -1.4^0$$

$$I_{L1} = 1.6415 \text{ kA ve } \varphi_{IL1} = -76.6^0$$

$$I_E = 1.6509 \text{ kA ve } \varphi_{IE} = 103.4^0$$

Mesafe koruma rölesi tarafından ölçülen arıza empedansı nedir?

Çözüm:

2.42 ve 2.43 denklemleriyle X_{L1-T} ve R_{L1-T} hesaplanabilir:

$$X_{L1-T} = \frac{53.51 \cdot \sin(-1.4^0 + 76.6^0)}{1.6415 + 0.567 + 1.6509} = 20.07 \Omega$$

$$R_{L1-T} = \frac{53.51 \cdot \cos(-1.4^0 + 76.6^0)}{1.6415 + 0.567 + 1.6509} = 6.44 \Omega$$

Değerler hat verisine tekabül etmektedir:

$$X_{L1} = 1 * X_{L1}' = 50 * 0.4023 = 20.12 \Omega \text{ ve } R_{L1} = 1 * R_{L1}' = 50 * 0.1286 = 6.43 \Omega$$

Küçük sapmalar, hattın kapasitif yüklenme akımlarından dolayıdır.

Örnek 2:

Hattın sonundaki iki-fazlı toprak-arızası L1-L2-T.

Arıza kayıtlarından aşağıdaki kısa devre verileri türetilmiştir:

$$U_{L1-T} = 51.939 \text{ kV ve } \varphi_{UL1} = -5.21^0$$

$$U_{L2-T} = 50.516 \text{ kV ve } \varphi_{UL2} = -119.05^0$$

$$I_{L1} = 2.098 \text{ ve } \varphi_{IL1} = -62.38^0$$

$$I_{L2} = 2.153 \text{ ve } \varphi_{IL2} = 152.12^0$$

$$I_E = 1.291 \text{ ve } \varphi_{IE} = 41.58^0$$

L1-T arıza çevriminde ölçülen empedans değeri kaçtır?

Cözüm:

2.40 ve 2.41 denklemlerini kullanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

$$X_{L1-T} = \frac{51.939}{2.098} \cdot \frac{\sin(-5.21^\circ - 62.38^\circ) - \frac{1.291}{2.098} * 0.291 * \sin(-5.21^\circ - 138.42^\circ)}{1 - (0.567 + 0.291) \cdot \frac{1.291}{2.098} \cdot \cos(-138.2^\circ - 62.38^\circ) + 0.291 * 0.567 * \left(\frac{1.291}{2.098}\right)^2} = 20.20\Omega$$

$$R_{L1-T} = \frac{51.939}{2.098} \cdot \frac{\cos(-5.21^\circ - 62.38^\circ) - \frac{1.291}{2.098} * 0.567 * \cos(-5.21^\circ - 41.58^\circ)}{1 - (0.567 + 0.291) \cdot \frac{1.291}{2.098} \cdot \cos(41.58^\circ - 62.38^\circ) + 0.291 * 0.567 * \left(\frac{1.291}{2.098}\right)^2} = 6.32\Omega$$

Sonuçlar yine hat verisiyle ilişkilidir.

Benzer bir şekilde L2-T çevrimi için arıza empedansı hesaplanabilir.

2.3 Nümerik Yön Belirlenmesi

2.3.1 Arızasız Faz Gerilimleriyle Yön Belirlenmesi Yöntemi (Çapraz Polarizasyon)

Bölüm 2.1.5'te arıza yönünün, kısa-devre akımının ve kısa-devre geriliminin göreceli faz açılarından veya ölçülen kısa-devre empedansının işaretinden belirlenebileceği belirtilmişti. Bunun için ön şart, rölenin bir endüktif empedans ölçmesidir, yani direnç ve endüktansın bir kombinasyonu “görülme”dir. Bu durumda akım her zaman kısa-devre geriliminin gerisindedir. Seri kompanzasyonlu bir fiderde bu her zaman geçerli değildir, çünkü arıza empedansı kapasitif olabilir ki, akım gerilimin önündedir. Ayrıca, gerilim transformatörünün hemen önündeki veya arkasındaki arızalarda, kısa-devre empedansı, güvenli bir yön tayininin imkansızlaşacağı kadar küçük olabilir (teorik olarak sıfır). Hareketli bobin veya statik teknoloji uygulayan konvansiyonel rölelerde, yönsel hassasiyetin alt limiti yaklaşık 0.1V'dur. Hatta daha eski endüksiyon tipi rölelerde, yönsel hassasiyet bir volt mertebesinde. Hiçbir belirli yön kararının mümkün olmadığı bu alan, “ölü bölge” olarak adlandırılır. Bu aşırı küçük kısa-devre gerilimleri için tek çözüm, arıza algılamasının ön-seçiminin kullanılmasında yatar. Almanya'da klasik rölelerin, yakın arızalar sırasında kesin açtırmayı sağlamak için bir ileri

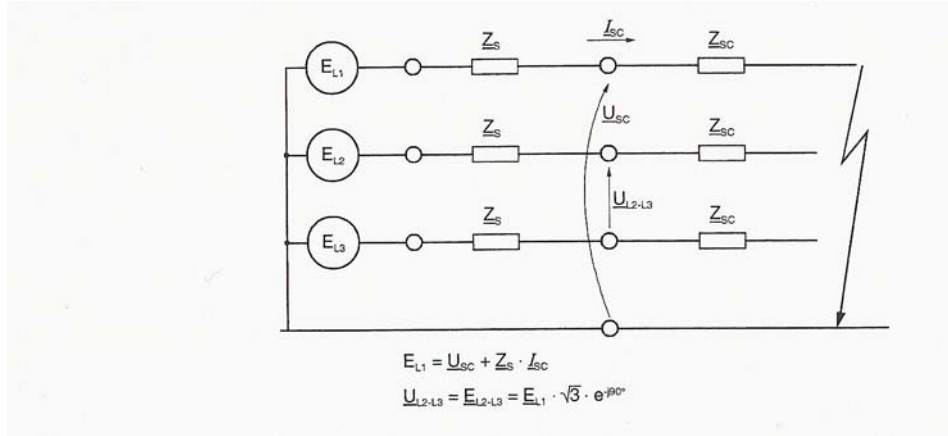
yönlü ön-seçimi vardır. Bununla gelen bir risk, bir fider topraklanmış bir hatta (topraklandığı unutulurak) bağlandığı zaman, baradaki tüm rölelerin açmasıdır. Maliyet faktörleri nedeniyle, kısa-devre edilmiş gerilimleri kullanarak alınan bu tip bir yön kararı (çaprazlanmamış polarizasyon) orta gerilim sistemlerinde tipik olarak kullanılmaktadır. Sınırsız bir yön hassasiyetini elde etmek için, YG ve ÇYG sistemlerinde klasik teknolojilerle birlikte çapraz polarizasyon ve hafıza polarizasyonu olarak adlandırılan teknikler kullanılmıştır. Arızasız gerilimlerle yön kararı vermenin (çapraz polarizasyon) prensibi, tek-fazlı kısa devrenin aşağıdaki örneği kullanılarak açıklanmıştır (Şekil 2.50).

Basitleştirmek için arızanın yüklü olmayan radyal fiderde olduğu varsayılır, yani yük akımlarının etkisi başlangıçta ihmal edilmiştir. Arıza başlangıcından önceki gerilim bu yüzden kaynak emk'sına eşittir. L1 fazındaki bir toprak arızası sırasında, gösterilen akım ve gerilim koşulları ortaya çıkar. Kısa devre akımı E_{L1} tarafından sürülür, ve eğer kısa-devre çevrimindeki empedans omik ve endüktifse E_{L1} geriliminin bir ϕ açısı kadar gerisindedir. Kısa-devre gerilimi U_{SCL1} , Z'_{sc} nin Z_{SC} ye oranına bağlı bir genlik ve faz açısına sahiptir. Eğer iki empedans ta aynı faz açısına sahipse, o zaman U_{SCL1} E_{L1} ile aynı fazdadır, ve kısa-devre açısı ϕ_{SC} ϕ açısına tekabül eder. Fakat ark dirençli yakın arızalar veya kablo arızaları sırasında, kısa devre empedansının açısı kaynak reaktansının açısından önemli ölçüde küçüktür. Bu, kaynak empedansı esasen generatör ve transformatör reaktanslarından oluştuğunda özellikle doğrudur. Ayrıca, yakın arızalarda $Z_s \gg Z_{SC}$ olduğu dikkate alınmalıdır, ve bu yüzden ϕ açısı, önemli ölçüde farklı kısa-devre koşullarında bile neredeyse hiç değişmez. Aynı zamanda, ϕ_{SC} 0° 'ye doğru çok küçük değerler alabilir (ark dirençli yakın arıza). Arıza bir seri kondansatörün arkasında olduğunda aşırı bir durum oluşur. Bu durumda, kısa devre gerilimi ölçülen negatif reaktansa göre ters çevrilir $X_{SC} = -X_C$. Arıza ileri doğrultuda olmasına rağmen şimdi kısa-devre gerilimi kısa-devre akımının 90° gerisindedir (Şekil 2.50). Kısa-devre edilmiş fazdaki gerilim bu nedenle seri kompanzasyonlu hatlarda yön kararına uygun değildir. Yön kararı için, karşı hat gerilimi U_{L2-L3} , kısa-devre edilmiş fazdaki gerilim U_{SCL1} 'e bir alternatif teşkil eder. Şekil 2.50'de, anlatılan arıza durumlarında I_{SCL1} ile U_{L2-L3} arasındaki göreceli faz açısının neredeyse değişmediği görülebilir. Sadece gerçek bir ters arıza durumunda kısa-devre akımı ters dönecektir, yani yaklaşık 180° dönecektir.

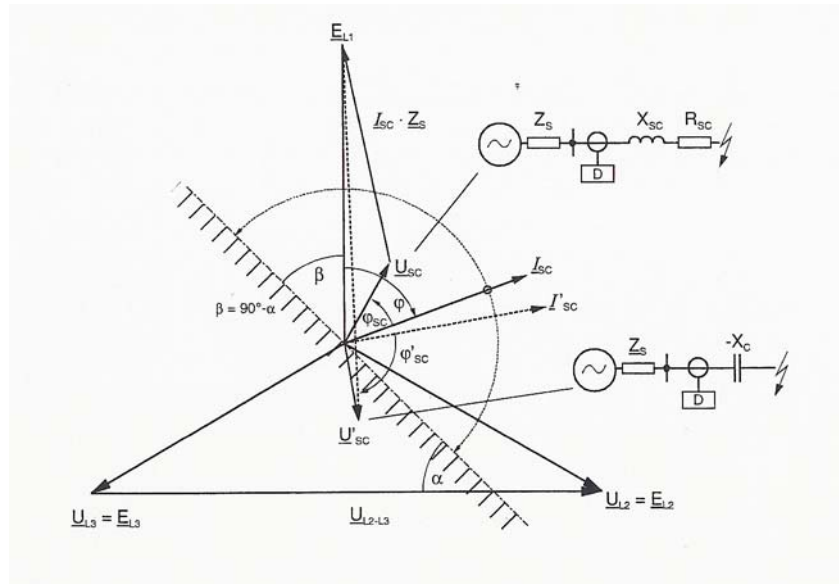
Kısa-devre akımı ile arızasız hat gerilimi arasındaki açının ölçümü, ideal bir yön kararı sağlar. Arızasız hat geriliminin faz açısı, arızalı çevrim gerilimi ile yapılan ölçümde olduğu gibi aynı

yön karakteristiğini elde etmek için ayarlanmalıdır. Buna ulaşmak amacıyla, şekil 2.50'deki U_{L2-L3} gerilimi, kısa-devre edilmiş çevrimdeki gerilim U_{L1} 'le yaklaşık aynı faz açısını elde etmek için ileri doğrultuda 90^0 döndürülmelidir.

Nümerik rölelerde, arızasız çevrim gerilimi kullanılarak bir empedans hesaplanır. Sonra bu empedans düzlemindeki yön karakteristiği ile karşılaştırılır. En basit şekliyle yön karakteristiği, şekil 2.51'de gösterildiği gibi hat gerilimine göre $\alpha = 45^0$ 'lik eğimiyle düz bir doğrudur (örneğin 7SA611). Bu durumda, I_{SC} , polarize eden (kutuplayan) gerilim U_{L2-L3} 'e göre geride 45^0 den 135^0 ye değişen aralıkta bir açısal ilişkiye sahip olduğunda, ileri yöndeki bir arıza fark edilir.



Şekil 2.50a Eşdeğer devre



Şekil 2.50b Gerilim diyagramı

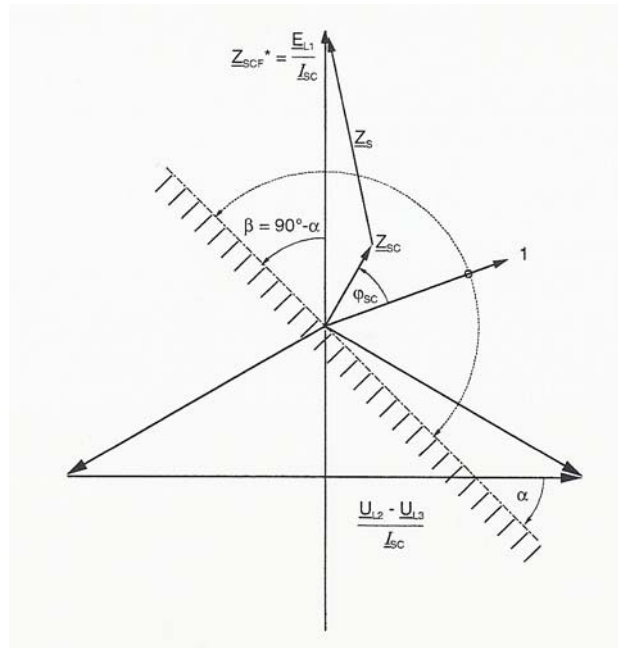
Şekil 2.50 Arızasız çevrim gerilimleriyle yön belirlemesi (çapraz polarizasyon) . Kaynak: Wedepohl, L. M., (1965), “Polarized MHO Distance Relay”, Proc. IEE.

2.3.2 Empedans Düzleminde Yön Karakteristiği

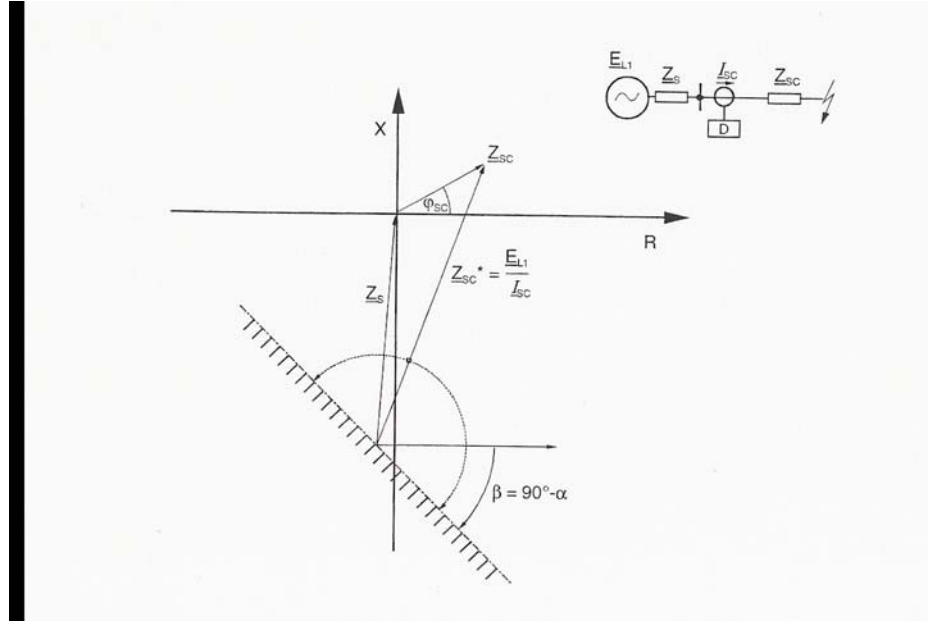
Yön karakteristiğini empedans düzlemine dönüştürmek için, şekil 2.50'deki gerilimler başlangıçta kısa-devre akımı tarafından bölünürler. Şekil 2.51'de gösterilen diyagram ortaya çıkar. Empedans vektörü Z_{SC}^* , ileri doğrultuda 90° döndürülmüş arızasız çevrim gerilimine tekabül eder. Eğer birim vektörü “1”i empedans diyagramının reel eksenini olarak sabitler ve

diğer vektörleri yeniden düzenlersek, kısa-devre empedansı Z_{SC} nin ve rölenin bölge karakteristiklerinin genel şekilleriyle (bölüm 2.1.3'te şekil 2.2) girdiği empedans düzlemindeki modele ulaşırız (Şekil 2.51).

Şekil 2.50'de arızasız çevrim gerilimi E_{L1} veya ilgili empedans Z_{SC}^* referans değerler olarak belirlenmiştir. Röle, “1” vektörü, yani akım, kesik çizgili yay tarafından modellenen açısal alan içinde olduğu sürece ileri doğrultuyu gösterir. Şekil 2.52'te zıt koşul gösterilmektedir: “1” vektörü gerçek eksen olarak belirlenmiştir, ve Z_{SC}^* buna göre, ileri doğrultu kararı ile sonuçlanması için kesik çizgili yay tarafından modellenen açısal alanın içinde yer alabilir.



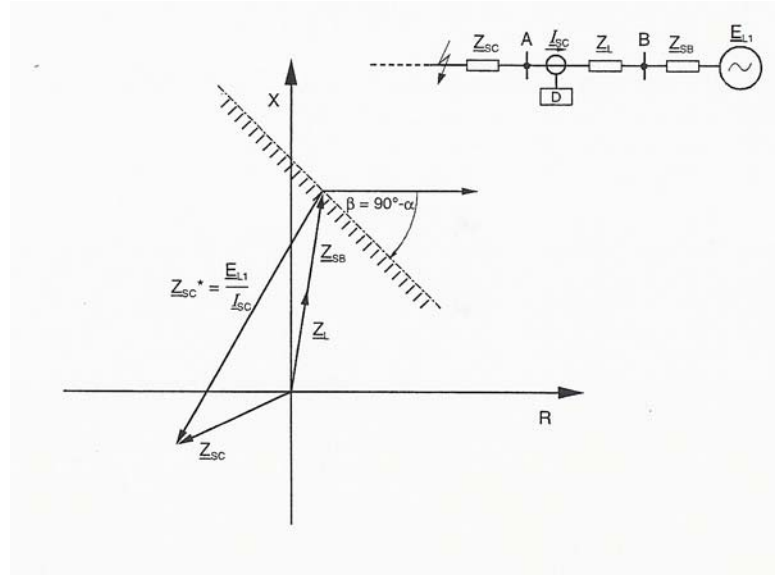
Şekil 2.51 Empedans diyagramı.



Şekil 2.52 İleri doğrultudaki arızalar için empedans düzlemindeki yön karakteristiği.

Yön karakteristiğinin kaynak empedansına oranla kayması, kısa-devre gerilimi ve böylece Z_{sc} sıfıra eşit olduğunda bile, yakın arızalar için kesin bir ileri doğrultu kararının elde edildiğini gösterir. Seri kondansatörlerin arkasında yer alan, negatif kısa devre empedansı ile sonuçlanan arızalar bile, ileri doğrultudaki arızalar olarak algılanır. Ancak şekil 2.52’teki gösterimin sadece ileri yöndeki arızalarla ilgili olduğuna dikkat edilmelidir. Ters arızalarda, kısa-devre akımı, akım transformatörlerinden zıt yönde ve bu yüzden de, röleden negatif yönde akar. Bu, kısa-devre akımı I_{sc} ile kutuplayıcı (polarize) gerilim U_{L1-L2} veya E_{L1} arasındaki faz ilişkisinin ters çevrilmesiyle sonuçlanır. Ters yöndeki arızalar bu nedenle ayrı bir diyagramda gösterilmelidir (Şekil 2.53). Bu yine, ters yöndeki, yakın arızaların ve seri kondansatörlerin arkasındaki arızaların doğru olarak algılandığını gösterir.

Pratikte, yön karakteristiğini empedans düzleminin orijininin geçen bir doğru (veya orijinde bir açıyla kesişen iki doğru) olarak göstermek yaygındır. Bu, arızalı çevrimdeki gerilimin kullanıldığı konvansiyonel, orta gerilim röleleri için (R1KZ4, 7SL70) doğrudur. Açık konuşmak gerekirse bu model, besleme sonsuz güçlü, yani $Z_s=0$ varsayıldığında, polarizasyonları için arızasız çevrim gerilimlerini kullanan röleler için de geçerlidir. Genelde bu sadeleştirme, yakın arızalar için sınırlama koşulları araştırılmadığı sürece kabul edilebilirdir. Seri kompanzasyonlu fiderlerde, veya yük transferli uzun iletim hatlarında, aşağıda gösterildiği gibi, doğru model gereklidir.

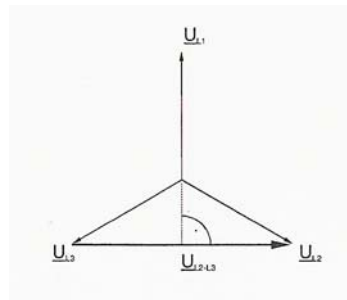


Şekil 2.53 Ters yöndeki arızalar için empedans düzlemindeki yön karakteristiği.

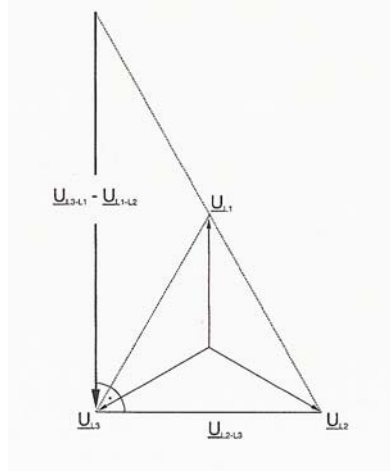
2.3.3 Arızasız Çevrim Gerilimlerinin Seçimi

Arızasız faz gerilimleriyle yön belirleme prensibi, şimdiye kadar tek-faz-toprak arızası örneğiyle gösterilmişti. Prensip, tüm diğer arıza tipleri için benzer olarak geçerlidir. Nümerik röleler her zaman, 90° döndürülen (çapraz polarize edilmiş gerilim) bir polarizasyon (kutuplama) gerilimi seçer (Şekil 2.54 ve Çizelge 2.6).

Doğal olarak, üç fazlı bir arıza durumunda, arızasız çevrim gerilimi mevcut değildir. Bu muhtemel durumda nümerik röleler, arıza başlangıcından önce mevcut olan polarize edici (kutuplayıcı) gerilimi kaydeden bir gerilim hafızasından yararlanırlar. Bu, arıza başlangıcından sonra uygun bir zaman süresince arızasız çevrim gerilimlerinin yön kararında hazır olmalarını sağlar (7SA511'de 5 s, 7SA513'te 0.4 s, ve 7SA522'de 2 s) .



Şekil 2.54a Faz-toprak çevrimi (örnek L1-T)



Şekil 2.54b Faz-faz çevrimi (örnek L2-L3)

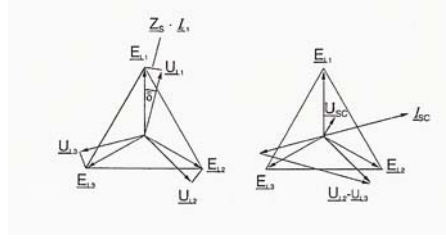
Şekil 2.54 Yön belirlemesi için referans gerilimi. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

Çizelge 2.6 Mesafe ölçümü ve yön saptaması için ölçülen değerler

Ölçülen çevrim	Ölçülen akım (mesafe)	Ölçülen gerilim (mesafe)	Ölçülen akım (yön)	Ölçülen gerilim (yön)
L1-T	$I_{L1} - k_E \cdot I_E$	U_{L1-T}	$I_{L1}(-k_E \cdot I_E)^{14}$	U_{L2-L3}
L2-T	$I_{L2} - k_E \cdot I_E$	U_{L2-T}	$I_{L2}(-k_E \cdot I_E)^{14}$	U_{L3-L1}
L3-T	$I_{L3} - k_E \cdot I_E$	U_{L3-T}	$I_{L3}(-k_E \cdot I_E)^{14}$	U_{L1-L2}
L1-L2	$I_{L1} - I_{L2}$	U_{L1-L2}	$I_{L1} - I_{L2}$	$U_{L2-L3} - U_{L3-L1}$
L2-L3	$I_{L2} - I_{L3}$	U_{L2-L3}	$I_{L2} - I_{L3}$	$U_{L3-L1} - U_{L1-L2}$
L3-L1	$I_{L3} - I_{L1}$	U_{L3-L1}	$I_{L3} - I_{L1}$	$U_{L1-L2} - U_{L2-L3}$

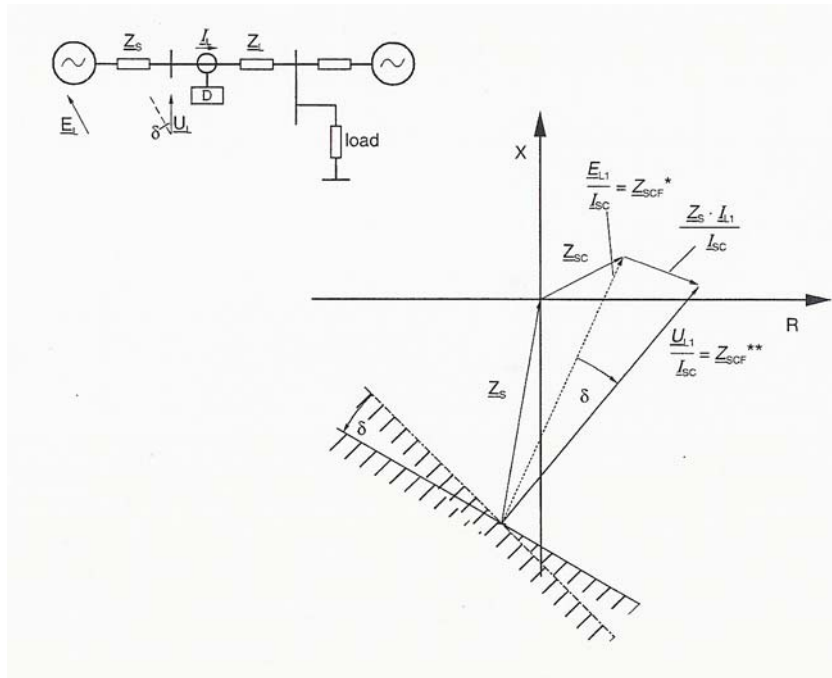
Not: $k_E = Z_E / Z_L$

2.3.4 Yük Transferinin Etkisi



Şekil 2.55 Yük akışlı toprak-arızası için gerilim fazör diyagramı.

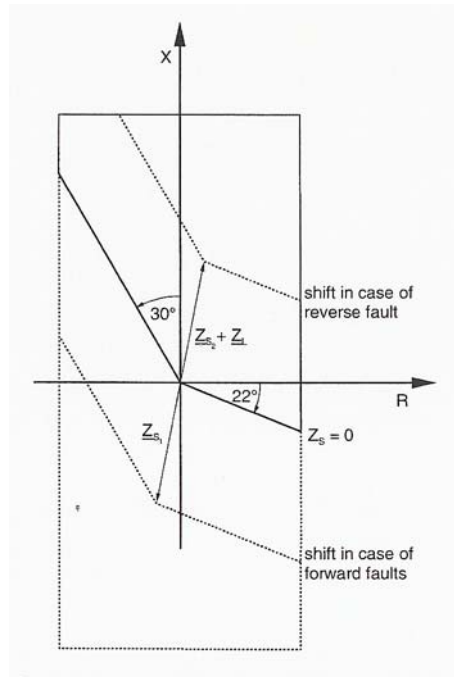
Şimdiye kadar analizde, arızasız çevrim geriliminin kaynak emk'sına tekabül edeceği şekilde yüksüz fiderler varsayılmıştır. Fakat pratikte, yük transferi bunu etkiler, çünkü röle noktasındaki gerilim kaynak geriliminden, fiderdeki gerilim düşümü nedeniyle farklıdır (Şekil 2.55). Yön saptaması için kararda etkili olan parametre, havai hattın akan gerçek yük akımı tarafından sunulan açısal dönüş δ 'dır.



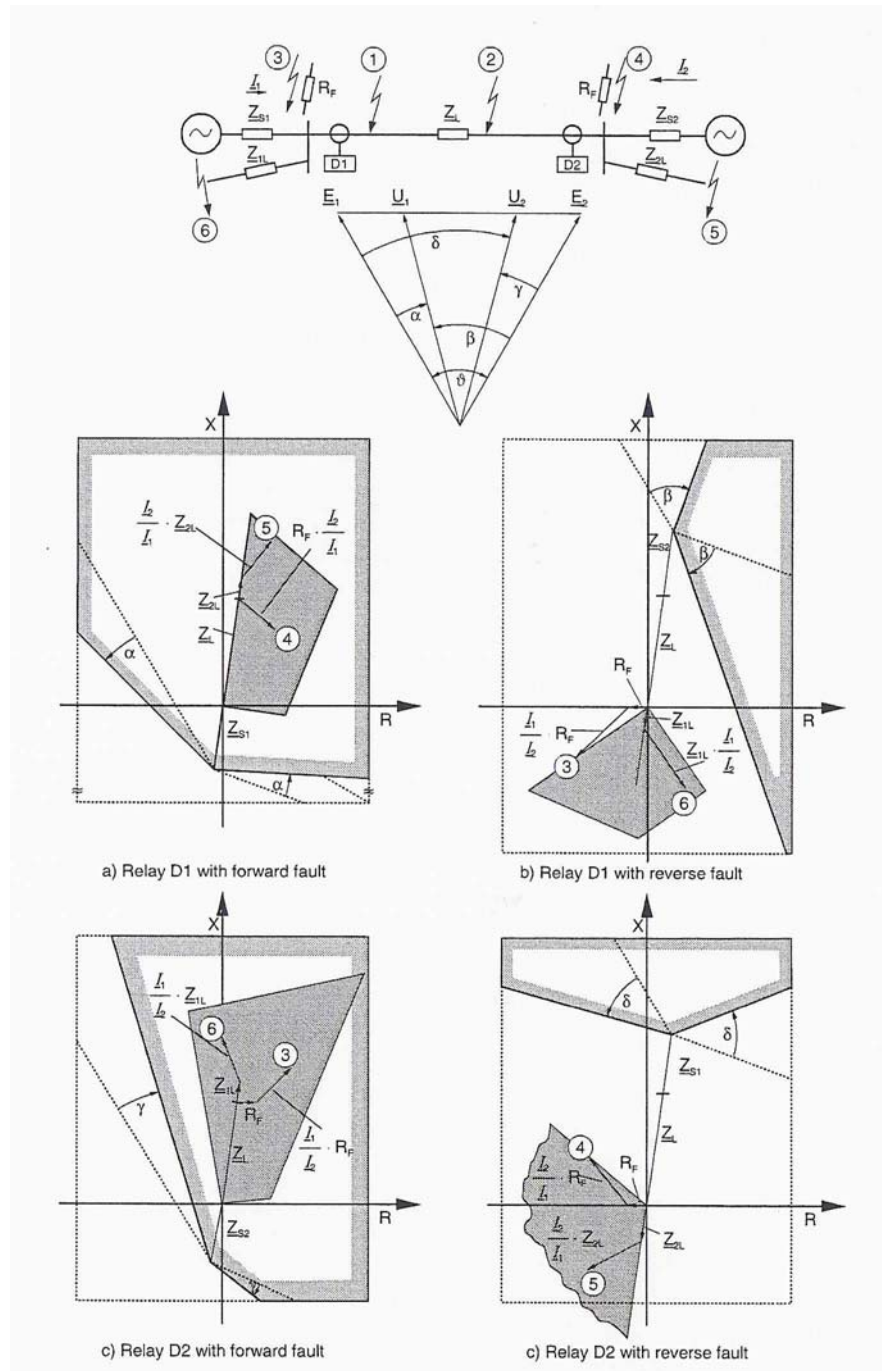
Şekil 2.56 Yön karakteristiğinin pozisyonuna yük transferinin etkisi.

Arızasız çevrimi-polarize edici geriliminin dönüşü (rotasyonu), yönlü karakteristiğin bununla ilgili olarak zıt yönde dönüşünü getirir (Şekil 2.56). Bu, şekil 2.50 ve 2.51'den türetilir. Kısa hatlar ve güçlü beslemelerde, bu etki göreceli olarak küçüktür (örneğin Almanya'da $<10^\circ$). Ağır yüklü uzun hatlarda sabit (stasyoner) iletim açısı yaklaşık 60° gibi değerler alabilir ki, bu büyüklükte bir arızasız çevrim gerilim dönüşünün (rotasyonunun) de dikkate alınması gerekmektedir. Özellikle, büyük açısal dönüşlerin oluşacağı ters arızalar için daha büyük bir güvenlik marjı sağlanmıştır (Şekil 2.57). Uzun iletim hatlarının davranışı şekil 2.58'de gösterilmiştir.

Ters yöndeki arızalarda, etkin kaynak gerilimi ile röle konumundaki gerilim arasında büyük bir açı farkının olacağı açıktır. Röle konumundaki gerilim arızasız çevrim gerilimine, veya hafıza gerilimine tekabül eder. Fark, karşı ucun emk'sının kısa devre akımını sürdüğü ters yöndeki arızalar için özellikle büyüktür (β ve δ). Yaklaşık 45° 'lik açı dönüşüne rağmen, her durumda yön kararı doğrudur. Arıza direnci R_F ve aradaki besleme I_2 / I_1 'in bir sonucu olarak kısa-devre empedansının ikinci koordinat bölgesinde yer aldığı arıza durumu 4, özellikle enteresandır. Bu etki ortaya çıkar, çünkü E_2 tarafından sürülen kısa-devre akımı I_2 , E_1 tarafından sürülen I_1 'in yaklaşık 60° gerisindedir. Bir konvansiyonel kendiliğinden-polarize edilmiş admitans rölesi, veya arızasız çevrim gerilimi polarizasyonunu kullanan bir röle ve yatay bir karakteristik, bu ters arıza için yanlış açtırma yapar.



Şekil 2.57 ÇYG koruması için optimize edilmiş yön karakteristiği (7SA513) .



Şekil 2.58 Uzun iletim hatlarında arızasız çevrim gerilimleriyle yön saptaması.

2.3.5 Gerilim Hafızalarının Uygulanması

Bir gerilim hafızası, yakın üç fazlı arızalar ve seri kompanzasyonlu havai hatlarda özel öneme sahiptir. Gerilim hafızasının sadece birkaç periyot mevcut olduğu analog rölelerden farklı olarak, nümerik teknoloji, istendiği kadar polarize edici gerilimin devamlılığına kendiliğinden izin vermektedir. Fakat gerilimin uzun bir hafızalandırılışı frekans dengelenmesini (kompanzasyonunu) gerektirir. Yoksa, sistem frekansının herhangi bir sapması, yön karakteristiğinde $\Delta f.t$ ile orantılı bir açısal dönüş getirir. Örneğin 7SA511, 7SA513 ve 7SA522 mesafe rölelerinde hafıza kapasitesi sırasıyla 5s, 0.4s ve 2s'dir ve bu dengeleme (kompanzasyon) gerçekleştirilmiştir. Gerilim hafızasının resetlendiği (değerlerinin başa döndüğü) zaman ölçülen gerilim olmaması durumunda, ölçülen gerilim yeniden bulununcaya kadar son geçerli yön kararı korunur. Bu, örneğin $U=0$ 'lı bir yakın arızanın üzerine yeniden kapama durumunda üç fazlı ölü zamanı takiben hızlı açtırmayı sağlar. Daha önce “ölü zamanın” en aza indirilmesini gerektiren yaklaşık 100mV'luk yüksek yön hassasiyeti, nümerik rölelerde artık gerekli değildir, çünkü bir gerilim hafızası her zaman mevcuttur.

Yön kararının harekete geçirilmesi için eşik gerilimi, nümerik rölelerde yaklaşık olarak 1V hat gerilimi olarak ayarlanır. Bu, ölçülen, girişime karşı yeteri kadar dayanıklı olan bir sinyali sağlayan bir değere karşılık düşer. Eğer bu eşiğin üstünde akım veya hafızalandırılmış gerilim yoksa, ileri yön otomatik olarak seçilir. Bu nedenle $U_{sc} = 0$ la bir yakın arızanın üzerine kapatıldığı kritik durumda hemen açtırma yapılır. Ayrıca, yönsüz bir bölgenin veya ek değiştirme lojigini kullanarak arıza algılanmasının harekete geçirilmesi mümkün değildir. Aynı baraya bağlı fiderlerdeki diğer mesafe röleleri arızayı, hafızalandırılmış gerilimlerini kullanarak ters doğrultuda “görürler”. Geciktirilmiş arıza giderilmesi ve gerilim hafızasının süresinin dolması durumunda, ters yön kararı, arıza giderildikten itibaren ölçülen gerilimin yeniden bulunmasına kadar doğru olarak sürdürülür. Seri kompanzasyonlu fiderlerde, gerilimin ters döndürülmesi etkisini sağlamak için bir gerilim hafızası gereklidir. Gerilim hafızasının süresi bu durumda arıza giderme süresinden kesinlikle daha uzun olmalıdır. Geciktirilmiş açtırma için, yaklaşık 100 ms gereklidir. 7SA513'teki 400ms hafıza kapasitesi, 300ms'lik ilk kademelendirme zamanına kadar olan bir arıza süresini kapsar ve hatta 7SA522'nin 2s'lik hafızası daha da fazladır.

2.4 Nümerik Teknolojili Dairesel Karakteristikler

Dörtgen karakteristiklerde, başlangıçta kısa-devre empedansının R- ve X-değerleri hesaplanır, ve sonra bölge sınırları ile karşılaştırarak mesafe bölgelerindeki konumları saptanır.

Dairesel karakteristiklerde, ölçüm için akım ve gerilim fazörleriyle klasik açı ölçümü tavsiye edilmektedir. Örnek olarak, 7SA522'deki dörtgene alternatif olarak koyulabilecek admitans-karakteristikleri incelenmiştir.

2.4.1 Admitans Dairesi

Nümerik teknolojiye örneklenerek ölçülen değerler, dikey (ortogonal) filtrelerle işlendikten sonra reel ve imajiner kısımları olan bir karmaşık sayı biçiminde vektör büyüklükleri olarak bulunurlar. Şekil 2.59, admitans dairesinin empedans diyagramı ve gerilim diyagramındaki modelini göstermektedir. Gerilim diyagramı, empedans değerlerinin kısa devre akımı ile çarpımıyla bulunur. Açıklanan şekil klasik admitans-dairesine tekabül eder. Kendiliğinden-polarize edici admitans-çemberi olarak adlandırılır, çünkü sadece kısa-devre çevriminin arızalı gerilimini referans gerilimi olarak kullanmaktadır. Arızasız gerilimlerin uygulaması (polarize edilmiş admitans-çemberi) aşağıda açıklanacaktır.

Z_R , röle üzerinde ayarlanması gereken empedanstır. Dairenin çapına tekabül eder ve bölge erişimini belirler. Genellikle Z_R , korunacak bölgenin hat empedansı ile eşleşir. Bu yüzden kopya empedansı olarak ta adlandırılır. Kopya empedansı üzerindeki gerilim kısa-devre akımı ile çarpımından bulunur: $U_R = I_{SC} \cdot Z_R$ (konvansiyonel rölelerde, bunu elde etmek için akım transformatörünün sekonder akımı gerçek bir kopya ile oluşturulmak zorundadır.)

Z_{SC} , ölçülmek zorunda olan kısa-devre empedansıdır. U_{SC} , Z_{SC} üzerindeki gerilim düşümü, yani röle konumundaki kısa devre gerilimidir.

Fark gerilimi ΔU , U_R ve U_{SC} gerilimlerinin nümerik olarak birbirinden çıkartılması ile oluşur. Daire karakteristiği, Z_{SC} 'nin U_{SC} ve ΔU arasında 90° ye eşit bir açığa sahip olan tüm noktaları tanımlar (Z_R çapının üzerindeki Thales-dairesi). Bölge erişiminin içindeki arızalar 90° den büyük bir ϕ açısına, harici arızalar 90° den küçük sahip olacaklardır.

$\text{Re}\{U_{SC} * \Delta U\} \geq 0$ olduğu zaman, $\varphi \geq 90^\circ$ açtırma kriteri yerine getirilmiş olur, ve bu nedenle örneğin mikroişlemci aygıtı tarafından bu hesaplama alıştırmasıyla denenebilir.

Tek tek arıza çevrimlerinin değerlendirmesinde, ilgili arıza çevrimlerinin gerçek değerleri, doğrudan empedans hesaplamasında olduğu gibi U_{SC} ve I_{SC} için uygulanmalıdır.

Faz-Faz arızası:

$$U_{SC} = U_{faz1} - U_{faz2} \text{ ve } I_{SC} = I_{faz1} - I_{faz2}$$

Faz-Toprak arızası:

$$U_{SC} = U_{faz-T} \text{ ve } I_{SC} = I_{faz} - k_E \cdot I_E$$

Kompleks değer

$$k_E = |k_E| \cdot e^{j\varphi_E} = \text{Re}\{k_0\} + j\text{Im}\{k_0\} = \frac{Z_E}{Z_L} = \frac{Z_0 - Z_1}{3 \cdot Z_1}$$

artık kompanzasyon faktörüdür. Konvansiyonel rölelerde bir büyüklük ve açı-ayarı uygulanır.

Diğer yandan Siemens nümerik mesafe rölelerinde, R- ve X-hesaplaması için gerekli olduklarından

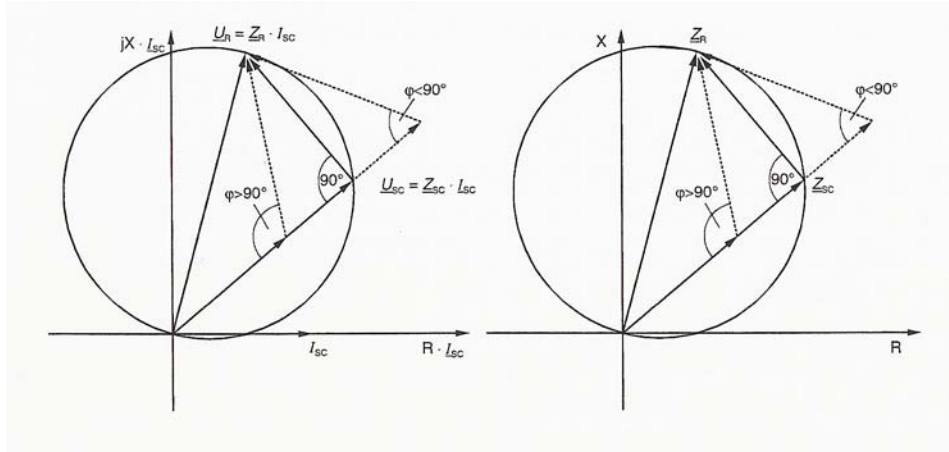
$$k_{RE} = \frac{R_E}{R_L} = \frac{R_0 - R_1}{3 \cdot R_1} \text{ ve } k_{XE} = \frac{X_E}{X_L} = \frac{X_0 - X_1}{3 \cdot X_1}$$

değerlerinin parametrelendirilmesi gerekmektedir. Bunun ek avantajı, kompleks hesaplamanın artık gerekmemesidir.

Admitans-karakteristikleri için, 7SA522 rölesi dahili olarak k_E kompleks değerini aşağıdaki denklemle hesaplar:

$$k_E = \frac{(k_{RE} \cdot R_1 + jk_{XE} X_1) \cdot (R_1 - jX_1)}{R_1^2 + X_1^2} \quad (2.44)$$

Hattın korunan bölümünün empedansının değeri denklemde kullanılmalıdır. İlk bölge ve yedek bölgeler için artık kompanzasyon faktörü 7SA522 rölesinde ayrı olarak ayarlanabilir. Bir komşu hat veya paralel hattın birleşmesini hesaba katarak, yedek bölgelerin farklı ayarlanmış değeri olabilirken ilk bölge normalde, korunan hatla eşleşecek şekilde ayarlanır.



Şekil 2.59 Kendiliğinden polarize edilmiş admitans-karakteristiği, gerilim ve empedans diagramı.

2.4.2 Polarize Edilmiş (Kutuplanmış) Admitans Karakteristikleri

Kendiliğinden polarize edilmiş admitans-dairesi, karakteristik empedans diyagramının koordinat orijininden geçtiğinden, yakın arızalar esnasında ($Z_{sc} \rightarrow 0$ diğer bir deyişle $U_{sc} \rightarrow 0$) bir ölü zamana sahiptir. Küçük bir kısa-devre gerilimli yakın arızalar sırasında bu yüzden arıza konumunun röle konumunun önünde mi yoksa arkasında mı olduğunu güvenilir bir şekilde saptamak mümkün değildir. Bu nedenle arızalı çevrim gerilimlerini kullanarak yön tayininde de oluşan aynı sorun ortaya çıkar. Ek olarak rölenin yakın arızalar sırasında, arıza empedansı açma karakteristiğinin sınırında görüldüğü için, açma zamanının daha uzun olduğuna dikkat çekilmelidir. Elektromekanik ölçüm sistemlerinde bu, küçük bir moment üreten küçük kısa-devre gerilimi nedeniyle gerçekleşmiştir. Nümerik rölelerde ölçüm tekrarları, özellikle kapasitif gerilim transformatörlerinden beklendiği gibi geçici girişim gerilimleri üstlerine bindiğinde benzer bir etki üretirler. Yön saptamasında olduğu gibi, bu sorun uygun bir arızasız veya hafızalandırılmış gerilimin katılmasıyla da çözülebilir. Arızasız gerilim kısa devre gerilimine birleşik bir polarize edici gerilim U_p oluşturmak için eklenir. Eklenen arızasız gerilimin yüzdesi, k_p faktörü tarafından belirlenir:

$$U_p = (1 - k_p) \cdot U_{arızalı} + k_p \cdot U_{sağlıklı} \quad (2.45)$$

Sağlıklı gerilimin büyüklüğü ve fazı, arıza başlangıcından önceki kısa-devre çevrimi üzerindeki gerilime eşit olacak şekilde eklentiden önce değiştirilir.

Bir örnek olarak, ileri yöndeki bir L1-T arızası varsayılmıştır. Karşı hat gerilimi (çapraz-polarize edilmiş gerilim) $U_{L2} - U_{L3}$, bu durumda arızasız gerilimlerle yön tayinine benzer şekilde uygun arızasız çevrim gerilimidir. Hat geriliminin, arıza başlangıcından önceki U_{L1-T} faz gerilimlerine tekabül etmesi için pozitif yönde 90° döndürülmesi ve $\sqrt{3}$ 'e bölünmesi gerekmektedir.

$$U_{\text{sağlıklı}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot e^{j90^\circ} \cdot (U_{L2} - U_{L3}) \quad (2.46)$$

O zaman arızasız bir simetrik üç-fazlı sistemde, aşağıdakiler geçerli olur:

$$U_p = U_{L1-T}$$

Kısa-devre sırasındaki U_p 'nin hesaplanması için başlangıçta yüklü olmayan bir hat varsayılmıştır. Buna göre şekil 2.50b'ye dönülebilir, ve aşağıdaki bağıntı çıkartılabilir.

$$E_{L1} = U_{SC-L1} + Z_s \cdot I_{SC-L1} \quad (2.47)$$

ve

$$E_{L2} - E_{L3} = E_{L1} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-j90^\circ} = (U_{SC-L1} + Z_s \cdot I_{SC-L1}) \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-j90^\circ} \quad (2.48)$$

Yüklenmemiş hatta $U_{L2} - U_{L3} = E_{L2} - E_{L3}$ gerçeğinin farkına vararak, aşağıdakiler elde edilir:

$$U_{\text{sağlıklı}} = U_{SC-L1} + Z_s \cdot I_{SC-L1} \quad (2.49)$$

$$U_{\text{arızalı}} = U_{SC-L1} = Z_s \cdot I_{SC-L1} \quad (2.50)$$

Bu nedenle aşağıdaki polarize edici gerilim elde edilmiştir:

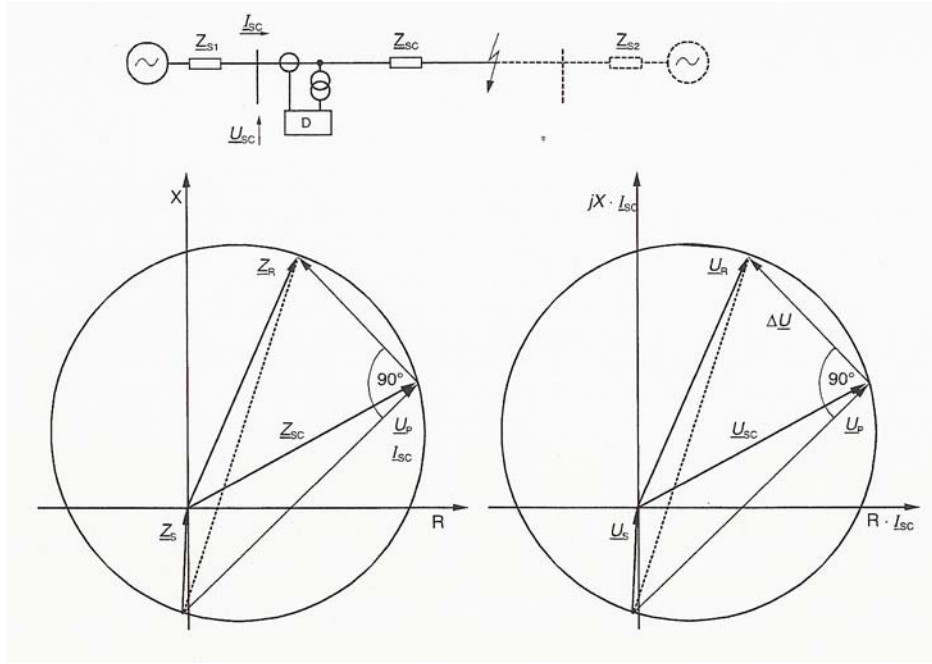
$$U_p = (1 - k_p) \cdot Z_{SC} \cdot I_{SC-L1} + k_p \cdot (U_{SC-L1} + Z_s \cdot I_{SC-L1}) \quad (2.51)$$

ve son olarak

$$U_p = Z_{SC} \cdot I_{SC-L1} + k_p \cdot Z_s \cdot I_{SC-L1} \quad (2.52)$$

Admitans karakteristiği üzerindeki etki şekil 2.60'da gösterilmiştir. ΔU ile U_{SC} yerine ΔU ile U_p arasındaki gerilimi ölçerek, koordinat orijini kapsanacak şekilde çemberin büyüklüğü artırılır.

Bu modelin sadece ileri doğrultudaki arızalar için geçerli olduğuna dikkat ediniz. Negatif X-değerleri ters yöndeki arızalardan ziyade, ileri yöndeki arızalar için ölçülen negatif kısa-devre reaktanslarına tekabül eder. Bu koşul, kısa-devre reaktansı kapasitif olduğu zaman, yani seri kondansatörlerin arkasındaki arızalarda ortaya çıkar ($X_{SC} = -X_C$). $X_C < k_p \cdot X_S$ ifadesi geçerli kaldıkça, arıza hala doğru olarak ileri yönde “görülür”, çünkü ölçülen kısa-devre reaktansı dairenin içinde sınır değerine kadar kalmaktadır .

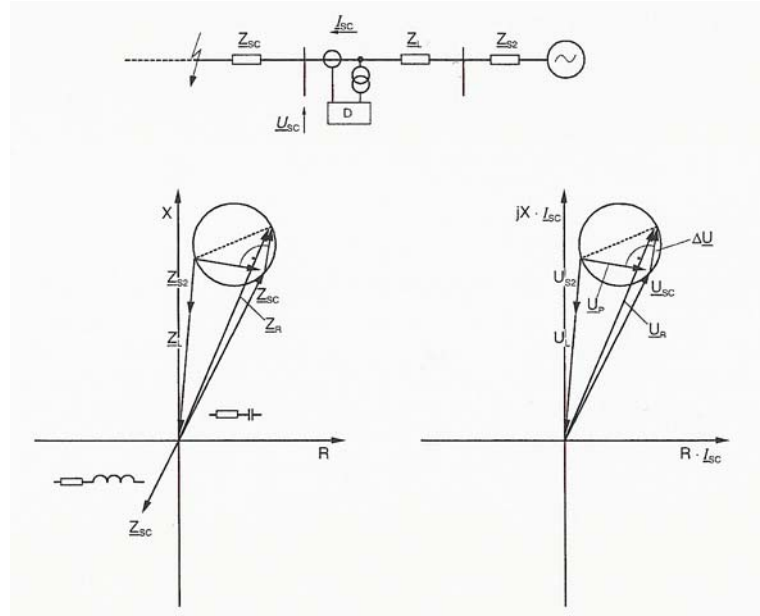


Şekil 2.60 Polarize olmuş admitans-dairesi, ileri yöndeki arıza empedans ve gerilim diagramı. Kaynak: Warrington, A. R. Van C. (1996), “Application of the OHM and MHO Principles to Protective Relays”, Transactions of the American Institute of Electrical Engineers.

Ters yöndeki arızalarda, kısa-devre akımı röleden zıt yönde akar, ve bu yüzden gerilimle ilişkideki akım ters döner. Buna göre, yukarıdaki denklemlerde akım negatif işaretlerle uygulanmalıdır. Gösterileceği gibi, bu röle karakteristiğini değiştirir. Ters yöndeki arızalar, bu nedenle ayrı bir diyagramda modellenmelidir. Modelin, kendiliğinden polarize edilmiş karakteristiklerin gösteriminde olduğu gibi, ters arızalar üçüncü bölgede görünecek şekilde seçildiğine dikkat edilmelidir. Kısa-devre empedansı ile ilişkili olarak, şimdi kaynak empedansı ters yönde görünür (Şekil 2.61). Polarize olmuş admitans-dairesi daralır ve Z_S tarafından orijinden uzaklaştırılır.

Ters doğrultudaki yakın arızalar ($Z \approx 0$), şimdi büyük bir marjla karakteristiğin dışında görünürler ve bu nedenle doğru olarak “görülürler”. Seri kondansatörlerin arkasındaki, pozitif

reaktanslar olarak oraya çıkan ters yöndeki arızalar bile, X_C yaklaşık olarak $< k_p \cdot (X_{S2} + X_L)$ ifadesi yine geçerli kaldığı sürece, doğru olarak “görülmemektedir.”



Şekil 2.61 Polarize edilmiş admitans-dairesi, ters yöndeki arıza empedans ve gerilim diagramı. Kaynak: Warrington, A. R. Van C. (1996), “Application of the OHM and MHO Principles to Protective Relays”, Transactions of the American Institute of Electrical Engineers.

Buna göre, polarize edilmiş admitans-dairesi, çokgen karakteristikli durumdaki arızasız gerilimlerle yön tayinine benzer şekilde iyi bir yön davranışına sahiptir. Kendiliğinden polarize edilmiş admitans-dairesi ile karşılaştırıldığında ek bir avantaj ise, erişimin R-doğrultusunda artımıdır (ark-kompanzasyonu). Fakat dairenin artışı, kaynak empedansının büyüklüğüne bağlıdır. Kaynak empedansı, ayarlanan bölge erişimiyle ilişkili olarak artarsa, ark kompanzasyonu artar. Kaynak empedansındaki bir artış daha küçük kısa devre akımlarının akmasına ve ark direncinin artmasına sebep olduğundan, bu pozitif bir etkidir. Ancak güçlü beslemelerde, etki çok küçüktür ve kısa hatlarda çokgen karakteristiğin kullanılması tavsiye edilir.

2.4.3 Polarize Edilmiş (Kutuplanmış) Admitans Dairelerine Yükün Etkisi

Bu durumda yük transferi, yön saptaması durumundakine benzer bir etkiye sahiptir. Röle konumundaki gerilimin kaynak emk'sına göre açığı kayması yine δ^0 olsun. Reel güç veren uçta, arızasız veya hafızalandırılmış gerilim U_1 , kaynak emk'sı E_1 'in, şekil 2.62'de

gösterildiği gibi gerisindedir. Önceki yüksüz hat örneğinde olduğu gibi, bir kez daha tek-fazlı toprak arızasına bakılır:

Aşağıdakiler halen geçerlidir:

$$E_{L1} = U_{SC-L1} + Z_s \cdot I_{SC-L1} \quad (2.53)$$

ve

$$E_{L2} - E_{L3} = E_{L1} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-j90^\circ} = (U_{SC-L1} + Z_s \cdot I_{SC-L1}) \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-j90^\circ} \quad (2.54)$$

Sağlıklı (arızasız) gerilimin faz açısı kayması nedeniyle, aşağıdaki denklem bulunur:

$$U_{L2} - U_{L3} = (E_{L2} - E_{L3}) \cdot e^{-j\delta^\circ} \quad (2.55)$$

Uyarlanan sağlıklı gerilim aşağıdaki gibidir:

$$U_{sağlıklı} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot e^{j90^\circ} \cdot (U_{L2} - U_{L3}) = (U_{SC-L1} + Z_s \cdot I_{SC-L1}) e^{-j\delta^\circ} \quad (2.56)$$

Kısa-devre gerilimi değişmeden kalır:

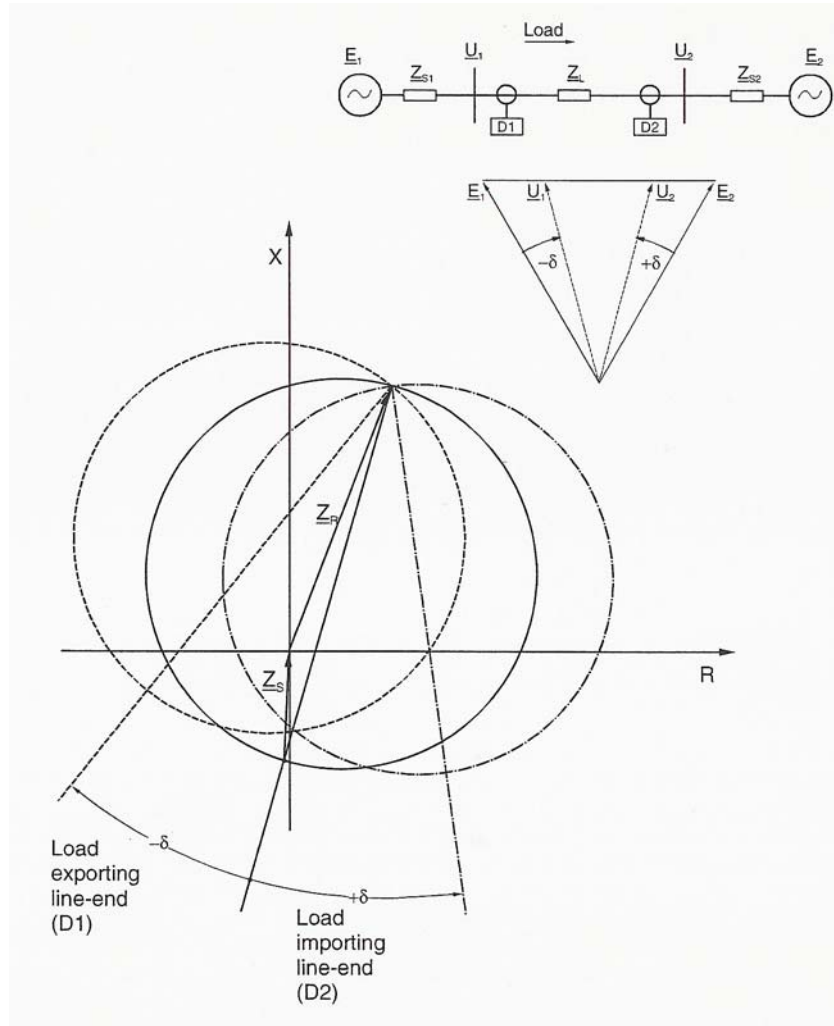
$$U_{arızalı} = U_{SC-L1} = Z_{SC} \cdot I_{SC-L1} \quad (2.57)$$

Polarize edici gerilim bu nedenle aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} U_p &= (1 - k_p) \cdot U_{arızalı} + k_p \cdot U_{sağlıklı} \\ U_p &= [(1 - k_p) + k_p \cdot e^{-j\delta}] \cdot Z_{SC} \cdot I_{SC-L1} + k_p \cdot e^{-j\delta} \cdot Z_s \cdot I_{SC-L1} \end{aligned} \quad (2.58)$$

Arızasız gerilim tarafından tam kompanzasyon durumunda ($k_p = 1$), aşağıdaki sonuç elde edilir:

$$U_p = (Z_{SC} \cdot I_{SC-L1} + Z_s \cdot I_{SC-L1}) \cdot e^{-j\delta} \quad (2.59)$$



Şekil 2.62 Yük transferinin polarize edilmiş admitans-dairesinin pozisyonu üzerindeki etkisi (arızasız gerilimle tam polarizasyon) . Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

Bu nedenle daire, röle empedansının terminal noktası sabit nokta olacak şekilde yük açısı δ kadar geri yönde (eksi faz farkı) döndürülür (Şekil 2.62). Buna uygun olarak ark kompanzasyonu azaltılmıştır. Güç gönderen uçta, daire ileri yönde (artı faz farkı) döndürülür, ve ark kompanzasyonu bununla beraber geliştirilir. Bunun belirgin bir avantajı, iki uçlu besleme ve yük transferinde, polarize edilmiş admitans-dairesinin dönüşünün arıza direncinin dönüşü ile aynı doğrultuda olmasıdır. X-ölçümü hatasının dengelenmesinin bir derecesi bu nedenle otomatik olarak elde edilir, ve çokgen karakteristikler için mantıklı olan özel tasarlanmış yük kompanzasyonu (dengelenmesi), burada gerekli değildir.

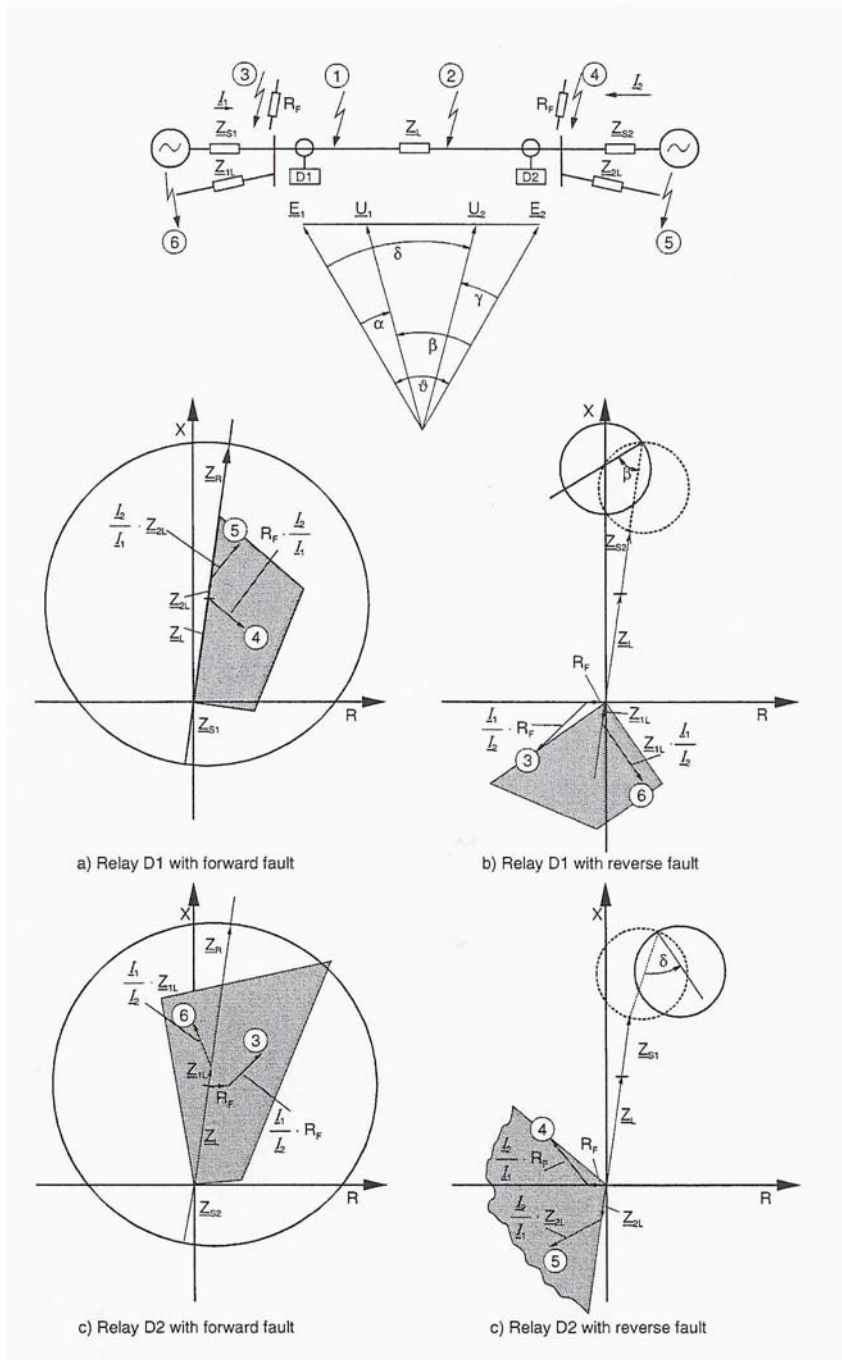
Yük açısı dönüşünün (rotasyonunun) en büyük etkisini ters yöndeki arızalar sırasında yapması beklenir, çünkü bu durumda besleme gerilimi ile röle konumu gerilimi arasındaki en büyük faz kayması gerçekleşir. Bu, arızasız çevrim gerilimleriyle yön ölçümünde şekil 2.58’de gösterilmiştir.

Polarize olmuş admitans-karakteristiğinin sistem koşullarıyla değişimi şekil 2.63’te gösterilmiştir. Admitans-dairesinin küçülmesi, kritik ters arızalar sırasında kesin bir seçicilik yaratır.

2.4.4 Gerilim Hafızalı Admitans Dairesi

Gerilim hafızası, arızasız gerilimle polarizasyona benzer bir yöntemle çalışır; farkı, hafızalandırılmış gerilimin bir yüzdesinin polarizasyon gerilimi U_p ’yi oluşturmak için kısa-devre gerilimine eklenmesidir. Bu özellikle 7SA522 rölesi için uygundur, çünkü bu röle, tek ve üç fazlı arızalar sırasında sadece çok az değiştirilmiş olan arızasız çevrim gerilimlerini kullanır. Bu da, polarize olmuş admitans dairesi ile ilgili ifadelerin, kaynak empedansı ve yük etkisi hakkındaki ifadeler dahil olmak üzere, burada da geçerli olduğunu gösterir.

Gerilim hafızası, arızasız çevrim geriliminin bulunmadığı yakın üç fazlı arızalar sırasında özel öneme sahiptir. Bu durumda %10-20 U_N ’lik göreceli olarak küçük bir kısım ($k_p=0.1-0.2$) yeterlidir. Fakat seri kompanzasyonlu sistemlerde, kısa-devre gerilimi burada ters döndürülüp sonra hafızalandırılmış gerilimle karşılaştırıldığında negatif olabileceğinden, nominal gerilimle tam kompanzasyon ($k_p=1$) gerekmektedir. Bu nedenle seçici arıza saptaması için, hafızalandırılmış gerilim beklenen en büyük kısa-devre geriliminden daha büyük olmalıdır. Böyle uygulamalarda, U_p ’yi oluşturmak için gereken toplamda gerilim hafızasının %100’ü kullanılmaktadır. O zaman yön olarak doğru arıza algılaması, arızasız gerilimdeki durumda olduğu gibi $|X_C| \leq |k_p \cdot X_S|$ ’e kadar mümkündür.



Şekil 2.63 Uzun iletim hatlarında polarize edilmiş admitans-dairesi. Kaynak: Ziegler, G., (1999), "Numerical Distance Protection", Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

2.5 Mesafe Ölçümüne Etki Eden Faktörler

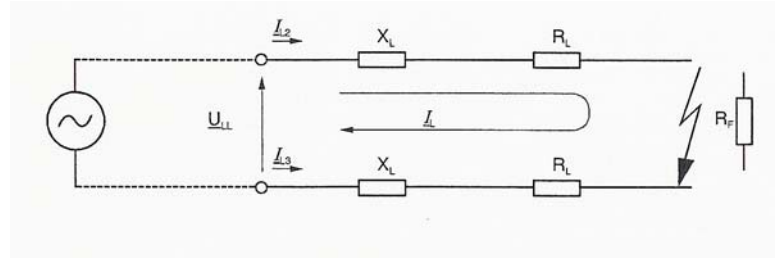
Mesafe ölçümünün pratik uygulamasında, birçok etki eden faktörler hesaba katılmalıdır. Bu faktörler mesafe ölçümünün doğruluğunu ve mesafe bölgelerinin ayarlarını etkilerler.

2.5.1 Arıza Direnci

Başlangıçta, basit faz-faz arıza ve tek-sonlu beslemeli faz-faz arıza arasında bir ayrım yapılmalıdır.

2.5.1.1 Arıza Noktasında Arıza Direnci ile Faz-Faz Arızası

İlgili eşdeğer devre şekil 2.64’te gösterilmiştir.



Şekil 2.64 Arıza dirençli iki-fazlı kısa-devre (tek-uçlu besleme) . Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

Röle konumundaki kısa-devre hat gerilimi aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$U_{LL} = U_{L2} - U_{L3} = 2 \cdot (R_L \cdot I_L + jX_L \cdot I_L) + R_F \cdot I_L \quad (2.60)$$

U_{LL} ’nin 2.31 denkleminde yerine konması ve $I_{L3} = -I_{L2} = I_L$ ifadesi ile, aşağıdaki ölçülen empedans elde edilir:

$$Z_{L2-L3} = \frac{2 \cdot (R_L \cdot I_L + jX_L \cdot I_L) + R_F \cdot I_L}{2 \cdot I_L} \quad (2.61)$$

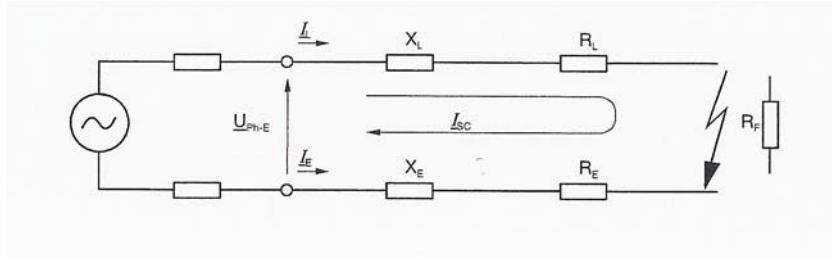
$$Z_{L2-L3} = R_L + \frac{R_F}{2} + jX_L \quad (2.62)$$

Sonuç beklendiği gibidir, yani X -değeri (arızaya olan mesafe) doğru olarak ölçülmüştür.

Arıza direncinin iki yarıya bölünerek bir yarının her faz-empedansına dahil olacağı farz edilebilir. Bu nedenle, sadece büyüklüğünün yarısı kadar ölçülmüş “görülür”. Bu, R-doğrultusundaki bölge erişimi ayarlanırken akılda tutulmalıdır.

2.5.1.2 Arıza Noktasında Arıza Direnci ile Tek Fazlı Toprak Arızası

İlgili eşdeğer devre şekil 2.65’da gösterilmiştir.



Şekil 2.65 Arıza dirençli tek-fazlı toprak-arızası (tek-uçlu besleme) . Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

Röle konumundaki kısa-devre hat gerilimi aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$U_{\text{faz-T}} = I_L \cdot (R_L + jX_L) + I_E \cdot (R_E + jX_E) + I_L \cdot R_F \quad (2.63)$$

Bunun 2.42 ve 2.43 denklemlerinde yerine konulmasıyla aşağıdakini elde ederiz:

$$X_{\text{faz-T}} = \frac{X_L \left(I_L + \frac{X_E}{X_L} \cdot I_E \right)}{I_L + \left(\frac{X_E}{X_L} \right)_{\text{ayarlanmış}} \cdot I_E} \quad (2.64)$$

$$R_{\text{faz-T}} = \frac{R_L \left(I_L + \frac{R_E}{R_L} \cdot I_E \right) + R_F \cdot I_L}{I_L + \left(\frac{R_E}{R_L} \right)_{\text{ayarlanmış}} \cdot I_E} \quad (2.65)$$

$\left(\frac{R_E}{R_L} \right)_{\text{ayarlanmış}}$ ve $\left(\frac{X_E}{X_L} \right)_{\text{ayarlanmış}}$, rölede ayarlanmış olan artık kompanzasyon faktörüne tekabül eder.

Röle ayarlarını havai hatta adapte edecek olursak, yani

$$\left(\frac{R_E}{R_L}\right)_{\text{ayarlanmış}} = \left(\frac{R_E}{R_L}\right) \text{ ve } \left(\frac{X_E}{X_L}\right)_{\text{ayarlanmış}} = \left(\frac{X_E}{X_L}\right), \text{ a\u015fağıdaki elde edilir:}$$

$$X_{\text{faz-T}} = X_L \quad (2.66)$$

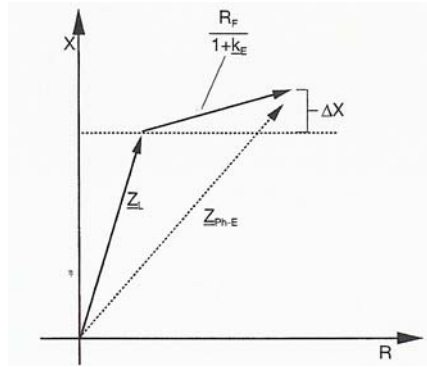
$$R_{\text{faz-T}} = R_L + \frac{R_F}{1 + \left(\frac{R_E}{R_L}\right)_{\text{ayarlanmış}}} \quad (2.67)$$

Arıza reaktansı, arıza direnç değerinden bağımsız olarak yine doğru ölçülmüştür. Bu durumda arıza reaktansı ölçülen dirençte, büyüklüğünün %50'sinde görünmez, büyüklüğün $1/(1+R_E/R_L)$ katı olacak şekilde ayarlanmış R_E/R_L oranına bağlıdır. Genelde, ayar değeri havai hat verisine ayarlanır. Bu nedenle R_E/R_L ayarı, havai hat veya kablo tipine büyük ölçüde bağımlıdır (çizelge 2.4'teki örneklere göre 0.24'ten 3.42'ye kadar)

7SA511 ve 7SA513 için R-doğrultusundaki mesafe bölgeleri için erişim ayarı, bunu hesaba katmak zorundadır. 3.42'nin ayarlandığı ekstrem durum için, arıza direnci $1+3.42=4.42$ çarpanı kadar azaltılır, yani, buna göre toprak arızaları için bölgenin erişimi genişletilir. Bu, sadece toprak-arızası faz-kısa-devre akımı ile yaklaşık aynı büyüklükte ise geçerlidir. Toprak-akımlarının sistemde elverişsiz dağılımı durumunda, azaltma faktörü ciddi ölçüde daha küçük olabilir.

2.5.1.3 Konvansiyonel Ölçüm Teknikleri ile Karşılaştırma

Hat-diferansiyel denklemlerini kullanarak nümerik ölçüm yapma tekniği, arıza dirençli arızaların, pozitif ve sıfır bileşenli sistemlerin kısa-devre açıları (ϕ_L ve ϕ_0) farklı olduğunda bile, her zaman doğru ölçülmesi avantajına sahiptir. Bu, böylesine açı farkının çok büyük olabileceği kablo sistemlerinde avantajdır.



Şekil 2.66 Konvansiyonel mesafe ölçümü, kablo sistemlerindeki arıza dirençli arızaların ölçümü. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

Konvansiyonel ölçüm tekniğinde, artık kompanzasyon toprak akımında bir faz dönüşüne yol açar. Bu, arıza direncinin, mesafe ölçümünde hataya sebep olan, bir endüktif bileşenini beraberinde getirir. Karşılaştırma amacıyla, konvansiyonel ölçüm teknikleri tarafından kullanılan denklem burada türetilmiştir:

$Z_L = R_L + jX_L$ ve $Z_E + R_E + jX_E$ ile, röle noktasındaki kısa-devre gerilimi elde edilir:

$$U_{faz-T} = I_L \cdot (Z_L + Z_E) + R_F \cdot I_L \quad (2.68)$$

bunun 2.23. denklemde yerine konmasıyla aşağıdaki denklem elde edilir:

$$Z_{faz-T} = Z_L \cdot \frac{1 + \frac{Z_E}{Z_L}}{1 + k_E} + \frac{R_F}{1 + k_E} \quad (2.69)$$

Röle ayarlarının hat verisine ayarlanması sonucu ($k_E = Z_E / Z_L$) aşağıdakiler bulunur:

$$Z_{faz-T} = Z_L + \frac{R_F}{1 + \frac{Z_E}{Z_L}} \quad (2.70)$$

$$Z_{faz-T} = Z_L + \frac{R_F}{1 + \left| \frac{Z_E}{Z_L} \right| \cdot e^{j(\varphi_E - \varphi_L)}} \quad (2.71)$$

Son bulunan ifade aşağıdaki gibidir:

$$Z_{\text{faz-T}} = Z_L + \frac{1 + \left| \frac{Z_E}{Z_L} \right| \cdot \cos(\varphi_E - \varphi_L) - j \left| \frac{Z_E}{Z_L} \right| \cdot \sin(\varphi_E - \varphi_L)}{1 + 2 \cdot \left| \frac{Z_E}{Z_L} \right| \cos(\varphi_E - \varphi_L) + \left| \frac{Z_E}{Z_L} \right|^2} \cdot R_F \quad (2.72)$$

Sayısal örnek :

Kablo:

$$Z_L = 0.387 \cdot e^{j75.8} \quad \Omega / \text{km}$$

$$Z_0 = 0.332 \cdot e^{j21.3} \quad \Omega / \text{km}$$

Toprak-empedansı:

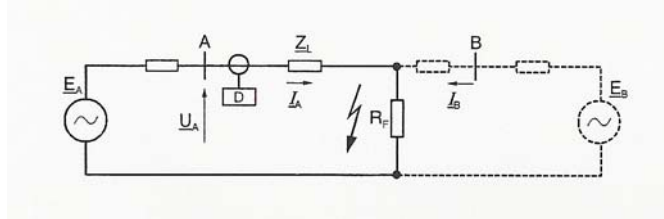
$$Z_E = 0.5(Z_0 - Z_L) = 0.111 \cdot e^{-j49.9}$$

Arıza empedansının sonucu:

$$Z_{\text{faz-t}} = Z_L + (1.11 + j0.31) \cdot R_F$$

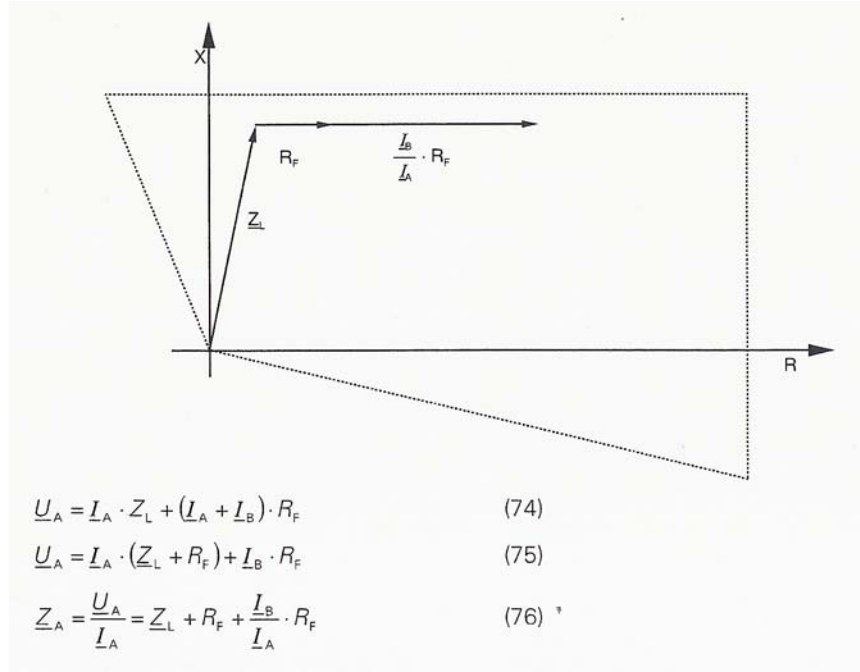
Endüktif bileşen nedeniyle, X 'in ölçülen değeri çok büyüktür (Şekil 2.66). Bu, rölenin bir alt-erişimiyle sonuçlanır.

2.5.1.4 Arıza Direncinin İki Tarafından Beslemenin Etkisi



Şekil 2.67a Arıza dirençli kısa-devre ve iki taraftan besleme – eşdeğer devre.

Karşı uçtan, arıza direncinden geçerek akan kısa-devre akımı ek bir gerilim düşümü getirir. Bu, ek bir beslemeye benzer bir etki yaratır, ve bu suretle ölçülen arıza direncini artırır (Şekil 2.67).



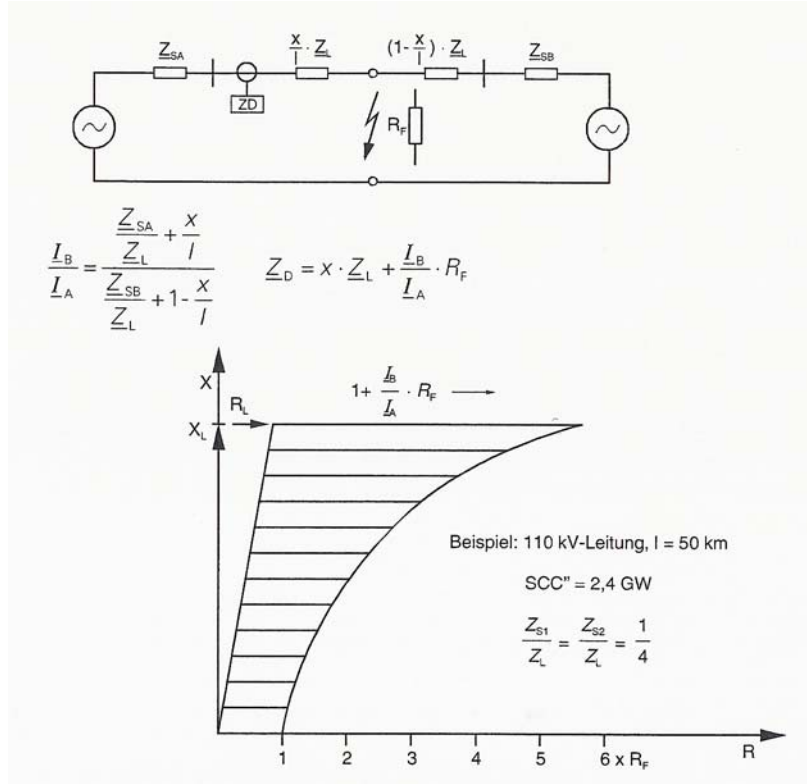
Şekil 2.67b Arıza dirençli ve iki uçtan beslemeli kısa-devre empedans diyagramı.

$$\underline{U}_A = \underline{I}_A \cdot \underline{Z}_L + (\underline{I}_A + \underline{I}_B) \cdot R_F \quad (2.73)$$

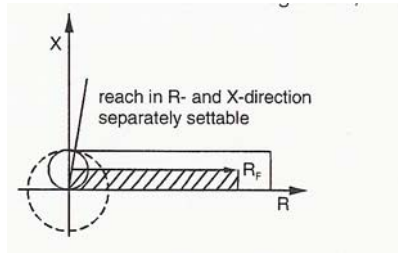
$$\underline{U}_A = \underline{I}_A \cdot (\underline{Z}_L + R_F) + \underline{I}_B \cdot R_F \quad (2.74)$$

$$\underline{Z}_A = \underline{U}_A / \underline{I}_A = \underline{Z}_L + R_F + (\underline{I}_B / \underline{I}_A) \cdot R_F \quad (2.75)$$

Başlangıçta, E_A ve E_B beslemelerinin yaklaşık olarak aynı fazda oldukları varsayılmıştır (fiderin üzerinde yük transferi yok). Arıza direnci $(1 + I_B / I_A)$ çarpanı kadar artırılmıştır. Bu da gösterir ki, arıza konumu karşı hat ucuna yaklaştığında etki artar. Bu, şekil 2.68'deki pratik bir örnekle gösterilmiştir. Bu etki, uzun hatlarda ve uzak uçtaki güçlü beslemede özellikle açıktır ($Z_{SB} \ll Z_{SA} + Z_L$). Mesafe korumasının empedans karakteristiği bu nedenle R-doğrultusunda yeterli rezerve sahip olmalıdır. Çokgen (dörtgen) karakteristiği özellikle, arıza direncinin hat empedansının birkaç katı olabileceği kısa havai hatlar ve kablolar için uygundur. Bu karakteristik, dairesel karakteristiğe göre büyük ölçüde daha iyi direnç kapsamı ve ark kompanzasyonu sağlar (Şekil 2.69).

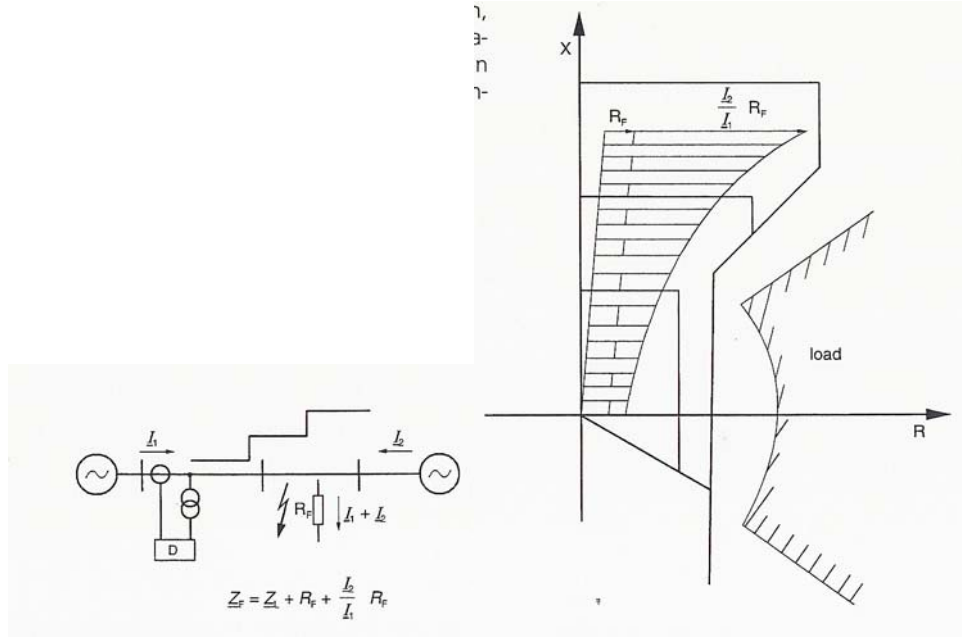


Şekil 2.68 Arıza konumuna bağlı görünür arıza direnci (R_F direncinin kısa-devre akımı üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir) .



Şekil 2.69 Çokgen (dörtgen) karakteristiğin yüksek arıza direnç kapsamı.

Uzun hatlarda ve yedek koruma için, açığa bağlı arıza saptama karakteristiği, muhtemel arıza empedansları sahasına optimum bir uyum sağlamaktadır (Şekil 2.70).



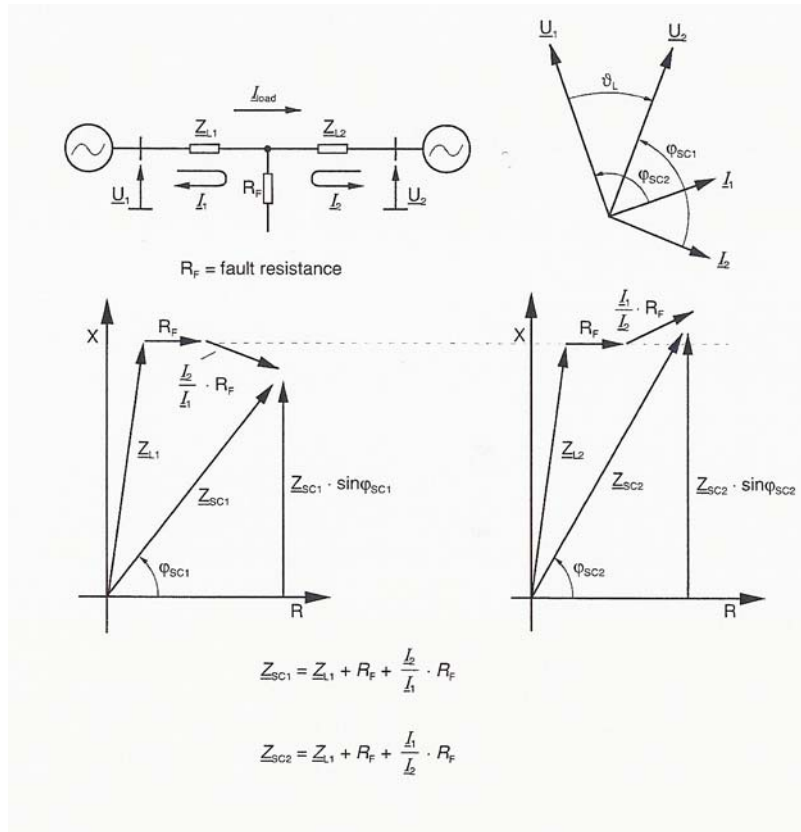
Şekil 2.70 Arıza direncinin optimize edilmiş kompanzasyonu (dengelenmesi)

2.5.2 Yük Transferinin Hat Üzerindeki Etkisi

Uzun hatlar üzerinde reel gücün transferi, sistem geriliminde bir faz kaymasını gerektirir. Bu sistem koşulu için eşdeğer devre şekil 2.71’de gösterilmiştir. Bu nedenle bu kısa devre durumunda, besleyen emk’lar farklı açılara sahiptir. Güç verici uçtaki gerilim, alıcı uçtaki gerilimin ϕ_L iletim açısı kadar önündedir. Bu nedenle ilk bir yaklaşıklık olarak, iki taraftan kısa-devre akımları bu açı kadar faz kaymasına maruz bırakılmıştır. Buna göre, $(I_2 / I_1) \cdot R_F$ vektörü gücü gönderen tarafta aşağıya doğru eğilir, ve alıcı ucta yukarıya doğru eğilir. Bu nedenle normal bir mesafe rölesi, gücü gönderen tarafta çok küçük olup üst erişime ulaşan bir reaktans ölçerken, alıcı ucta ise çok büyük olup, alt erişime ulaşan bir empedans “görülür”.

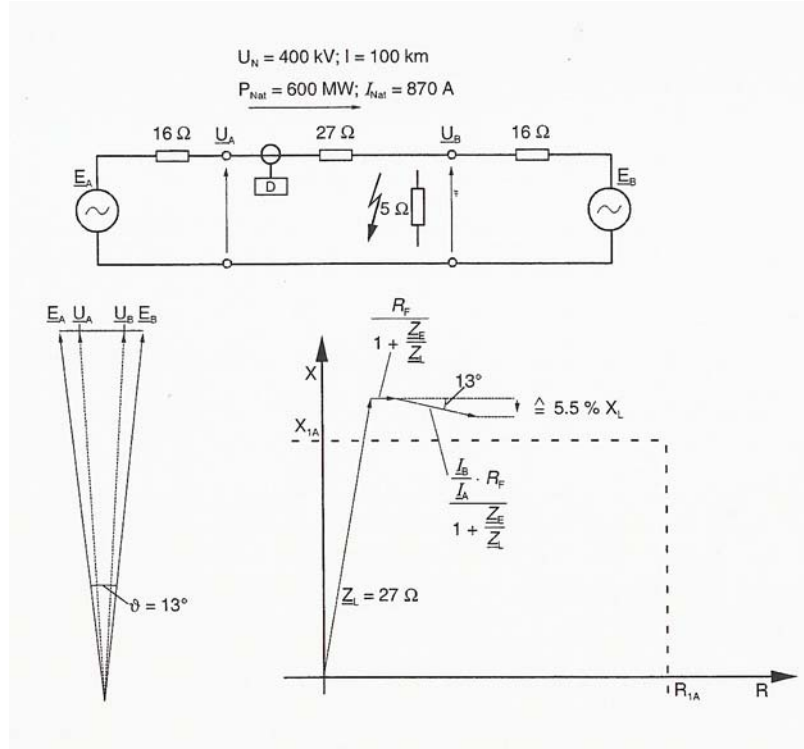
Dağıtılmış güç üretimine sahip, coğrafi olarak küçük olan endüstriyelmiş ülkelerde uzun mesafelerde güç transferi gerekmemektedir. Bu nedenle iletim açısı küçüktür, ve en fazla $10-15^\circ$ seviyesindedir. Şekil 2.72, Almanya için tipik olan bir durumu, 100 km’lik bir hat sınırı üst limiti oluşturmaya rağmen örnek olarak vermiştir. Coğrafi olarak büyük ülkelerde güç, genellikle uzaktaki güç üretim merkezlerinden (örneğin hidroelektrik güç santralleri) yük merkezlerine transfer edilir. Bu durumda iletim açısı 60° ye kadar çıkabilir. Hatta aşırı yüklenme koşullarında, veya güç salınımı olayında, daha da büyük iletim açıları oluşabilir. En kötü durumda, koruma 90° lik iletim açıları için düzenlenmiş bile olabilir. Şekil 2.73, 400km

uzunlukta, 400kV'luk havai hattın ölçülüp hesaplanan empedanslarını göstermektedir.

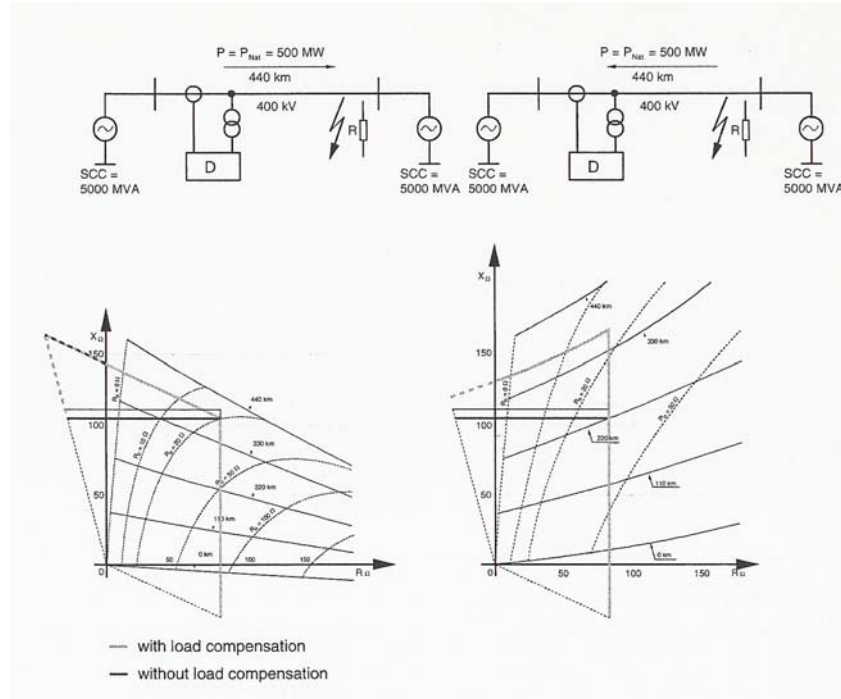


Şekil 2.71 Arıza dirençli arızalar için yük akışının mesafe ölçümü üzerindeki etkisi. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

Bu durumda iletim açısı φ_L yaklaşık 35° dir. Alt-erişim bölgesi öyle ayarlanmalıdır ki, doğrudan uzak istasyonun arkasındaki arızalar sırasında üst erişime ulaşmasın. Normal bir karakteristikle (yük kompanzasyonsuz yatay sınır), 20Ω ’a kadar bir arıza direnci kapsandığında yaklaşık $\%65 Z_L$ lik bir bölge ayarı ayarlanabilir. Alıcı uçta, benzer bir ayarlama ve 20Ω ’luk bir arıza direnci ile bu kademe sadece yaklaşık $\%50$ bir erişime sahip olur. Ancak bu, korumanın güç verici uçta zıt bir davranış sergilemesi gerçeği tarafından dengelenir. Artan arıza direnci ile, erişim artar ($R_F = 20\Omega$ ile $\%85 Z_L$). Bu nedenle, müsaadeli düşük menzil karşıdan açtırma düzeninin uygulaması emniyetli arıza saptaması ve giderilmesini sağlar.



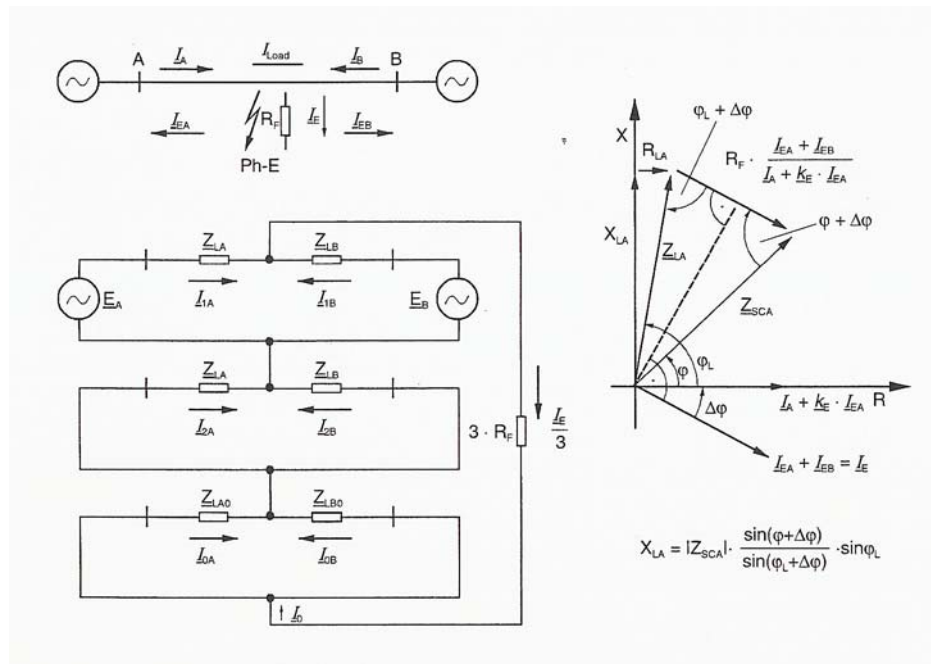
Şekil 2.72 Kısa havai hatta yük akışıyla mesafe ölçümü. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.



Şekil 2.73 Yük transferiyle birlikte, arıza dirençli arızalarda mesafe ölçüm hatası. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

Nümerik mesafe koruması, bahsedilen mesafe ölçüm hatasını düzeltme şansını sağlar. Bunun için, 7SA513 rölesinde yük kompanzasyonu diye adlandırılan bölüm aktive edilmelidir. Bu özellik, böyle büyük arıza dirençlerinin oluşabileceği tek-fazlı toprak-arızaları sırasında çalışır.

Şekil 2.74'te çalışma prensibi resmedilmiştir. Simetrik bileşenleri olan devre şunu gösterir: $3 \cdot R_F$ 'i kullanarak akan ve $I_E / 3$ 'e eşit olan toplam sıfır bileşen (sequence) akımı I_0 , sıfır sequence sisteminde arıza noktasında dağılır ve iki kaynağa geri döner. Akan gerçek toprak-arıza akımı üç defa daha büyüktür: $I_{EA} = 3 \cdot I_{0A}$, ve $I_{EB} = 3 \cdot I_{0B}$. Z_{LA0} ve Z_{LB0} ÇYG sistemlerinde yaklaşık aynı açığa, yani aynı X/R oranına sahip olduğundan, dağılma akımları I_{EA} ve I_{EB} , arıza direncinden akan toplam akım $I_E = I_{EA} + I_{EB}$ ile yaklaşık olarak aynı faz açısına sahiptirler. Bununla, her hat sonunda açı farkı $\Delta\phi$ rölede ayarlanabilir. Bu nedenle ölçülen kısa-devre empedansı Z_{SCA} , empedans X_{LA} 'yı ters hesaplamayla düzeltmek için ayarlanabilir. Empedans diyagramında röle karakteristiği otomatik olarak değişen empedans yörüngesine ayarlanır (Şekil 2.73), yani mesafe bölgesinin X-erişimi sabit ve yük etkisinden ve arıza direnci etkisinden bağımsız kalır.



Şekil 2.74 Çalışma şekli, faz-toprak arızaları sırasında yük kompanzasyonu. Kaynak: Ziegler, G., (1999), "Numerical Distance Protection", Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

2.5.3 Arıza Dirençli İki Faz Toprak Arızası

Arıza dirençli çok fazlı arızalarda, mesafe ölçümü için karmaşık koşullar oluşur. Arıza çevrimleri arıza konumunda bağlanmışlardır. Bu nedenle arıza direnci üzerindeki gerilim düşümü, kuvvetli bir karşılıklı kuplaj doğurur. Şekil 2.75, iki-fazlı toprak arızası sırasında ölçülen empedansları göstermektedir. Burada üç arıza çevrimi vardır. Bu L2-L3-T arıza örneğinde çevrimler:

L2-T (ileri faz), L3-T(geri faz), ve L2-L3 (faz-faz çevrimi). Toprağa olan karşılıklı direnç daha büyük değerler alabilirken (bir ağaca atlama esnasında veya yüksek direk temel direnciyle), tipik fazlar arası direnç görece olarak küçüktür (ark). Şekil 2.75’de gösterilen değerler, bir metal direğin izolatörleri üzerindeki bir iki-faz toprak arızası sırasındaki koşullara tekabül etmektedir. Başlangıçta, daha iyi anlaşılabilmesi için tek taraflı besleme varsayılmıştır. Ölçülen empedansların vektör diyagramından, verilen (normal) koşullar altında, ileri fazdaki çevrim empedansı L1-T çok kısa olarak “görölmekteyken”, geri faz L2-T çok uzak olarak “görölmektedir”. L2-L3 faz-faz çevrimi hemen hemen doğru olarak ölçölür (küçük X-hatası ile). Arıza dirençlerinin etkisi, daha önce anlatılan yük etkisi tarafından daha da kuvvetlendirilir. Verilmiş iletilen güç ve toprağa olan farklı dirençlerle yapılan bilgisayar analizinin sonuçları, şekil 2.76’de gösterilmiştir.

Topraklanmış sistemlerdeki iki-faz-toprak arızaları sırasındaki arıza-çevrimi seçimi için, aşağıdakiler türetilir.

Tek devreli havai hat:

Tek-sistem mesafe koruması:

- ilgili faz-faz çevriminin seçimi

Tam olarak düzenlenmiş mesafe koruması

- tüm altı arıza çevriminin genel olarak harekete geçirilmesi
- mesafe bölgelerinin bir üst erişime girmesini engellemek için iki-faz-toprak-arızaları sırasında ileri fazdaki faz-T çevriminin engellenmesi

Çift-devreli havai hat

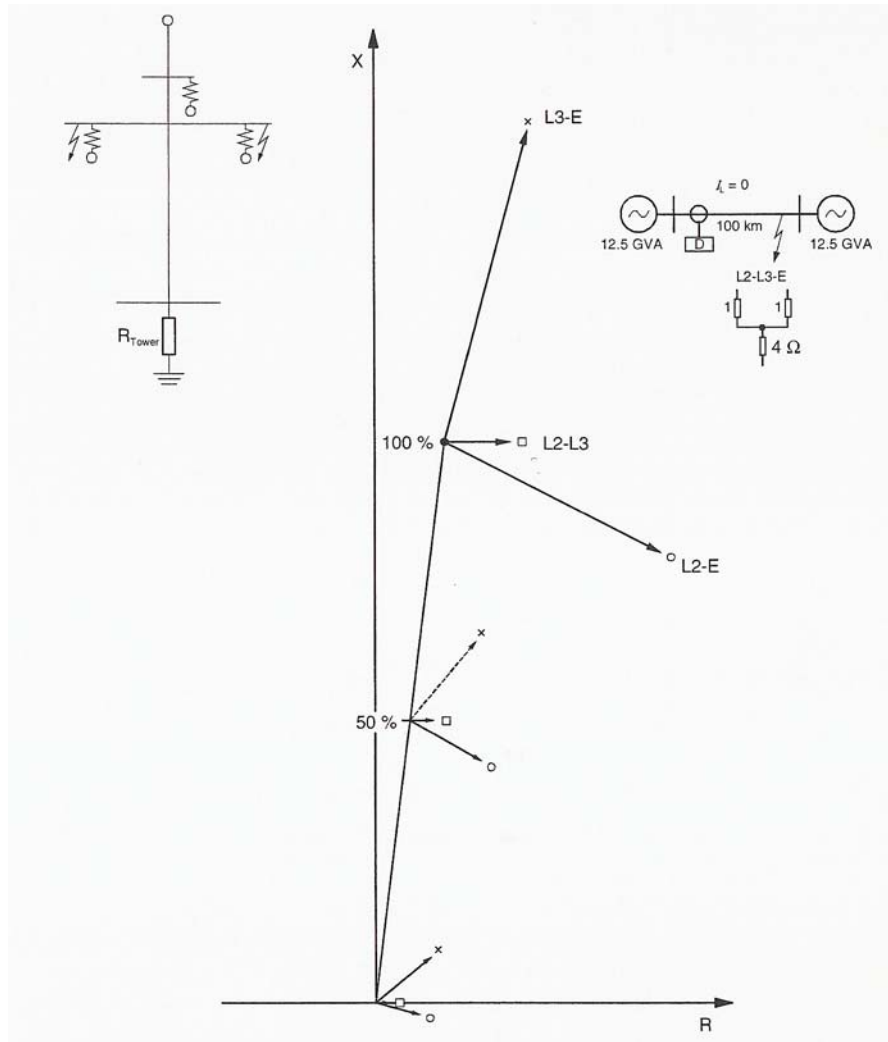
Bir çift toprak arızasının ihtimalinden dolayı, komşu sistemlerdeki ayrı arıza konumlarında , faz-toprak ölçümü bu durumda harekete geçirilmelidir. Her sistemdeki tek-fazlı toprak arızaları bu yöntemle ayrı olarak ölçülebilir.

Tek-sistem mesafe koruması, ileri fazdaki faz-toprak çevriminin seçimi:

- Eğer büyük faz-T dirençleri bekleniyorsa (zayıf direk topraklaması), buna göre ayarlama da azaltılabilir.
- Fakat paralel işletme durumunda, sıfır sequence sistemlerinin birleşmesi bölge erişiminin azalmasına sebep olur. Bu nedenle bir üst erişim az ihtimaldedir.
- Bölge erişimi çok küçük olabildiğinden, gerideki fazın seçimi tavsiye edilmemektedir.

Tam olarak düzenlenmiş mesafe koruması,tüm ölçüm sistemlerinin harekete geçirilmesi:

- Büyük arıza dirençleri beklendiği zaman, faz-T çevrimleri için alt erişim bölgesi ayarının azaltılması.



Şekil 2.75 Arıza noktasında arıza dirençli faz-faz kısa-devresi, arıza konumuna bağlı olarak, ölçülen çevrim empedansları.

2.5.4.1 Ark Direnci

Yıllar önce ark-direncinin büyüklüğü, çeşitli ark uzunlukları üzerindeki ölçümler ve sistem testleri ile tahmin edilmekteydi. İlk bir yaklaşım olarak, ark geriliminin akımın büyüklüğünden bağımsız olduğu, ve yaklaşık 2000-2500 V/m arka eşit olduğu varsayılır.

Aşağıdaki ifade bir standart olarak geçerli olabilir:

$$U_{ark} = 2500V / m$$

Buradan ark-direnci aşağıdaki gibidir:

$$R_{ark} = \frac{2500.l_{ark}}{I_{ark}} [\Omega] \quad (2.76)$$

l_{ark} =metre cinsinden ark uzunluğu

I_{ark} =Amper cinsinden ark akımı

Daha hassas araştırmalar için, genellikle “Warrington”-denklemleri uygulanır .

Bu denklem, ark-geriliminin akıma bağlı olmasına izin verir:

$$R_{ark} = \frac{28700.l_{ark}}{I_{ark}^{1.4}} [\Omega] \quad (2.77)$$

l_{ark} =metre cinsinden ark uzunluğu

I_{ark} =Amper cinsinden ark akımı

Ark, rüzgar ve arkın dinamiklerinden dolayı genişler.

Aşağıdaki denklem, bunun bir yaklaşımını modeller :

$$R_{ark}^* = \left(1 + \frac{5.v.t_B}{l_{ark}} \right) . R_{ark} \quad (2.78)$$

l_{ark} =metre cinsinden orijinal ark uzunluğu

v =metre/saniye cinsinden rüzgar hızı

t_B =saniye cinsinden ark süresi

Nümerik örnek:

400kV havai hat, izolatör üzerinde atlama (3 uzun çubuk izolatör, seri olarak 127.5cm), minimum kısa-devre akımı: 4.0kA

Arıza başlangıcında ve arızadan 1 saniye sonra ark-direnci ne kadardır?

Çözüm:

Ark uzunluğu için, izolatörlerin uzunluğu ek bir %50 marj ile beraber kullanılır:

$$I_{ark} = 1.5 \cdot (3 \cdot 127.5) = 573.75 \text{ cm, yani yaklaşık 6m.}$$

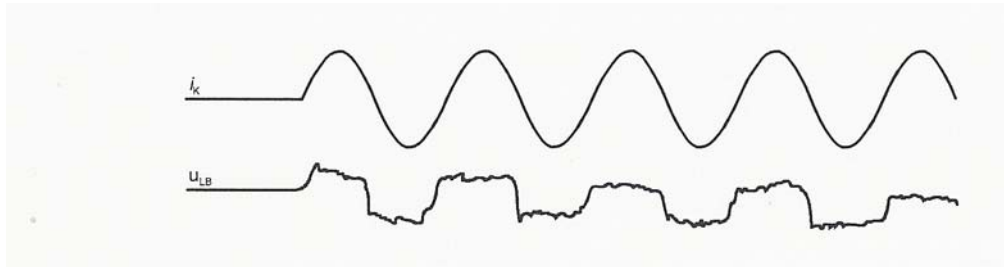
Arıza başlangıcında ark-direnci (1. mesafe kademesini denetlemek için):

$$(2.76)'den: R_{ark} = \frac{2500 \cdot 6.0}{4000} = 3.75 \Omega$$

$$(2.77)'den: R_{ark} = \frac{28700 \cdot 6.0}{4000^{1.4}} = 1.56 \Omega$$

ve 1 saniye sonra (3. kademeyi denetlemek için):

$$(2.78)'dan: R_{ark(1s)}^* = \left(1 + \frac{5 \cdot 3 \cdot 1}{6}\right) \cdot R_{LB} = 3.5 \cdot R_{ark} = 13.1 \Omega \text{ sırasıyla } 5.46 \Omega$$



Şekil 2.77 Kısa-devre akımı ve ark gerilimi. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

2.5.4.2 Çift Taraflı Beslemeye Arkın Etkisi

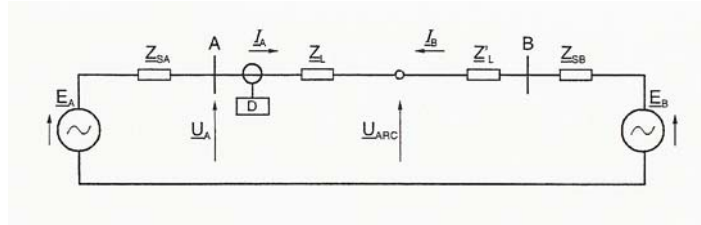
İlk bir yaklaşım olarak, ark üzerindeki gerilim her zaman sabittir, veya $I_{ark}^{0.4}$ çarpanlı “Warrington”-denklemine göre azalır. Bu nedenle, yukarıda tanımlanan ark-direnci sabit değildir, $1/I_{ark}$ veya $1/I_{ark}^{1.4}$ çarpanıyla azalmaktadır. Bu nedenle bir ark çift taraflı besleme olması durumunda, sabit bir arıza direncine (örn. bir direğin temel direnci) farklı şekillerde davranır. Şekil 2.67a’da gösterilen çift taraflı beslemeli bir kısa-devre için eşdeğer devre, prensip olarak burada da geçerlidir. Fakat, arıza konumundaki sabitlenmiş arıza direnci sabit bir gerilim ile (U_{ark}) değiştirilmelidir (Şekil 2.78a). Akıma bağımlılık başlangıçta ihmal edilir.

O zaman röle noktasındaki gerilim:

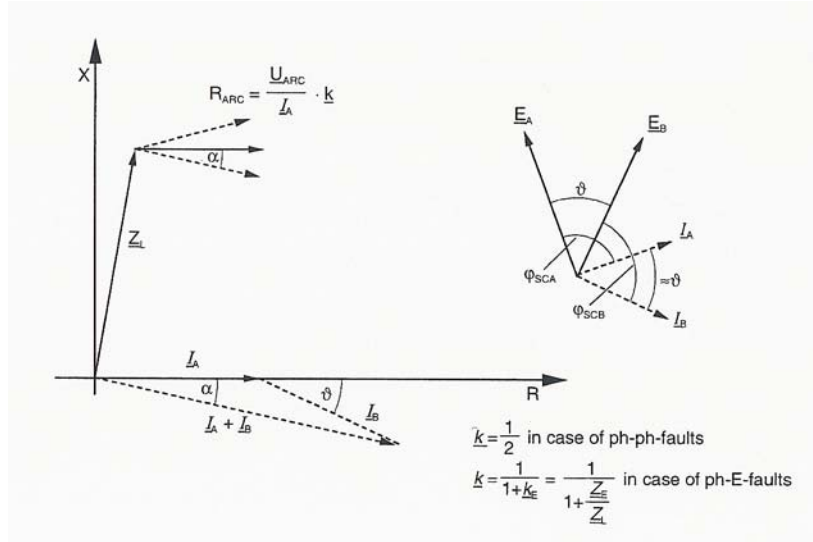
$$U_A = I_A \cdot Z_L + U_{ark} \quad (2.79)$$

Buradan röle tarafından ölçülen empedans bulunur:

$$Z_A = \frac{U_A}{I_A} = Z_L + \frac{U_{ark}}{I_A} \quad (2.80)$$



Şekil 2.78a Çift-taraflı beslemeyle ark direnci, eşdeğer devre. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.



Şekil 2.78b Ark-dirençli ve çift-tarafli beslemeli kısa-devre, mesafe ölçümü üzerindeki etkisi.
Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

Buradan, röle üzerinde görünen ark direnci, karşı taraf akımından bağımsız olduğu görülebilir. Bu da bizi önemli ayarlama kuralına götürür:

Arıza konumundaki direncin karşı taraftaki ek akım: $R_F^* = (1 + I_A / I_B) \cdot R_F$ nedeniyle artışı, sadece sabitlenmiş dirençler için geçerlidir. Röle noktasında etkili olan, denklem 2.77’yi kullanarak sabit ark-gerilimi ile hesaplanan ark direnci için, karşı uç akımının hesaba katılması gerekmemektedir. 2.78. denklemdeki hesaplamaya göre, direnç azalmasının hızı akım artış hızından daha büyük olduğundan, etkili direncin azalması bile söz konusudur.

2.5.4.3 Direk Temel Direnci

Yüksek gerilim havai hatlarındaki arızaların çoğu izolatör atlamalarından doğar. Bu durumda kısa-devre akımı izolatör üzerindeki arkı kullanarak faz iletkeninden akar, direğin çelik zırhından da toprağa geçer. Bu, arıza noktasında ark direncinin ve direk temel direncinin seri olarak bağlı olduğunu gösterir. Toprak-iletkenli hatlarda (zırh iletkeni) akım toprağa birçok paralel direk temel direnci üzerinden akar. Aslında etkin olan, sonuçta ortaya çıkan faz-faz direnci, önemli ölçüde azaltılır (Şekil 2.80) .

Direk temel dirençleri ve havai hattaki toprak iletkeni, yüksek sayıdaki toprak kısmının seri bağlanmasıyla modellenenebilir (merdiven şebeke). Transformatör merkezine çok yakın olmayan arızalarda, direk temel dirençleri iki paralel “merdiven şebekesi” olarak davranır

(hattın sonunda, transformatör merkezinin toprağı ile paralel bir “merdiven şebeke” olarak görünür.)

Buradan, etkin direk temel empedansı türetilir:

$$Z_{ETF} = \frac{R_{TF} \cdot \frac{1}{2} Z_{LNW}}{R_{TF} + \frac{1}{2} Z_{LNW}} \quad (2.81)$$

burada Z_{LNW} merdiven şebekenin empedansıdır:

$$Z_{LNW} = \frac{1}{2} * Z'_{EW} \cdot I_{AS} + \sqrt{\frac{(Z'_{EW} \cdot I_{AS})^2}{4} + R_{TF} \cdot Z'_{EW} \cdot I_{AS}} \quad (2.82)$$

burada $Z'_{EW} = R'_{EW} + jX'_{EW}$

Aşağıdaki tanımlar geçerlidir:

Z_{ETF} = Etkin direk temel empedansı

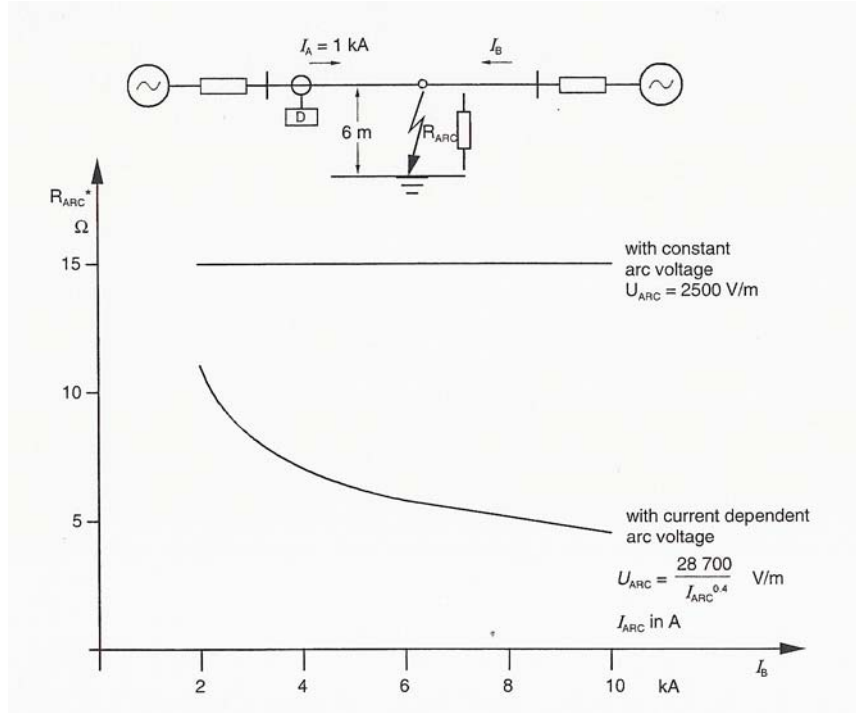
R_{TF} = Ortalama direk temel direnci

Z_{LNW} = Bir merdiven şebekesinin empedansı (havai hat toprak iletkenleri) ve seri-paralel bağlı direk temel dirençleri

R'_{EW} = ohm/km cinsinden toprak iletkeninin direnci

X'_{EW} = ohm/km cinsinden toprak iletkeninin empedansı

l_{AS} = Direkler arası ortalama açıklık/km



Şekil 2.79 Ark taraftan beslemede mesafe rölesi tarafından “görülen” etkin ark direnci örneği.
Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

Paralel bağlı merdiven şebekelerin empedansının, direk temel direnciyle karşılaştırıldığında küçük olduğunu varsayarsak, sonuçta bulunan toprak-arıza empedansı için aşağıdaki denklemle yaklaşım yapılabilir:

$$Z_{ETF} = \frac{1}{2} \sqrt{R_{TF} \cdot Z'_{EW} \cdot I_{AS}} = \frac{1}{2} \sqrt{R_{TF} \cdot |Z'_{EW}| \cdot I_{AS}} \cdot e^{j \frac{\phi_{EW}}{2}} \quad (2.83)$$

Sayısal örnek:

Verilenler:

Toprak iletkeni: 120/42 Al/St; $l_{AS} = 230 \text{ m}$; $R'_{EW} = 0.234 \text{ } \Omega/\text{km}$; $X'_{ES} = 0.748 \text{ } \Omega/\text{km}$; $R_{TF} = 10 \text{ } \Omega$.

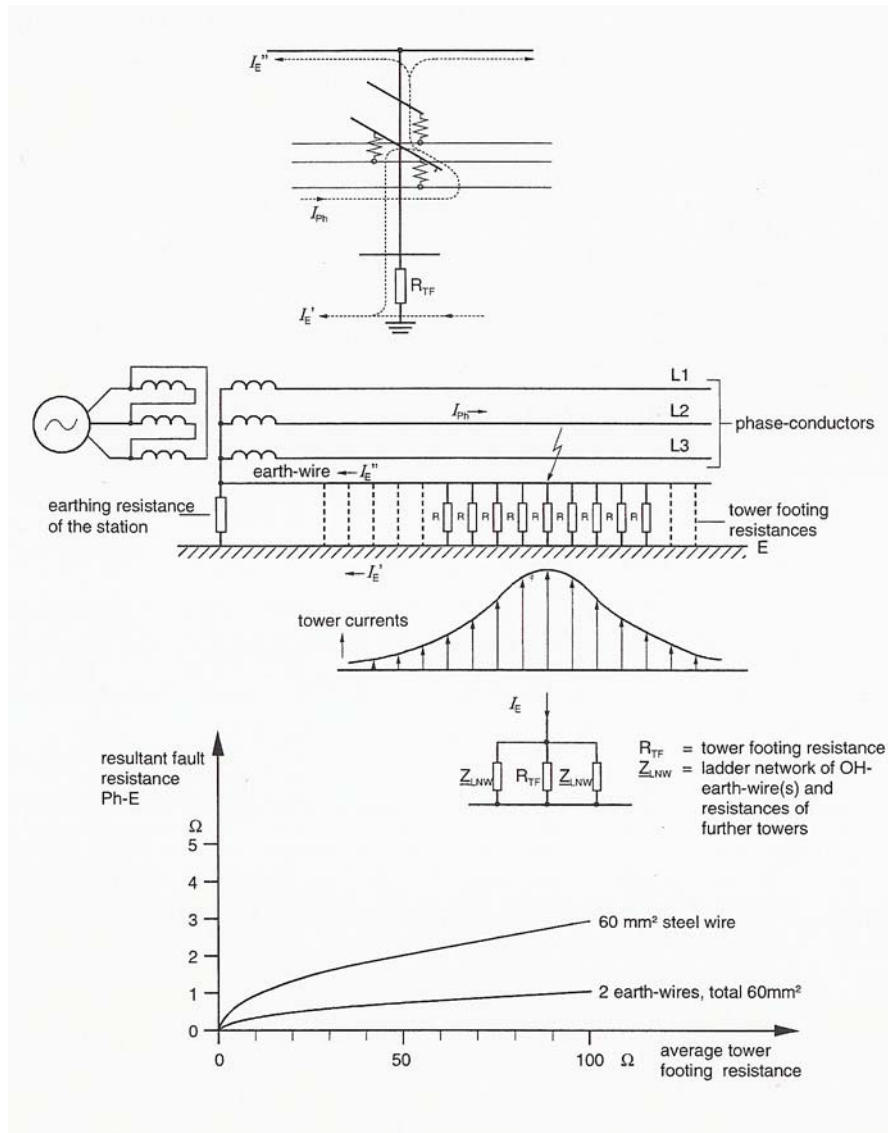
Toprak iletkeni:

$$|Z'_{EW}| = \sqrt{0.748^2 + 0.234^2} = 0.784$$

$$\text{ve } \phi_{EW} = \arctan(X'_{EW} / R'_{EW}) = \arctan(0.748 / 0.234) = 72.6^\circ$$

$$Z_{ETF} = \sqrt{10.0 * 0.784 * e^{j72.6^\circ} * 0.230} = 0.67 * e^{j36.3^\circ} = 0.54 + j0.40\Omega$$

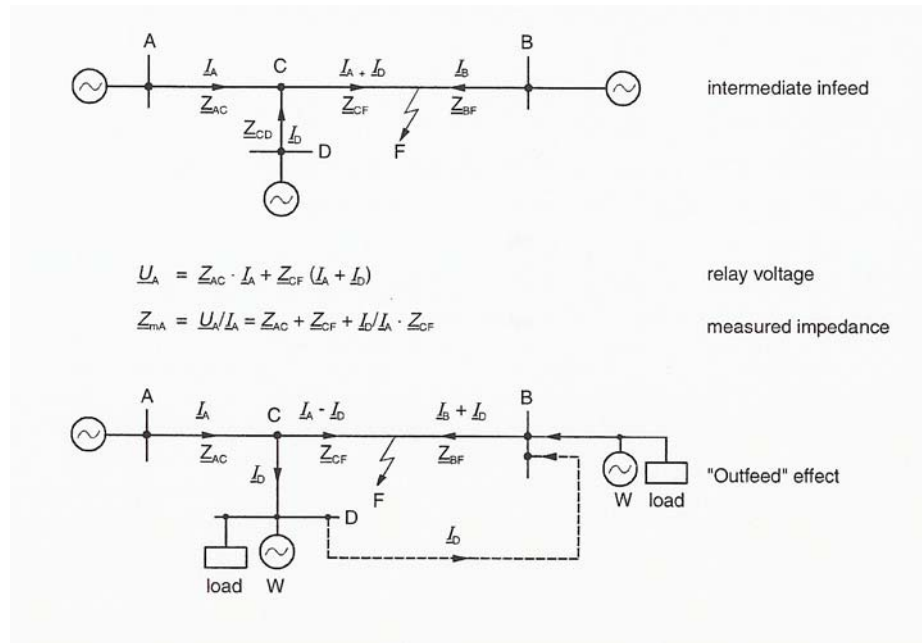
Bu örnekten, iyi iletkenlen yapılmış toprak iletkenleri mevcut olduğunda, direk temel dirençlerinin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu açıkça görülür. Ayrıca, etkin toprak empedansının endüktif bir bileşen içerdiği, yani arızanın mesafe koruması tarafından biraz aşırı uzakta olarak “görüldüğü” anlaşılabilir. 0.40 ohm, bir YG iletim hattında yaklaşık 1.5-2km hat uzunluğuna tekabül etmektedir. Karşı taraftan beslemede bu reaktans değeri ve arıza direnci buna uygun olarak artar. Bir alt-erişim durumu ortaya çıkar.



Şekil 2.80 Toprak-iletkenli havai hatlarda ortaya çıkan arıza direnci. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

2.5.5 Aradaki Beslemelerin Etkisi

Aradaki beslemelerin mesafe koruması üzerindeki etkisi, şekil 2.81’de gösterilmiştir. Genellikle ölçülen empedansta bir artış vardır. Enerji akış yönüne göre daha aşağıdaki transformatör merkezlerdeki ara beslemeler üst erişim bölgesini, yedek bölgeleri ve arıza algılama kademesini etkilerler. Dallanmış fiderlerde, bir dahili arıza sırasında akım fiderin dışına aktığında, ölçülen empedans “negatif besleme” nedeniyle de azalabilir. Bu dış-besleme koşulu olarak değerlendirilir. Prensip olarak bu, arıza empedansının kısa-devre çevrimindeki bir paralel yol yüzünden azalmasıdır. Bu, sadece D’deki besleme zayıf olduğunda veya olmadığında ortaya çıkar (Şekil 2.81).



Şekil 2.81 Arada beslemesi olan hat. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

2.5.5.1 Topraklanmış Transformatörlerin Etkisi

Topraklanmış transformatörler, sıfır bileşen sisteminde beslemelerin işlevini yaparlar. Bu, mesafe ölçümünü de etkilemektedir. Transformatörün toprak akımı, kısa-devre çevriminin sıfır bileşen sisteminde ek bir gerilim düşümü üretir. Bu da, ölçülen arıza empedansında bir artışa yol açar (Şekil 2.82).

Şekil 2.82 Sıfır bileşen sisteminde beslemeden dolayı oluşan mesafe ölçüm hatası . Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

$$U_{A_{fz-T}} = x[I_{fz-L}.Z'_{1-L} + I_{T-L}.Z'_{T-L}] + y[I_{fz-Tr}.Z''_{1-L} + I_{T-Tr}.Z''_{T-L}] \quad (2.84)$$

veya:

$$= \mathbf{x} \cdot \mathbf{Z}'_{1-L} \left[\mathbf{I}_{\text{faz-L}} + \mathbf{I}_{\text{T-L}} \cdot \frac{\mathbf{Z}'_{\text{T-L}}}{\mathbf{Z}'_{1-L}} \right] + \mathbf{y} \left[\mathbf{I}_{\text{faz-Tr}} \cdot \mathbf{Z}''_{1-L} + \mathbf{I}_{\text{T-Tr}} \cdot \mathbf{Z}''_{\text{T-L}} \right] \quad (2.85)$$

Faz-toprak empedansının ölçümü aşağıdaki denklemle gerçekleştirilir:

$$Z_R = \frac{U_{A\_faz-T}}{I_{faz-L} + k_E \cdot I_{E-L}} \quad (2.86)$$

k_E -ayarının hatta adaptasyonu durumunda, yani $k_E = Z'_{EL} / Z'_{IL}$:

$$Z_R = x.Z'_1 + y.Z''_1 \cdot \frac{I_{\text{faz-Tr}}.Z''_{1-L} + I_{\text{T-Tr}}.Z''_{\text{T-L}}}{I_{\text{faz-L}}.Z''_{1-L} + I_{\text{T-L}}.Z''_{\text{T-L}}} \quad (2.87)$$

Transformatörün anma değeri arttıkça etki doğal olarak artar. Özellikle, çok transformatör kademesi olan hatlarda, arıza algılaması ve mesafe bölgeleri için bir erişim problemi oluşur. Röle tarafından ölçülen empedans, en kolay şekilde simetrik bileşenler kullanılarak elde edilir. Aşağıdaki tek beslemeli ve bir transformatör kademeli havai hat örneği, temel süreci anlatmaktadır.

aşağıdaki gibi sonuçlanır:

$$U_A = U_{A1} + U_{A2} + U_{A0} = Z_{1AF} \cdot (I_{A1} + I_{A2}) + Z_{0AF} \cdot I_{A0} + Z_{0BF} \cdot I_{0T} \quad (2.92)$$

$$I_{A-Faz} = I_{A1} + I_{A2} + I_{A0}$$

$$\frac{I_{SC}}{3} = \frac{E_{faz-T}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2.93)$$

$$\text{ile } Z_2 = Z_1, \quad Z_1 = Z_{1A} + Z_{1AF}$$

$$I_{A0} = \frac{Z_{0T}}{Z_{0A} + Z_{0B} + Z_{0T}} \cdot I_0 \quad (2.94)$$

$$Z_0 = \frac{(Z_{0A} + Z_{0AB}) \cdot Z_{0T}}{Z_{0A} + Z_{0AB} + Z_{0T}} + Z_{0BF}, \quad \frac{I_{SC}}{3} = I_1 = I_2 = I_0$$

Bu, 2.23. denkleme göre empedansı hesaplamak için uygulanabilir:

$$Z_A = \frac{U_A}{I_{A\_Faz} + k_E \cdot I_{AE}} \quad (2.95)$$

Sayısal örnek:

40MVA transformatörlü 110kV havai hat

Hat bilgisi:

$$Z'_{1L} = 0.4\Omega / \text{km}, \quad Z'_{0L} = 1.1\Omega / \text{km}$$

Bölümler: A-B=10km ve B-F=10km;

Sistem beslemesi:

$$SCC'' = 1000\text{MVA}, \quad U_K = \%10, \quad X_0 / X_1 = 1;$$

Sonuçlar aşağıdaki gibidir:

$$U_A = 32.86\text{kV}, \quad I_{A-Faz} = 2534\text{A} \text{ ve } I_{A-E} = 1675\text{A}$$

$$Z_A = \frac{U_A}{I_{A\_Faz} + k_E \cdot I_{AE}} = 10.6\text{ohm} \text{ ile } k_E = Z_{EL} / Z_{1L} = \frac{1}{3}(Z_{0L} - Z_{1L}) = 0.583$$

Arıza konumuna kadar olan hat empedansı $Z_{IAF}=20 \text{ km} * 0.4 \text{ ohm/km}=8 \text{ ohm}$

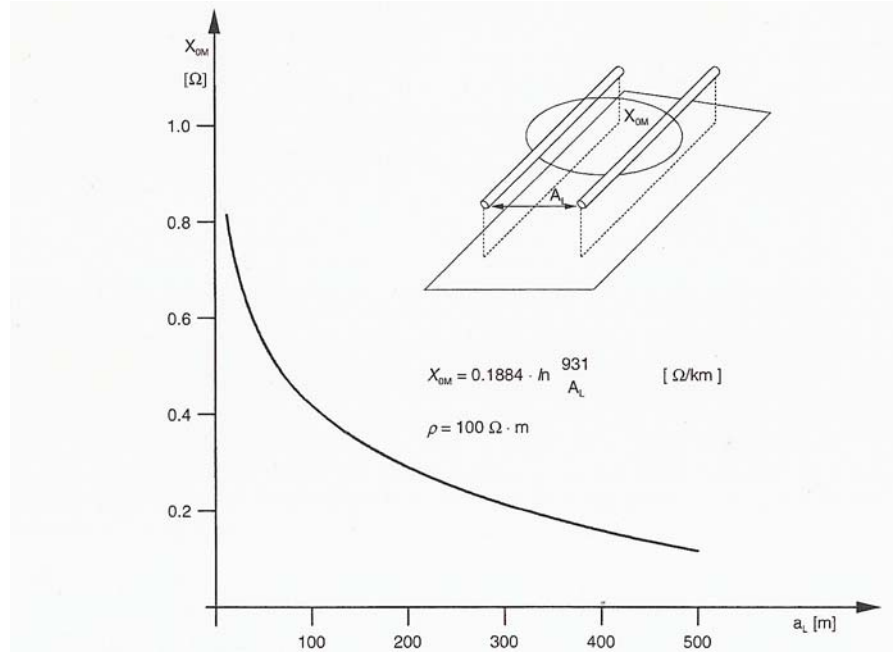
Bu nedenle ölçüm hatası:

$$F = \frac{10.6 - 8}{8} * 100 = \%32.5$$

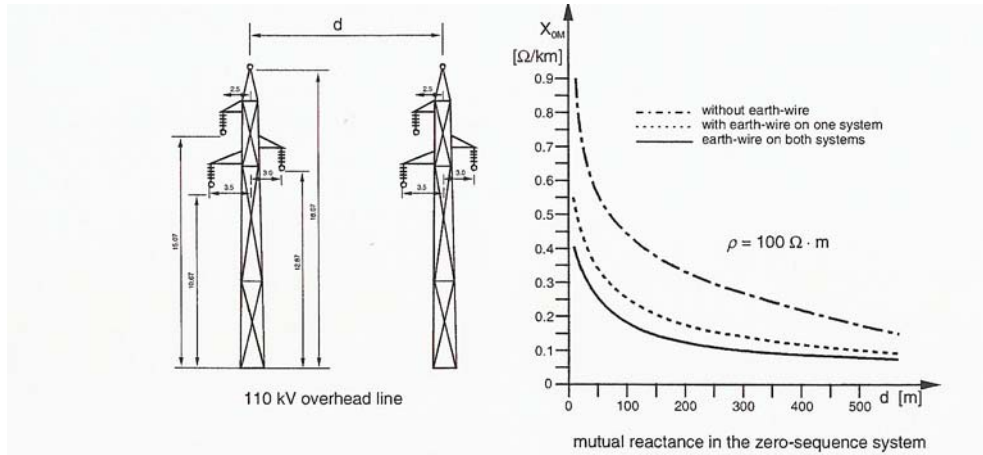
Buradan, kademelendirilmiş topraklı transformatörler mevcut olduğunda, çok büyük bir alt erişimin oluştuğu açıkça anlaşılır. Bölge, k_E faktörünün buna göre daha büyük bir ayarı tarafından (örnekte $k_E' = 1.28$) dengelenebilir. Bu problemin ortaya çıkmadığı faz-faz ölçüm sistemlerinin erişimi, etkilenmeden kalır.

2.5.6 Paralel Hatlar

Havai hatlar, paralel yolları takip ettikleri zaman, akım yolunun karşılıklı, endüktif birleşmesi (kuplajı) vardır. Çaprazlanmış (kravaze) hatlarda, doğru ve ters bileşen sistemindeki bu etki tüm pratik kullanımlar için ihmal edilebilir (karşılıklı reaktans öz-empedansın % 5'inden küçük). Bu da, yük koşullarında ve topraksız tüm kısa-devrelerde, hatların bağımsız olarak dikkate alınabileceğini göstermektedir. Toprak arızaları sırasında, iletken akımlarının toplamı sıfır etmez, toprak akımına göre sıfırdan farklı bir akım verir. Bu toplam akım için, faz-iletkenlerinin geometrik merkezine yerleştirilen bir hayali iletken üç fazlı sistemi modeller. İki paralel hat, bir toprak dönüş yollu, karşılıklı reaktansının hesaplanması gereken, iki adet paralel tek iletkenle modellenir. Toprak iletkenli hat olması durumunda, hesaplamalarda dikkate alınması gereken ek bir birleşme (kuplaj) oluşur. Tek-fazlı yedek iletken-toprak çevrimi, simetrik bileşenlerle ifade edildiğinde hattın sıfır bileşen sistemine tekabül eder. Tanıma göre sıfır bileşen sistemindeki akım, bir fazla ilişkili toplam akımın bir bölümüne, yani toprak akımının üçte birine eşit olur ($I_0 = I_E / 3$). Bu nedenle sıfır bileşen empedansı, yedek iletken –toprak empedansının üç katına denk olur.



Şekil 2.84a İki iletken-toprak çevrimlerinin karşılıklı endüktansı



Şekil 2.84b İki 100kV havai hattın hesaplanmış karşılıklı reaktansı

Şekil 2.84 Havai hatların sıfır-bileşen sistem kuplajı (birleşmesi) . Kaynak: Phadke, A.G.; LU Jiuang (1985), “A Computer Based Integrated Distance Relay for Parallel Transmission Lines”, IEEE Transactions on Pow. App. And Syst.

Toprak iletkenli iki hattın sıfır bileşen sistemleri arasındaki kuplaj empedansı aşağıdaki denklemle verilmiştir :

$$Z_{0M} = (3.R'_E + j\omega * 6 * \ln \frac{\delta}{A_L}) \cdot 10^{-4} \quad (2.96)$$

Terimlerin tanımlaması:

$\omega = 2\pi f$: s⁻¹ cinsinden açısal frekans

$\delta = 1650 \sqrt{\frac{\rho}{\omega}}$: m cinsinden giriş derinliği, $\rho = \Omega.m$ cinsinden toprak özgül direnci

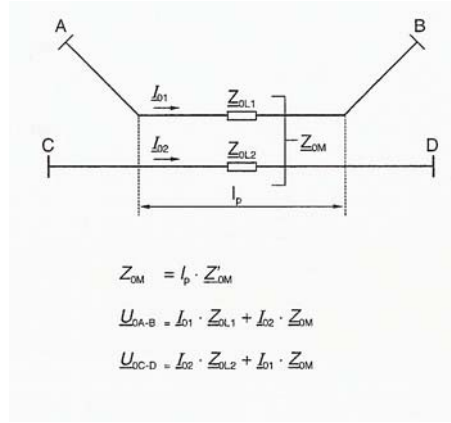
$R'_E = \frac{\pi}{2} \cdot \omega \cdot 10^{-4}$: $\Omega.m$ cinsinden toprağın direnci

A_L : iki üç-fazlı sistemin iletkenlerinin geometrik ortalama mesafesi (yaklaşık olarak iki hattın direkleri arasındaki mesafeye tekabül eder).

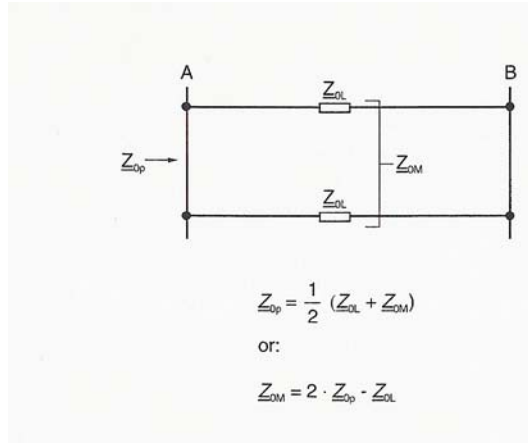
50Hz sistem frekansı ve 100 ohm.m'lik tipik toprak özgül direnciyle :

$$Z_{0M} = 0.15 + j0.1884 \cdot \ln \frac{931}{A_L} [\Omega / km] \quad (2.97)$$

Buradan, karşılıklı endüktansın logaritmik bir ilişkisi olduğu ve bu yüzden hat aralığının artmasıyla görece olarak yavaş şekilde azaldığı açıkça anlaşılabılır (şekil 2.84). Hatlar arasında oldukça büyük mesafe varken bile, karşılıklı kuplaj mevcuttur. Bir sistemdeki sıfır bileşen akımı, diğer sistemde bir gerilim endükler (şekil 2.85a). Hatlar, bütün uzunlukları boyunca, veya tüm uzunluğun bir kısmı boyunca paralel bir yol izleyebilirler. Eğer sistemler iki hat ucunda paralel olarak bağlanmışsa (doğru çift devre hat), tek hat Z_{0L} 'nin öz-endüktansı, çift hat Z_{0p} 'nin öz-endüktansı ve karşılıklı endüktans Z_{0M} arasında sabit bir ilişki mevcuttur (şekil 2.85b). Bu, tek ve paralel hattın sıfır bileşen empedansı bilindiği zaman, örneğin Z_{0M} karşılıklı reaktansını hesaplamak için kullanılabilir. Öz ve karşılıklı endüktansın belirlenmesi, genellikle direk yapısı ve aralığına bağlı hesaplamalarla yapılır. Fakat bu değerleri, şekil 2.86'de gösterilen prensibe göre yürütülen ölçümle belirlemek de mümkündür.



Şekil 2.85a Paralel havai hatlar, sıfır bileşen sistem gerilimleri. Kaynak: Phadke, A.G.; LU Jiuang (1985), “A Computer Based Integrated Distance Relay for Parallel Transmission Lines”, IEEE Transactions on Pow. App. And Syst.



Şekil 2.85b Bir çift devre hattın sıfır bileşen sistem empedansları. Kaynak: Phadke, A.G.; LU Jiuang (1985), “A Computer Based Integrated Distance Relay for Parallel Transmission Lines”, IEEE Transactions on Pow. App. And Syst.

Ölçümler düşük gerilim sinyalleriyle yapılır. Fakat, yakındaki diğer hatların, veya atmosferik olayların ölçülen hatta yüksek gerilim endükleme riski ve tehlikesi vardır. Buna göre emniyet önlemleri alınmalıdır. Mesafe koruma rölesine akım-gerilim sinyali taşıyan kabloların özellikle yüksek gerilim şalt merkezlerinde ekranlı seçilmesinde fayda vardır.

2.5.6.1 Mesafe Ölçümünde Sıfır Bileşen Sistem Kuplajının Etkisi

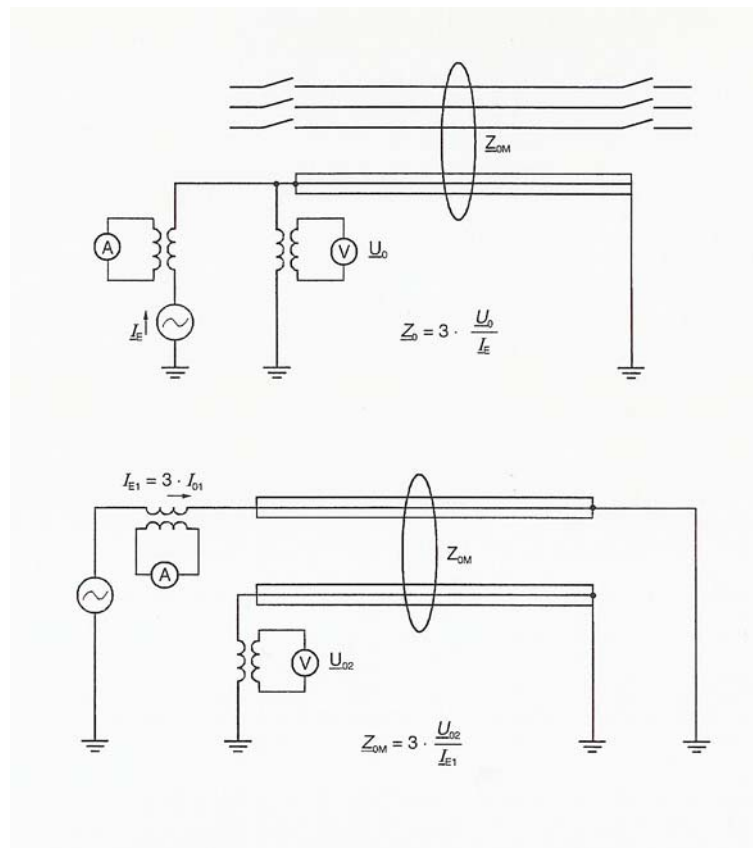
Paralel hattın toplanan akımı (toprak akımı) ölçülen hattın arıza çevriminde bir uzunlamasına gerilim endükler, ve röle noktasındaki ölçülen kısa-devre gerilimini değiştirir. Bir ölçüm

hatası ortaya çıkar. Etki, daha sonra gösterileceği gibi sistem düzenlemesine bağlıdır.

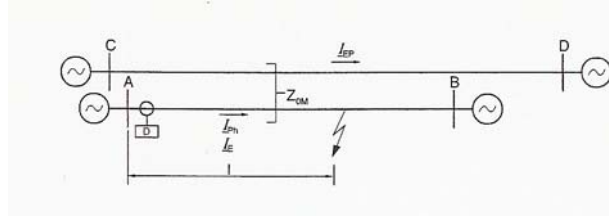
Genellikle aşağıdakiler etkilidir:

- İki sistemdeki toplanan akımlar aynı yönde aktıkları zaman, ölçüm hatası pozitifdir (çok büyük olan bir empedansın ölçülmesi, yani bölge alt erişimi)
- Toplanan akımlar zıt yönlerde aktığı zaman, ölçüm hatası negatiftir (üst erişim)

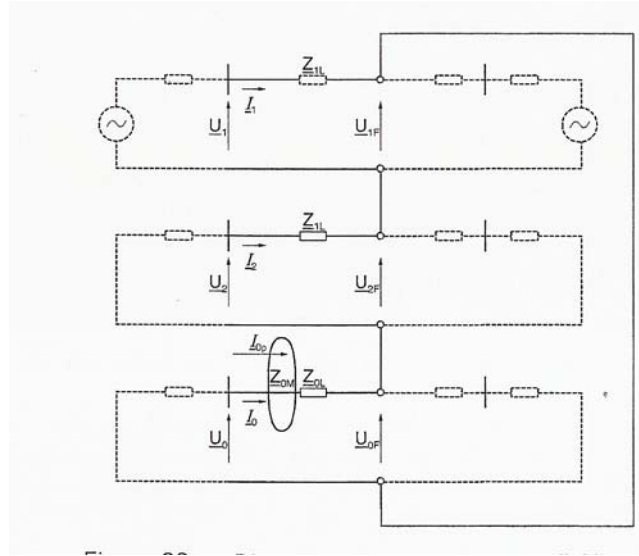
İki hat farklı sistemlere aitse (en kötü durum: farklı gerilim seviyeleri), toplanan akımlar arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Herhangi bir yönde bir ölçüm hatası oluşabilir. Paralel sistemlerin her iki hat ucunda ortak bir bara ile birleştirilmiş olduğu doğru bir paralel hatta, akım dağılımı görelî beslemelere ve hatların açma-kapama durumlarına göre belirlenir. Başlangıçta, bir paralel hattın genel olarak uygulanabilir durumuna göz atılacaktır (Şekil 2.86).



Şekil 2.86 Sıfır bileşen empedansları Z_{0L} ve Z_{0M} 'nin ölçerek belirlenmesi. Kaynak: Ziegler, G., (1999), "Numerical Distance Protection", Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.



Şekil 2.87a Tek-fazlı eşdeğer devre



Şekil 2.87b Simetrik bileşenlerle eşdeğer devre

Şekil 2.87 Paralel hatlarda mesafe ölçümü. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

Aşağıdaki denklemler, simetrik bileşenler eşdeğer devresinden türetilir:

$$U_1 = Z_{1L} \cdot I_1 + U_{1F} \quad (2.98)$$

$$U_2 = Z_{2L} \cdot I_2 + U_{2F} \quad (2.99)$$

$$U_0 = Z_{0L} \cdot I_0 + Z_{0M} \cdot I_{0P} + U_{0F} \quad (2.100)$$

2.98, 2.99 ve 2.100 denklemleri toplanırsa, aşağıdaki ilişki geçerli olur:

$$U_1 + U_2 + U_0 = U_A \text{ ve } U_{1F} + U_{2F} + U_{0F} = 0$$

sonuç:

$$U_A = Z_{1L} \cdot (I_1 + I_2) + Z_{0L} \cdot I_0 + Z_{0M} \cdot I_{OP} \quad (2.101)$$

$$= Z_{1L} (I_1 + I_2 + I_0) + (Z_{0L} - Z_{1L}) \cdot I_0 + Z_{0M} \cdot I_{OP} \quad (2.102)$$

$$U_A = I_{f\ddot{a}z} \cdot Z_{1L} + \frac{Z_{0L} - Z_{1L}}{3} \cdot I_E + \frac{Z_{0M}}{3} \cdot I_{Ep} \quad (2.103)$$

$$\text{ile } I_E = 3 \cdot I_0, I_{Ep} = 3 \cdot I_{OP}, I_1 + I_2 + I_0 = I_{f\ddot{a}z}, \text{ ve } \frac{Z_{0L} - Z_{1L}}{3} = Z_E$$

$3 \cdot I_0 = I_E, 3 \cdot I_{OP} = I_{Ep}, I_1 + I_2 + I_0 = I_{f\ddot{a}z}$ ve $\frac{Z_0 - Z_1}{3} = Z_E$ uygularsa, röle konumundaki kısa-devre gerilimi belirlenebilir:

$$U_A = Z_{1L} \left(I_{f\ddot{a}z} + \frac{Z_{EL}}{Z_L} \cdot I_E + \frac{Z_{0M}}{3 \cdot Z_{1L}} \cdot I_{Ep} \right) \quad (2.104)$$

Ölçülen empedans, şimdi 2.23. denklem kullanılarak hesaplanabilir:

$$Z_A = \frac{U_A}{I_{f\ddot{a}z} + k_E \cdot I_E} = \frac{Z_{1L} \left(I_{f\ddot{a}z} + \frac{Z_{EL}}{Z_L} \cdot I_E + \frac{Z_{0M}}{3 \cdot Z_{1L}} \cdot I_{Ep} \right)}{I_{f\ddot{a}z} + k_E \cdot I_E} \quad (2.105)$$

Artık kompanzasyon faktörünün havai hatta adapte edilmesiyle ($k_E = Z_{EL} / Z_{1L}$), denklem son halini alır:

$$Z_A = Z_{1L} \left(1 + \frac{\frac{Z_{0M}}{3 \cdot Z_{1L}} \cdot I_{Ep}}{I_{f\ddot{a}z} + \frac{Z_{EL}}{Z_{1L}} \cdot I_E} \right) \quad (2.106)$$

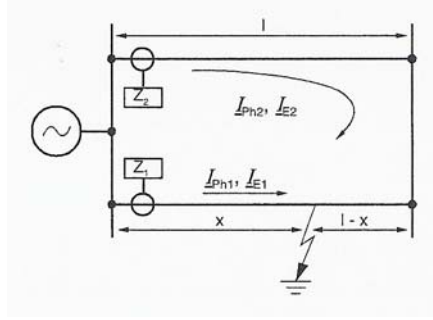
Ölçüm hatasının, her iki fiderdeki toprak akımının polarite ve büyüklük oranına bağlı olduğu görülebilir.

Şimdi denklemler basit bir örneğe uygulanabilir:

Şekil 2.88, tek-uçlu beslemeye sahip bir çift devre hat göstermektedir. Burada, Z1 ve Z2 mesafe rölelerinin bir tek fazlı toprak arızası sırasındaki davranışı gözlemlenebilir.

Aşağıdaki ilişkiler bu durumdaki akımlar için geçerlidir:

$$I_{Faz1} = I_{E1}, I_{Faz2} = I_{E2} \text{ ve } I_{E2} = \frac{x}{2l-x} I_{E1}$$



Şekil 2.88 Çift devreli bir hatta toprak arızası (tek uçlu besleme) . Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

Arızalı hattaki Z1 rölesi:

Denklem 2.105’den:

$$Z_1 = \frac{x}{l} Z_L + \frac{x}{l} Z_L \frac{\frac{Z_{0M}}{3 \cdot Z_{1L}} \cdot \frac{x}{2l-x}}{1 + \frac{Z_E}{Z_L}} \quad (2.107)$$

Arızasız paralel hattaki Z2 rölesi

Şekil 2.87’den, kısa-devre çevrimi için aşağıdaki gerilim okunabilir:

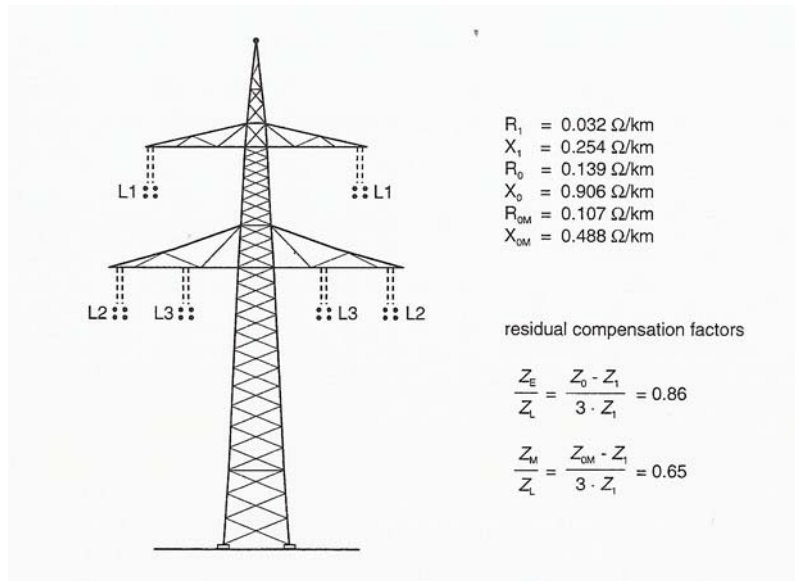
$$U_{(faz-E)2} = (2l-x)(Z_L \cdot I_{faz2} + Z_E \cdot I_{E2}) + x \cdot \frac{Z_{0M}}{3} \cdot I_{E1} - 2(1-x) \frac{Z_{0M}}{3} \cdot I_{E2} \quad (2.108)$$

$U_{(faz-E)2}$ nin 2.23. denklemde yerine konmasıyla ve yukarıdaki akım bağıntılarını da dikkate

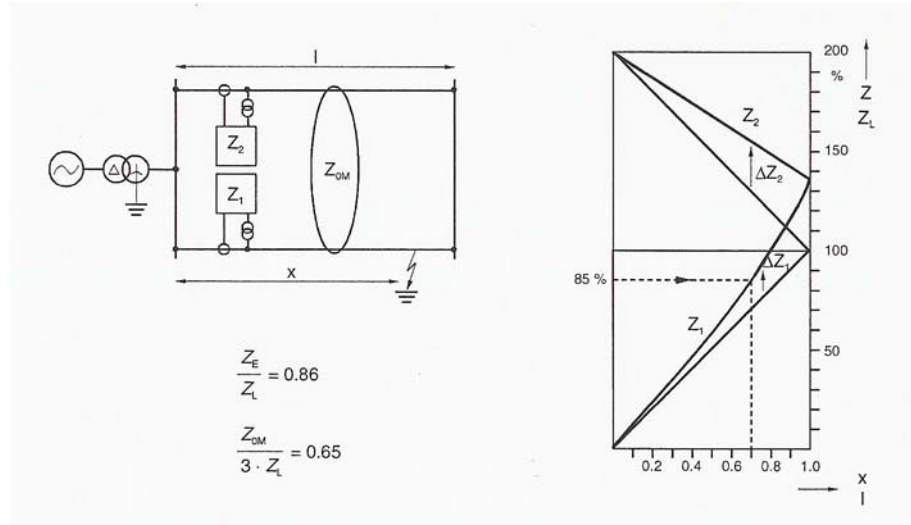
olarak, aşağıdakini elde ederiz:

$$Z_2 = (2.1 - x) \cdot Z_L + \frac{x \cdot \frac{Z_{0M}}{3 \cdot Z_L}}{1 + \frac{Z_E}{Z_L}}$$

Şekil 2.88’de, bir 400kV çift devreli hattın tipik empedans değerleri, ve de sonuçta bulunan artık kompanzasyon faktörleri gösterilmiştir (basitleştirmek için, hesaplamada sadece büyüklük değerleri kullanılmıştır). Bu değerlerin 2.108 ve 2.109 denklemlerinde yerine konmasıyla, bu tek uçtan beslemeli çift-devre hattı için ölçüm hataları hesaplanabilir. Sonuçlar şekil 2.89’de gösterilmiştir. İki rölenin de (Z_1 ve Z_2) besleyen uça, beklendiği gibi çok büyük bir ölçülen empedans değeri verdiği açıktır (I_{E1} ve I_{E2} aynı doğrultudadır). En büyük ölçüm hatası, hattın sonunda bir arıza meydana geldiğinde oluşur. (%35)



Şekil 2.89 Bir çift devre hattı için tipik empedans bilgileri. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

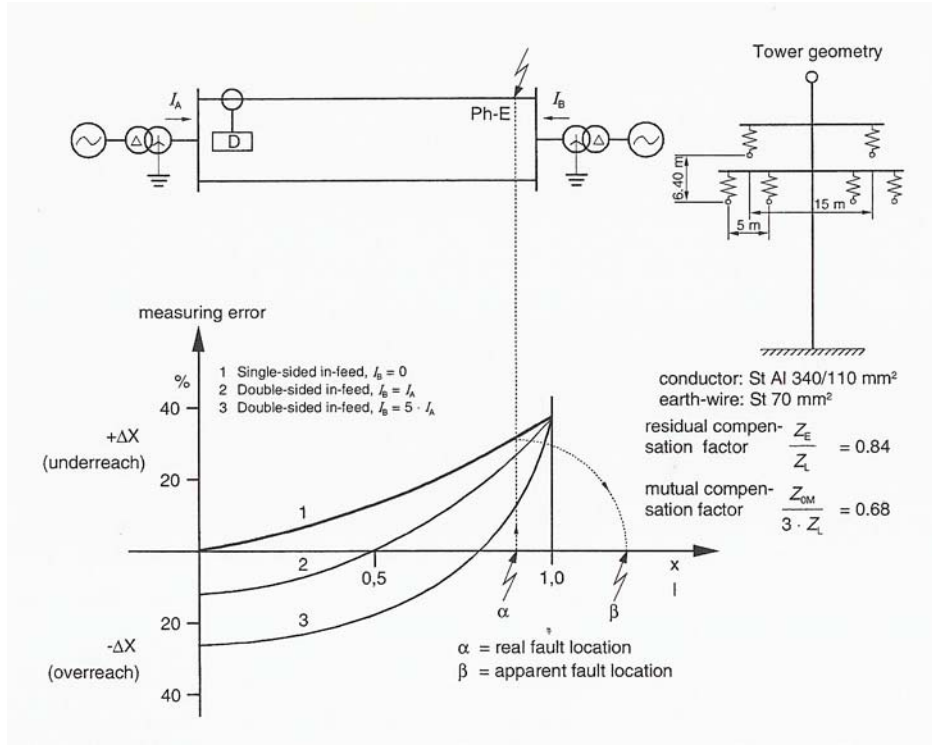


Şekil 2.90 Tek-uçtan beslemeli bir çift devre hatta mesafe ölçüm hatası. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen.

Karşılaştırma amacıyla şekil 2.91, çift-uçtan beslemeli durumda arızalı hatta röle için ölçü hatasını göstermektedir. Buradan görülebilir ki, bu durumda hata hattın ilk yüzde elli/seksenindeki arızalarda negatiftir. Bu; tam olarak hattın, paralel hattın toprak akımının ters doğrultuda aktığı hat kısmına tekabül etmektedir (I_{E1} ile karşılaştırıldığında, I_{E2} ters işarete sahiptir). Bu etki, müsaadeli düşük menzil karşıdan açtırma düzeninde kullanıldığı zaman bir taraf her zaman arızayı daha yakında “göreceğinden” ve bu nedenle, alt-erişim bölgelerinin küçük ayarlarıyla bile bir müsaadeli düşük menzil karşıdan açtırma sinyali gönderebileceğinden, mesafe korumasına yardımcı olur.

Çift-devre hatlar kullanılması durumunda paralel hattın etkisi, toprak akım dağılımındaki ilgili farktan dolayı şalt durumuna kuvvetli bir şekilde bağlıdır (Şekil 2.92). Toprak akımlarının aynı yönde akmasıyla (I_E ve I_{EP}), ölçülen empedansta bir artış oluşacağı açıktır. Bunun yanı sıra, toprak akımları zıt yönlerde aktığında ise, ölçülen empedans azalır.

Bir çift-devreli hatta empedans bölgelerinin ayarlanması için; bir yanda her iki hat ta işletmede olduğunda tatminkar erişim sağlamak, diğer yandan paralel hat devre dışı bırakıldığında ve iki uçtan topraklandığında şiddetli bir üst-erişimi engellemek arasında bir optimum bulunması gerekmektedir .



Şekil 2.91 Bir çift-devre hatta toprak arızası,çift taraftan beslemede mesafe ölçüm hatası.
Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

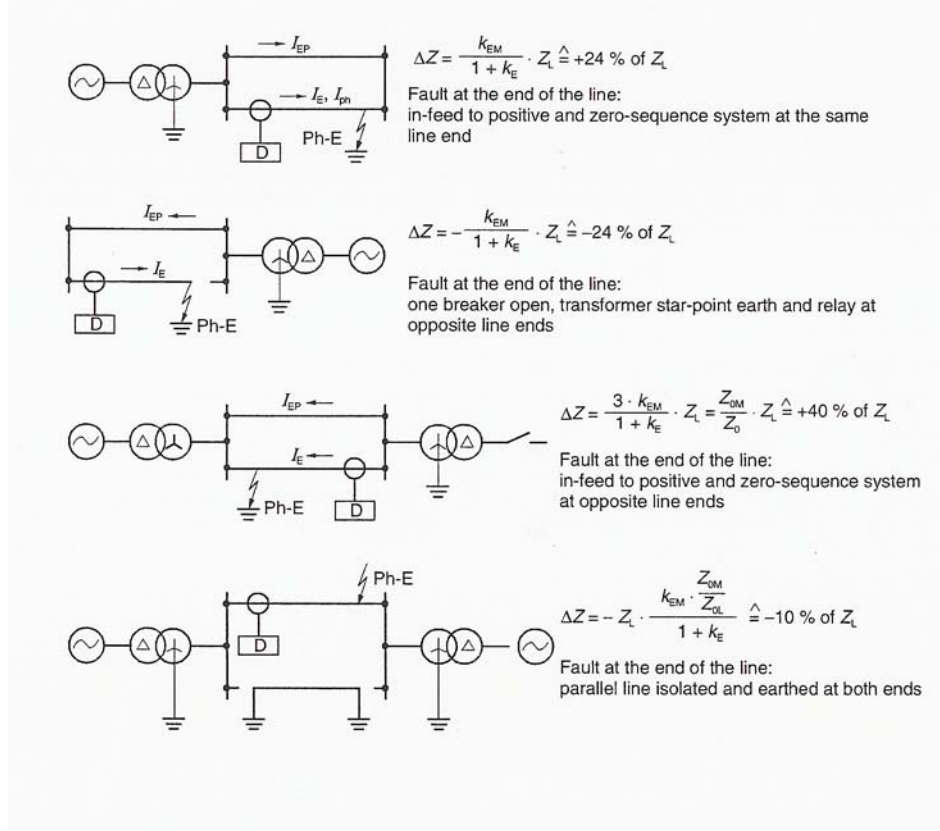
2.5.6.2 Paralel Hat Kompanzasyonu

2.105. denklemden, $\frac{Z_{0M}}{3 \cdot Z_{1L}} \cdot I_{EP}$ terimi paydaya eklendiği zaman arıza empedansının doğru ölçüleceği açıkça görülebilir. $k_E = Z_{EL} / Z_{1L}$ normal ayarıyla, paydaki parantezin içindeki ifade yok edilerek basitleştirilebilir. O zaman ölçüm sonucu Z_{1L} olur, yani paralel hattın etkisi iptal edilmiştir. Buna göre paralel hattın toprak akımı, bir ağırlık çarpanıyla ölçüme katılmalıdır. Bu prosedür genel olarak paralel hat kompanzasyonu olarak bilinir.

2.23. denklem, faz-toprak çevrimlerinin empedans hesaplaması için aşağıdaki gibi değiştirilmiştir:

$$Z_{faz-E} = \frac{U_{faz-E}}{I_{faz-E} + k_E \cdot I_E + k_{EM} \cdot I_{EP}} \quad (2.110)$$

$$k_{EM} = \frac{Z_{0M}}{3 \cdot Z_{1L}}$$



Şekil 2.92 Paralel hatlarda mesafe ölçümü, şalt durumuna bağlılık, empedansın ölçülmesi. Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

Elektromekanik teknolojiyle kompanzasyon basit olarak, paralel hattın toprak akımını, araya giren transformatörler yardımıyla, korunan hattın toprak akımına eklemek suretiyle gerçekleştirilir. Nümerik röleler, paralel hattın toprak akımının bağlanabileceği ek bir ölçüm girişi sağlarlar. O zaman bu ekleme otomatik olarak yapılır. Kompanzasyon faktörü işletme yazılımı kullanılarak ayarlanır. Şekil 2.92’de 4 farklı durum incelenmiştir:

- $\Delta Z = \frac{k_{EM}}{1 + k_E} \cdot Z_L \equiv Z_L$ nin %24’ü arıza hattın sonunda: doğru ve sıfır bileşen sistemine aynı hat ucunda besleme
- $\Delta Z = -\frac{k_{EM}}{1 + k_E} \cdot Z_L \equiv Z_L$ nin %24’ü arıza hattın sonunda: bir kesici açık, trafonun yıldız noktası topraklı ve röle karşı hat ucunda

- $\Delta Z = \frac{3 \cdot k_{EM}}{1 + k_E} \cdot Z_L = \frac{Z_{0M}}{Z_0} \cdot Z_L \equiv Z_L$ nin %40'ı arıza hattın sonunda: doğru ve sıfır bileşen sistemine karşı hat uçlarında besleme
- $\Delta Z = -Z_L \frac{k_{EM} \cdot \frac{Z_{0M}}{Z_0}}{1 + k_E} \equiv Z_L$ nin %-10'u arıza hattın sonunda: paralel hat her iki uçta ayrılmış ve topraklanmış

2.5.6.3 Toprak Akımı Dengesi

Yukarıda açıklanan paralel hat kompanzasyonu sadece korunan hatlardaki arızalar sırasında değil, paralel hatlardaki arızalar sırasında da işlev görür. Bunu açıklamak için, şekil 2.90'de gösterilen örnek tekrar kullanılacaktır. Denklem 2.108'i denklem 2.110'da yerine koyarak, bir paralel hattaki tek-fazlı toprak-arızası sırasında paralel hat kompanzasyonu ile ölçüm için gerekli denklem elde edilir:

$$Z_2^* = Z_L \cdot (2.1 - x) + \frac{\left(\frac{x}{2.1 - x} - \frac{2.1 - x}{x} \right) \cdot \frac{Z_{0M}}{3 \cdot Z_L} \cdot Z_L \cdot (2.1 - x)}{1 + \frac{Z_E}{Z_L} + \frac{Z_{0M}}{3 \cdot Z_L} \cdot \frac{2.1 - x}{x}} \quad (2.111)$$

Paralel hat kompanzasyonu ile ölçülen empedanslar şekil 2.93'te gösterilmişlerdir. Şekil 2.90'la bir karşılaştırma, rölenin şimdi arızalı hattaki doğru mesafeyi ölçtüğünü gösterir, yani ölçülen empedans, arızaya olan mesafenin artmasıyla lineer olarak artar. Sağlıklı hat üzerinde röle tarafından ölçülen arızaya olan mesafe, paralel hattın akuple olmuş (etkileşmiş) toprak akımı nedeniyle fazla kısadır. Bunu anlaşılabilir, çünkü arızalı hattaki yakın arızalar sırasında büyük bir kısa devre akımı akar. Bu akım sağlıklı hatta röleyle etkileşir ve bu rölenin de küçük bir empedans "görmesini" sağlar. Örneğin bu nedenle %85'lik bir alt erişim bölge ayarıyla sağlıklı hattaki koruma da, hat uzunluğunun ilk %55'indeki arızalarda açtırma yapar (kesikli çizgi). Bu fonksiyon ötesinde çalışmayı engellemek için, toprak akımı dengesi olarak adlandırılan kavram uygulanır. Bu, iki hattın toprak akımlarını karşılaştırır ve paralel hattın toprak akımı korunan hattın toprak akımını ayarlanabilir bir yüzdesel oran kadar geçtiğinde paralel hat kompanzasyonunu engeller (bloke eder).

Bu prensip, arızalı hattaki toprak akımının her zaman sağlıklı hattın toprak akımı kadar (hattın

sonundaki arıza) veya daha büyük olduğu gerçeğine dayanır.

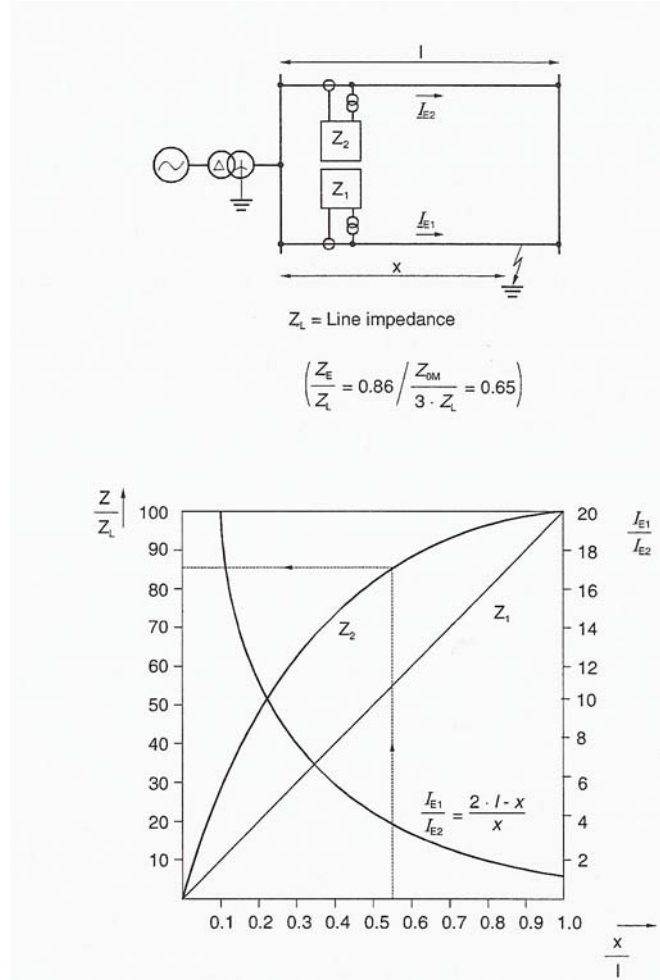
Tek uçtan beslemeli çift devreli havai hat için şekil 2.93'e göre arıza konumu x ile toprak akımı dağılımı arasında aşağıdaki ilişki vardır:

$$\frac{I_{E1}}{I_{E2}} = \frac{2.1 - x}{x} = \frac{2 - \frac{x}{1}}{\frac{x}{1}} \quad (2.112)$$

Bu yolla, arızaya olan hangi mesafeden kompanzasyonun aktif olacağını belirlemek mümkündür, yani röle üzerindeki ayar akım oranı değildir, doğrudan yüzdesel olarak x/l oranıdır. Bu, aşağıdaki sayısal örnek yardımıyla açıklanmıştır:

$x/l = \%85$ olarak ayarlayarak (tipik ayar), kompanzasyon hem korunan hat üzerindeki arızalarda hem de emniyet amacıyla uzaktaki şalt istasyonunun $\%15$ ötesinde paralel hatta doğru aktiftir. O zaman ayarlama $\frac{I_{E1}}{I_{E2}} = 1.35$ 'e tekabül eder. Bu, paralel hattın toprak akımının,

korunan hattın toprak akımının $\%135$ 'ini geçtiği zaman, paralel hat kompanzasyonunun bloke edileceğini göstermektedir. Takip eden hatlardaki arızalarda, kompanzasyonun her zaman aktif olduğu belirtilmelidir, çünkü bu durumda paralel hattın iki devresindeki toprak akımları eşittir. Bu nedenle, yedek bölgelerin geliştirilmiş bir erişimi tüm durumlarda verilmiştir.



Şekil 2.93 Çift devreli havai hatta mesafe koruması, paralel hat kompanzasyonunun çalışması.
Kaynak: Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, München and Erlangen.

2.5.6.4 Paralel Hat Kompanzasyonun Uygulanması

Kompanzasyon, sadece iki hat da aynı şalt istasyonunda sonlandığında kullanılabilir. Bu her zaman çift devreli havai hatlar için geçerlidir. Sadece kısmi olarak paralel devam eden hatlarda, kompanzasyon sadece sınırlı olarak uygulama sahası bulabilir. Kompanzasyon her durumda arıza yeri belirleyicisi için tavsiye edilir, çünkü bu paralel hatlarda hassas ölçümü uygun olarak elde etmenin tek yöntemidir. Mesafe koruması için kompanzasyon sadece, yedek bölgelerin yeterli erişiminin başka türlü mümkün olamayacağı zor durumlarda uygulanır. Bu durum, bir çift devre hattını kısa bir hat takip ettiği zaman olabilir. İstatistiksel bir açıdan bakıldığında, mesafe korumasının paralel hat kompanzasyonu geçmişte çok seyrek uygulanmıştır. Bunun arkasında yatan sebep, farklı bir fider hücresine bağımlılık nedeniyle

korumanın test edilmesinin daha karmaşılaşmasıdır. Nümerik rölelerde eklenmiş olan, arıza yeri belirleme fonksiyonu sayesinde kompanzasyon daha sıkça mevcuttur. Kompanzasyonun sadece arıza yeri belirleyicisi için mi, veya mesafe koruması için de mi aktif olmasının seçimi röledeki parametreyi kullanarak yapılabilir. Mesafe koruması için opsiyonel bir seçim bu nedenle her zaman mevcuttur.

3. 7SA NÜMERİK MESAFE KORUMA RÖLESİ

3.1 Genel Çalışması

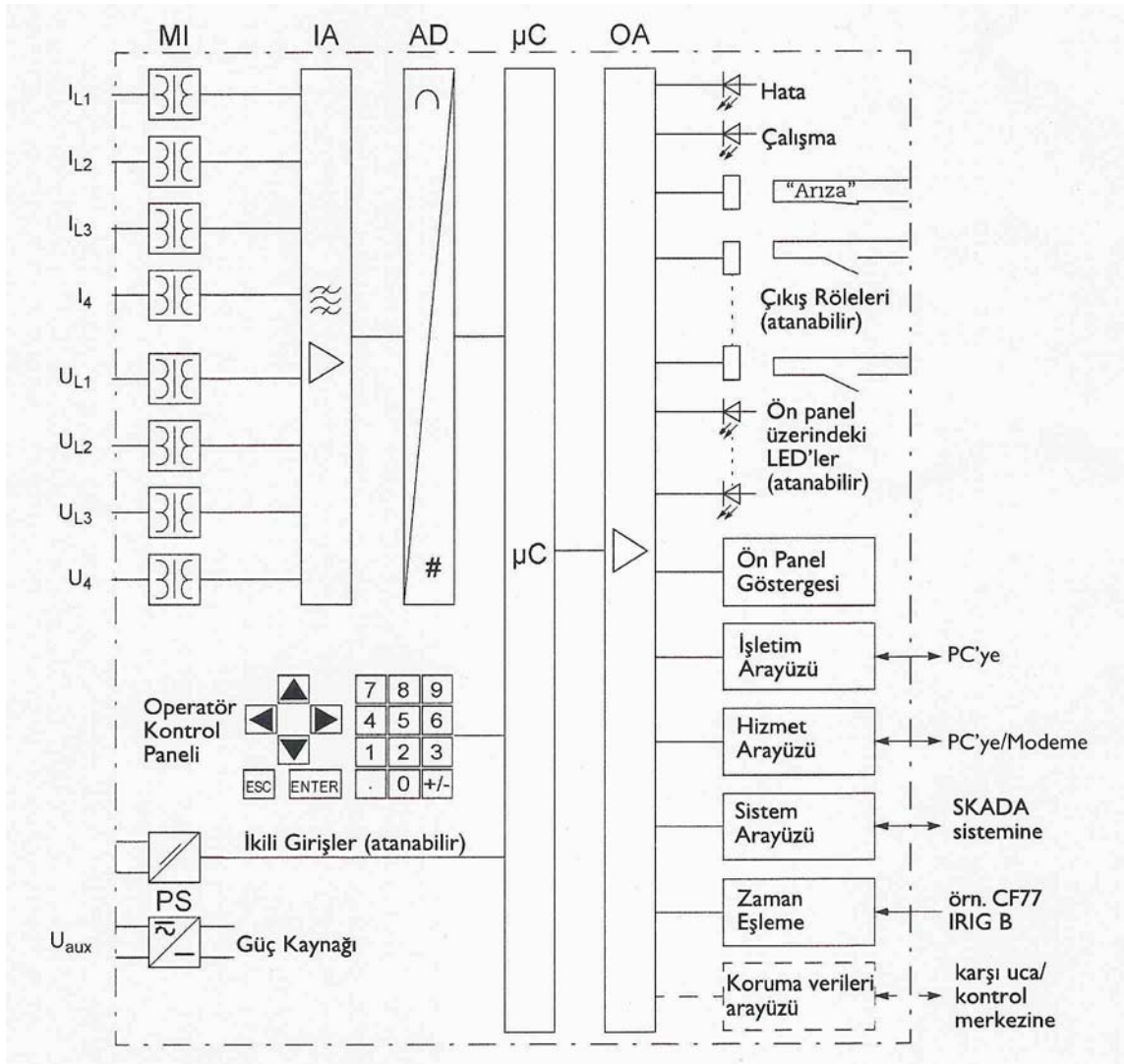
Bu tez çalışmasının sayısal uygulama bölümünde kullanılan nümerik (sayısal) mesafe koruma rölesi Siprotec 4 7SA6, güçlü bir mikroişlemci sistemiyle donatılmıştır. Bu, ölçülen değerlerin toplanmasından kesiciye gönderilen çıkış komutlarına kadar cihaz içerisindeki tüm fonksiyonların tamamen sayısal işlemlerini sağlar. Şekil 3.1 'de 7SA6'nın temel yapısı görülmektedir.

Ölçme girişleri (MI), ölçü trafolarından gelen akım ve gerilimleri dönüştürür ve bunları cihazın dahili işlem seviyelerine uyarlar. Cihaz üzerinde, 4 akım ve 4 gerilim girişi bulunmaktadır. Üç akım girişi, faz akım ölçümleri için konulmuştur; diğer akım girişi (I_4), fider toprak akımının (fider akım trafolarının yıldız-noktası rezidüel akımı), bir paralel hattın toprak akımının (paralel hat denkleştirmesi için) veya bir güç trafosunun yıldız-noktası akımının (toprak arızası yön tespiti için) ölçümü için biçimlendirilebilir.

Faz-toprak gerilimlerin her birisi için bir gerilim ölçme girişi bulunur. Diğer bir gerilim girişi (U_4), rezidüel gerilimi (e-n gerilimi), bara gerilimini (senkronizasyon ve gerilim denetimi için) veya başka bir U_x gerilimini (aşırı gerilim koruma için) ölçmek için kullanılabilir. Analog değerler, daha öteye IA giriş yükseltici grubuna aktarılır.

IA giriş yükseltici grubu, analog giriş büyüklükleri için yüksek dirençli girişler sağlar. Bant genişliği ve işlem hızı açısından ölçülen değer işleme için optimize edilmiş süzgeçlerden oluşmuştur.

AD analog-sayısal dönüştürücü grubu, mikrobilgisayar sistemine veri aktarımı için, analog-sayısal dönüştürücüler ve bellek elemanları içerir.



Şekil 3.1 7SA Sayısal mesafe rölesinin donanım yapısı . Kaynak : Siemens, (2003), “7SA6 Distance Protection Relay Manual”, Germany.

Ölçülen değerleri işlemeden başka; mikrobilgisayar sistemi C, gerçek koruma ve denetim fonksiyonlarını da yürütür. Bunlar, özellikle şunlardan oluşmuştur:

- Ölçülen sinyalleri süzgeçleme ve iyileştirme,
- Ölçülen büyüklükleri sürekli izleme,
- Bağımsız koruma fonksiyonlarının başlatma koşullarını izleme,
- Sınır değerlerini ve zaman sıralarını (kronoloji) sorgulama,
- Mantık fonksiyonları için sinyallerin denetimi
- Açma ve kapama komut kararlarına ulaşma,
- Arıza çözümlemesi için mesajları, arıza verilerini ve arıza değerlerini saklama,
- İşletim sisteminin ve fonksiyonlarının, örn. veri depolama, gerçek zamanlı saat,

iletişim,arayüzler vb. yönetimi.

Bilgiler, OA çıkış yükseltici üzerinden mevcuttur.

Bilgisayar sistemine ikili girişler ve bilgisayar sisteminden ikili çıkışlar, I/O modülleri (girişler ve çıkışlar) üzerinden yönlendirilir. Bilgisayar sistemi, bilgileri, sistemden (örn. uzaktan resetleme) veya harici donanımdan (örn. kilitleme komutları) sağlar. Ek çıkışlar, esas olarak, anahtarlama aygıtlarına (kesici vb.) gönderilen komutları ve olayların ve durumların uzağa bildirim mesajlarını kapsar.

LED'ler ve sıvı kristal gösterge, cihaz fonksiyonları hakkında bilgiler sağlar ve olayları,durumları ve ölçülen değerleri gösterir.

Dahili kontrol tuşları ve sayısal tuşlar, gösterge ile birlikte cihazla lokal etkileşimi sağlar. Böylelikle; biçimleme ve ayar parametreleri, işletme ve arıza ihbarları ve ölçülen değerler gibi cihazla ilgili tüm bilgilere erişilebilir veya bu bilgiler değiştirilebilir.

Kumanda fonksiyonları bulunan modellerinde, cihazın ön panelinden kesici ve diğer teçhizatın kumanda edilmesi de mümkündür.

Cihazın ön panelindeki seri arayüz üzerinden bir kişisel bilgisayarla (DIGSI işletim programı kullanılarak) iletişim kurulabilir.Bu, bütün cihaz fonksiyonlarının rahat biçimde kullanılmasını sağlar.

Hizmet arayüzü üzerinden de bir kişisel bilgisayarla (DIGSI işletim programı kullanılarak) iletişim kurulabilir. Hizmet Arayüzü, özellikle, modem üzerinden cihazın PC'ye sürekli bağlantısı için uygundur. Bu arayüz, özel uygulamalara uyarlamak için değişik protokollerle ve fiziksel iletim tertipleriyle kullanılabilir.

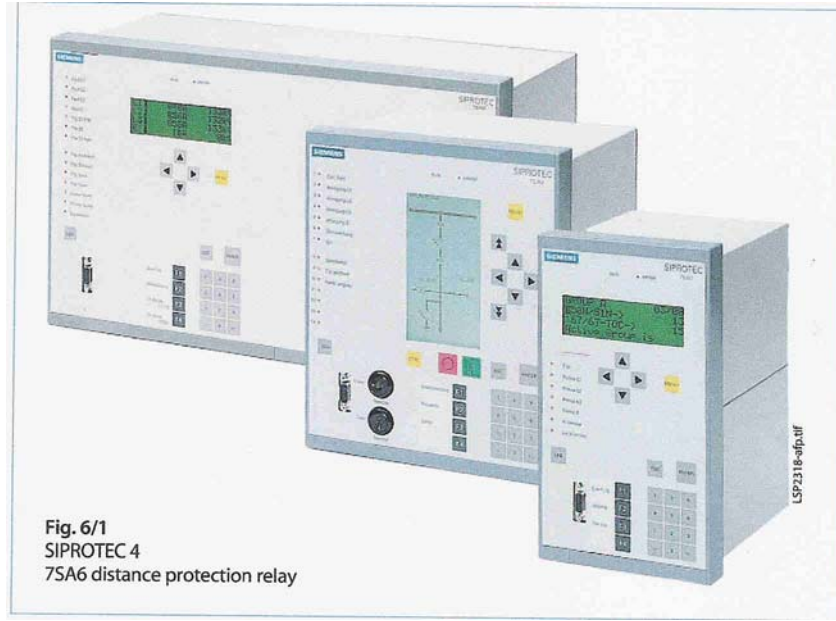
Harici eşzamanlama kaynakları ile dahili saati eşlemek için ayrı bir arayüz mevcuttur.

Ek arayüz modülleriyle, başka iletişim protokolleri de gerçekleştirilebilir.

Cihazın sürümüne bağlı olarak, bir koruma verileri arayüzü bulunabilir. Bu arayüz üzerinden, telekoruma sinyallerine ek olarak, lokal kesicinin kapatılması, ikili girişler üzerinden bağlanan harici açma komutları vb. diğer bilgiler ile ikili bilgiler karşı uç birimlerine iletilebilir.

Yukarıda açıklanan fonksiyonel birimler, farklı gerilim seviyelerinde gerekli güç ile bir PS güç kaynağından beslenir. Güç sisteminin yardımcı gerilim beslemesindeki arızalarda

olabilecek geçici gerilim kesintileri, genellikle bir kondansatör ile köprülenir.



Şekil 3.2 7SA Sayısal mesafe rölesi. Kaynak : Siemens, (2005), “7SA6 Distance Protection Relay Catalogue”, Germany.

3.2 Uygulama Kapsamı

Sayısal mesafe koruma rölesi Siprotec 4 7SA6, herhangi bir gerilim seviyesinde, radyal, ring veya enterkonnekte sistemlerde, tek ve çok-taraftan beslenen havai hatlar ve yer altı kabloları için seçici ve hızlı bir koruma sağlar. Şebeke nötrü, topraklı, kompanse edilmiş veya yalıtılmış olabilir.

Cihaz, normalde bir havai hat fiderinin korunması için gerekli bütün fonksiyonları içerdiği için universal olarak, yani çok maksatlı kullanılabilir. Ayrıca; zaman kademeli artçı koruma olarak, tüm gerilim seviyelerindeki hatların, trafoların, jeneratörlerin, motorların ve baraların her tür karşılaştırmalı koruma tertiplerine uygulanabilir.

Koruma bölgesinin her iki ucunda bulunan cihazlar, klasik bağlantılarla (kontaklar) telekoruma fonksiyonları üzerinden veya özel iletişim bağlantıları (genellikle fiberoptik kablolar) veya bir iletişim ağı kullanılarak seçimli koruma verileri arayüzleri üzerinden ölçüm bilgilerini birbirlerine iletebilirler. Eğer 7SA6 cihazları bir koruma verileri arayüzü ile donatılmışlarsa, iki uçlu bir korunan teçhizat için kullanılabilirler.

Cihazın temel fonksiyonu, mesafe koruma ölçümüyle arıza uzaklığının tespitidir. Mesafe koruma, özellikle karmaşık çok fazlı arızalar için, anahtarlamasız 6-empedans döngü tasarımına sahiptir (tam tertip). Farklı başlatma karakteristikleri, sistem koşullarına ve kullanıcı felsefesine çok iyi bir uyarlama sağlar. Şebeke nötrü, yalıtılmış, kompanse edilmiş/denkleştirilmiş, düşük bir direnç üzerinden topraklanmış veya doğrudan/efektif olarak topraklanmış olabilir. Cihazın, normal veya seri kompanzasyonlu çok uzun ve çok yüklü hatlarda kullanılması da mümkündür.

Mesafe koruma, (hattın tamamında hızlı açma için) değişik sinyal iletim tertiplerini kullanan telekoruma fonksiyonu ile birlikte kullanılabilir ilave olarak; yüksek dirençli toprak arızaları için, yönlü veya yönsüz kullanılabilen ve sinyal iletim tertiplerine de dahil edilebilen bir toprak arıza koruma mevcuttur (opsiyonel). Zayıf-beslemeli veya radyal hatlarda, sinyal iletim tertipleri vasıtasıyla her iki uçta hızlı açma gerçekleştirilebilir. Bir kısa-devre üzerine hattın enerjilenmesi durumunda, gecikmesiz açma sinyali almak da mümkündür.

Sekonder devre arızalarında (örneğin gerilim trafosu minyatür şalterinin veya sigortasının atması), ölçülen gerilim tekrar gelinceye kadar, cihaz otomatik olarak dahili acil durum aşırı akım koruma çalışma moduna geçebilir. Bu zamanlı aşırı akım koruma, üç sabit zaman ve bir ters zaman kademesine sahiptir. Ters zaman kademesi için, değişik standartlara göre bir çok karakteristik seçilebilir. Bu kademeler, çeşitli biçimlerde birleştirilebilir. Seçenek olarak; zamanlı aşırı akım koruma, artçı aşırı akım koruma olarak kullanılabilir. Bu durumda; aşırı akım koruma, mesafe korumadan bağımsız ve onunla paralel olarak görev yapar.

Sipariş edilen sürüme bağlı olarak, kısa-devre koruma fonksiyonlarının bir çoğu bir-kutup açma yapabilir. Bu koruma fonksiyonları, havai hat şebekelerinde, birkaç kesme çevrimiyle bir-kutup, üç-kutup veya bir ve üç-kutup otomatik tekrar kapama yapabilen dahili otomatik tekrar kapama fonksiyonu ile birlikte çalışabilir. Üç-kutup açmadan sonra, hattın otomatik tekrar kapamasından önce cihaz, gerilim ve/veya senkronizasyon denetimiyle tekrar kapamanın geçerliliğini denetleyebilir. Harici bir otomatik tekrar kapama ile ve/veya senkronizasyon denetimiyle kullanılması veya bir veya iki tekrar kapama fonksiyonuyla çift koruma tertibi de mümkündür.

Yukarıda bahsedilen arıza koruma fonksiyonlarından başka, (yalıtılmış veya kompanse edilmiş sistemler için) toprak arızası tespiti, çok kademeli aşırı gerilim, düşük gerilim ve frekans koruma, kesici arıza koruma, güç salınımlarının etkilerine karşı mesafe korumanın güç salınım kilitlemesi, teçhizatı (özellikle yer altı kablolarını) aşırı yük sebebiyle müsaade

edilmeyen ısınmadan koruyan ısı aşırı yük koruma gibi ek koruma fonksiyonları da mümkündür. Cihaza, bir arıza sonrası arıza yerinin hızla tespiti için, paralel hatların etkilerini de denkleştirebilen bir arıza yeri tespit fonksiyonu eklenmiştir.

Eğer mesafe koruma sayısal koruma tertipleri ile kullanılacaksa, bu amaç için gerekli veriler, bir sayısal iletim bağlantısı kullanılarak koruma verileri arayüzü üzerinden iletilebilir. Koruma verileri arayüzü üzerinden iletişim, diğer bilgilerin iletilmesi için de kullanılabilir. Ölçülen değerlerin yanı sıra, ikili komutlar ve diğer bilgiler de iletilebilir.

Cihazın, sipariş biçimine bağlı olarak, dahili operatör panelinden, sistem arayüzü üzerinden, ikili girişler kullanılarak veya DIGSI çalışan bir kişisel bilgisayar ile şalt teçhizatını anahtarlamayı sağlayan kumanda fonksiyonları bulunur. Primer teçhizatın durum bilgileri, ikili girişlere bağlı yardımcı kontaklar üzerinden cihaza iletilebilir. Primer teçhizatın mevcut durumu (veya konumu), cihaz üzerinde okunabilir ve kilitleme veya kabul edilebilirlik izlemesi için kullanılabilir. Anahtarlanacak şalt teçhizatı sayısı, cihazın teçhizat konumu bildirimleri için atanmış mevcut ikili giriş ve çıkış sayılarıyla sınırlıdır. Kullanılan primer teçhizata bağlı olarak, bir (tek öğeli bildirim) veya iki (çift öğeli bildirim) ikili giriş kullanılabilir. Primer teçhizatın anahtarlanabilmesi, anahtarlama yetkisine ilişkin bir ayarla ve işletim modu (kilitli/kilitsiz, şifre girişi istemi ve şifresiz) ile kısıtlanabilir. Dahili kullanıcı-tanımlı mantık fonksiyonları kullanılarak, anahtarlama için kilitleme koşulları (örneğin anahtarlama hatası koruma) tesis edilebilir.

İşletme mesajları, güç sistemi ve cihaz hakkında bilgiler sağlar. Ölçüm büyüklükleri ve bunlardan hesaplanan değerler, lokal olarak cihaz göstergesinden okunabilir veya seri arayüzler üzerinden uzağa iletilebilir.

Cihaz mesajları, ön yüzdeki bir çok LED'e atanabilir, çıkış kontaklarına atanarak bu çıkışlar üzerinden harici olarak işlenebilir, kullanıcı-tanımlı mantık fonksiyonları ile birleştirilebilir ve/veya seri arayüzler üzerinden uzağa iletilebilir.

Bir arıza (sistem arızası) sırasında, önemli olaylar ve durum değişiklikleri, arıza kayıtlarında saklanır. Anlık arıza değerleri de cihazda saklanır. Uygun yazılım programları ile, bu veriler, daha sonra arızanın çözülmesi için kullanılabilir.

İşletme, kontrol ve depolama sistemleri ile iletişim için seri arayüzler mevcuttur.

Ön yüzde bulunan bir 9-pin soket, bir kişisel bilgisayarla lokal iletişim için kullanılır. SIPROTEC 4 işletim sistemi DIGSI 4 ile, bu işletim arayüzü üzerinden,biçimlendirme

parametrelerinin ve ayarların girilmesi ve değiştirilmesi, kullanıcı-tanımlı mantık fonksiyonlarının biçimlendirilmesi, işletme mesajlarına ve ölçülen değerlere erişim, cihaz durumlarının ve ölçülen değerlerin sorgulanması, kumanda komutlarının verilmesi gibi bütün işletme ve değerlendirme işleri yapılabilir.

Diğer sayısal işletme, kontrol ve depolama elemanları ile kapsamlı bir iletişim kurmak için, sipariş biçimine bağlı olarak, cihaz başka arayüzlerle donatılabilir.

Hizmet arayüzü, veri hatları üzerinden çalıştırılabilir. Bu arayüze, bir modem bağlanabilir. Bu sayede, kişisel bilgisayar ve DIGSI işletim sistemi ile uzaktan çalıştırma, örneğin bir merkezi PC üzerinden birkaç cihazı çalıştırmak mümkündür.

Sistem arayüzü, cihaz ile istasyon denetçisi arasında merkezi iletişimi sağlar. Sistem arayüzü, veri kabloları veya optik fiberler üzerinden çalıştırılabilir. Veri iletimi için, birkaç tiplendirilmiş protokol mevcuttur. Cihazların diğer üreticilerin otomasyon sistemlerine dahil edilmesi, bu profille olabilir.

3.3 Özellikler

- 32-bit güçlü mikroişlemci sistemi
- Analog giriş değerlerinin örneklenmesinden, kesicilerin açma ve kapama komutlarına kadar ölçülen değerlerin tamamen sayısal olarak işlenmesi ve denetlenmesi
- Analog giriş dönüştürücüleri, ikili girişler, ikili çıkışlar ve DC/DC veya AC/DC çeviriciler ile, cihazın dahili işleme devrelerinin, harici ölçüm, kontrol ve güç besleme devrelerinden tam galvanik ve güvenilir yalıtımı
- Cihazın, normalde bir hat fiderinin korunması için gerekli tüm fonksiyonlar ile donatılmış olması
- Telekoruma için, sayısal koruma verileri arayüzü kullanılabilir. Bu durumda, iletişim ağında olabilecek veri bozulması, iletişim arızası ve iletim süresi sapmaları sürekli izlenir ve çalışma sırasında bunlar otomatik olarak düzeltilir.
- Dahili operatör paneli üzerinden veya menü güdümlü DIGSI çalışan bir kişisel bilgisayar kullanılarak cihazın kolay işletimi
- Arıza kaydı için, arıza bildirimlerinin ve anlık değerlerin depolanması.
- Yıldız-noktası doğrudan topraklı, denkleştirilmiş veya yalıtılmış sistemlerde bütün arıza

tipleri için koruma mümkündür

- Farklı sistem koşullarına ve kullanıcı felsefesine uyarlatabilen değişik başlatma tertipleri: Aşırı akım başlatma, gerilim ve faz açısı denetimli başlatma veya (poligonal karakteristikli) empedans başlatma
- Uzun, aşırı yüklü hatlarda, yük ve arıza koşulları arasında güvenilir ayırım
- Az yüklü hatlarda yüksek duyarlık, yük kaymalarına ve güç salınımlarına karşı son derece kararlı çalışma
- Ayrı X-ekseni (menzil) ve R-ekseni (ark direnci rezervi) ayarlarına sahip poligonal açma karakteristiği ile hat parametrelerine optimum uyarlama, toprak arızaları için ayrı R ayarı
- Her bir mesafe kademesi için altı ölçme sistemi
- Mesafe kademelerinin her biri, ileri veya geri yönde ya da yönsüz seçilebilir; biri aşırı menzil kademesi olarak kullanılabilir
- Mesafe kademeleri için dokuz zaman kademesi
- Yön tespiti (poligon ile), arızasız döngü (dik faz) gerilimleri ile veya bellek gerilimi ile yapılır; böylelikle sınırsız yön duyarlığı sağlanır ve kapasitif gerilim trafolarının transiyentlerinden etkilenme olmaz
- Seri kompanzasyonlu hatlar için uygun . Akım trafosu doymalarına duyarsız
- Bir paralel hattın etkisine karşı denkleştirme
- En kısa açma zamanı, yaklaşık 17 ms ($f_N = 50$ Hz için) veya 15 ms ($f_N = 60$ Hz için)
- Faz-ayrımli açma (bir-kutup veya bir- ve üç-kutup otomatik tekrar kapama ile birlikte)
- Arıza üzerine kapamada gecikmesiz açma
- İki takım toprak empedansı denkleştirme (skalar veya vektörel).
- Üç ölçme sistemi ile dZ/dt ölçümüyle güç salınımı tespiti
- Maksimum 7 Hz salınım frekansına kadar güç salınım tespiti
- Bir-kutup ölü zaman sırasında da etkin
- Ayarlanabilir güç salınım programları
- Güç salınımları sırasında mesafe korumanın istenmeyen açmalarının önlenmesi
- Ayrıca, kademesiz açma koşulları biçimlendirilebilir
- Müsaadeli düşük menzil karşıdan açtırma = PUTT (doğrudan, başlatma ile veya ayrı bir ayarlanabilir aşırı menzil kademesi üzerinden)
- Karşılaştırmalı tertipler (müsaadeli aşırı menzil karşıdan açtırma = POTT veya kilitleme tertipleri, ayrı aşırı menzil kademesi veya yön başlatma ile)
- Pilot kablo karşılaştırması / ters kilitleme (lokal bağlantılar veya aşırı kısa hatlar için doğru

gerilim ile)

- Seçimli olarak, cihazlar arasında sinyal alışverişi, özel iletişim hatları (genellikle optik fiberler) veya bir iletişim ağı üzerinden yapılabilir. Sayısal iletim ile, iki ve üç uçlu hatlarda faz-ayrımli iletim, iletişim yollarının sürekli izlenmesi ve sinyal yayılım gecikmesinin çalışma sırasında otomatik olarak düzeltilmesi mümkün
- Topraklı sistemlerde yüksek dirençli toprak arızaları için, en fazla üç sabit zaman (DT) ve bir ters zaman (IDMT) kademesi ile zamanlı aşırı akım koruma
- Ters zamanlı koruma için, birkaç standarda dayalı değişik karakteristikler arasında bir seçim yapılabilir
- Ters zaman kademesi, dördüncü sabit zaman kademesi olarak ayarlanabilir
- Yüksek duyarlık (sürüme bağı olarak, 3 mA'den itibaren)
- Akım trafosu doymaları sırasında arıza akımlarına karşı faz akım tutuculuğu
- İkinci harmonik devreye girme tutuculuğu
- Seçimli olarak faz-faz veya faz-toprak ölçülen gerilimler ile farklı kademelerle aşırı gerilim ve düşük gerilim tespiti
- Faz-toprak gerilimler için, iki aşırı gerilim kademesi
- Faz-faz gerilimler için, iki aşırı gerilim kademesi
- Pozitif bileşen gerilimi için, seçimli olarak kompondlamalı iki aşırı gerilim kademesi
- Negatif bileşen gerilimi için, iki aşırı gerilim kademesi
- Sıfır bileşen gerilimi veya herhangi bir bir-faz gerilim için, iki aşırı gerilim kademesi
- Aşırı gerilim koruma fonksiyonları için ayarlanabilir bırakma/başlatma oranları
- Faz-toprak gerilimler için, iki düşük gerilim kademesi
- Faz-faz gerilimler için, iki düşük gerilim kademesi
- Pozitif bileşen gerilimi için, iki düşük gerilim kademesi
- Düşük gerilim koruma fonksiyonları için ayarlanabilir akım ölçütü
- Bağımsız olarak ayarlanabilen 4 frekans sınırı ve gecikme zamanı ile düşük frekansın($f <$) ve/veya aşırı frekansın ($f >$) izlenmesi
- Faz açısı değişimlerine duyarsız
- Geniş frekans aralığı (yaklaşık 25 Hz - 70 Hz).
- Açma komutu ile veya başlatmanın resetlenmesi ile başlatma
- Özel ölçülen değer yazmaçları ile arıza yerinin hesaplanması
- Ohm, km veya mil cinsinden ve hattın yüzdesi olarak arıza yerinin çıktısı
- Paralel hat denkleştirme seçilebilir.

3.4 Arıza Başlatma

Arıza tespiti fonksiyonu, güç sistemindeki bir arıza durumunu tespit etme ve bu arızayı seçici olarak temizlemek için gerekli işlemleri başlatma görevlerini yerine getirir:

1. Yönlü ve yönsüz başlatma kademelerinin gecikme zamanlarının başlatılması,
2. Arızalı döngünün/döngülerinin tespiti, empedans hesaplaması ve yön tespiti,
3. Açma komutunun üretilmesi,
4. Yardımcı fonksiyonların başlatılması, arızalı fazların belirlenmesi/ihbarı

7SA6 mesafe koruma rölesi çeşitli başlatma modlarına sahiptir ve sistem koşulları için bunlardan en uygun olanı seçilebilir. Bu tip başlatma dolaylı olarak çalışır, yani mesafe kademelerinin biri başlatma alırmaz yukarıda bahsedilen işlemler otomatik olarak gerçekleştirilir. Bunlar:

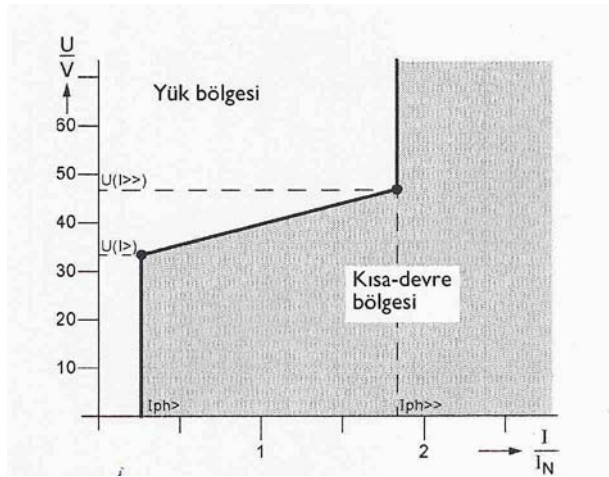
1. Aşırı akım başlatma
2. Gerilime bağlı akım başlatma
3. Gerilim ve açıya bağlı akım başlatma
4. Empedans başlatma

3.4.1 Aşırı Akım Başlatma

Aşırı akım başlatma, faz seçicili bir başlatma yöntemidir. Sayısal süzgeçleme sonrası, faz akımlarının bir ayar eşiğini aşp aşmadığı izlenir. Ayar eşiği aşıldığında, arızalı fazlara ilişkin bir ihbar verilir. Topraksız güç sistemlerinde toprak arızası tespiti olmaksızın bir-faz başlatma için, her zaman faz-faz döngüsü seçilir. Başlatma alan fazlar ihbar edilir. Eğer bir toprak arızası da tespit edilmişse bu da ihbar edilir. Sinyal başlatma değerinin % 95'inin altına düştüğünde başlatma bırakır.

3.4.2 Gerilime Bağlı Akım Başlatma U/I

U/I başlatma, döngü bilgilerini değerlendiren faz seçmeli bir başlatma modudur. Faz akımları için başlatma eşiğinin aşılması önemlidir. Başlatma değeri, döngü geriliminin büyüklüğüne bağlıdır. U/I başlatmanın temel karakteristikleri, Şekil 3.3'de akım-gerilim karakteristiğinden görülebilir. Herhangi bir fazın başlatma alması için ilk koşul, o faz için $I_{ph>}$ minimum akımın aşılmış olmasıdır. Faz-faz döngülerin değerlendirilmesi için, ilgili faz akımlarının her ikisinin de bu değeri aşmış olması gerekir. Bu akımın üstünde, akım başlatma, gerilime bağlıdır ve başlatma karakteristiği $U(I>)$ ve $U(I>>)$ ayarları ile tanımlanmış bir eğimdir. Büyük arıza akımlarında, $I_{ph>>}$ aşırı akım başlatma uygulanır. Şekil 3.3 'deki kalın çizgiler akım/gerilim karakteristiğinin biçimini belirleyen ayarları gösterir. Başlatma alan fazlar ihbar edilir. Başlatma almış döngülere ilişkin ölçülen değerler işlenir. Sinyal ilgili akım değerinin % 95'inin altına düştüğünde veya ilgili gerilim değerinin yaklaşık % 105'ini aştığında döngü başlatması bırakır.



Şekil 3.3 U/I karakteristiği. Kaynak : Siemens, (2003), “7SA6 Distance Protection Relay Manual”, Germany.

3.4.3 Gerilim ve Açıya Bağlı Akım Başlatma U/I/φ

Faz açısı denetimli U/I başlatma U/I karakteristiğinin artık, yük ve kısa-devre koşullarını birbirinden güvenilir olarak ayırt edemediği durumlarda uygulanabilir. Bu durum, küçük kaynak empedansları ile birlikte uzun hatlarda veya bir sıra hat ve ara besleme olduğunda meydana gelir. Bu durumda, hat ucunda veya mesafe korumanın yüksek (artçı) kademelerinin

menziline bir kısa-devre durumunda lokal ölçülen gerilimde çok küçük bir düşüş olacağı için, arıza tespiti için ek bir ölçüt olarak akım ve gerilim arasındaki açının kullanılması gerekir.

U/I başlatma, döngü bilgilerini değerlendiren faz seçmeli bir başlatma modudur. Faz akımları için başlatma eşiğinin aşılması önemlidir. Başlatma değeri, döngü geriliminin büyüklüğüne ve akım ve gerilim arasındaki açığa bağlıdır. Faz-faz açılarını ölçmek için bir önkoşul, ilgili faz akımlarının ve döngüye ait akım farkının ayarlanabilir bir $I_{ph} >$ minimum değerini aşmış olmasıdır. Açık, faz-faz gerilim ve ilgili akım farkı ile belirlenir.

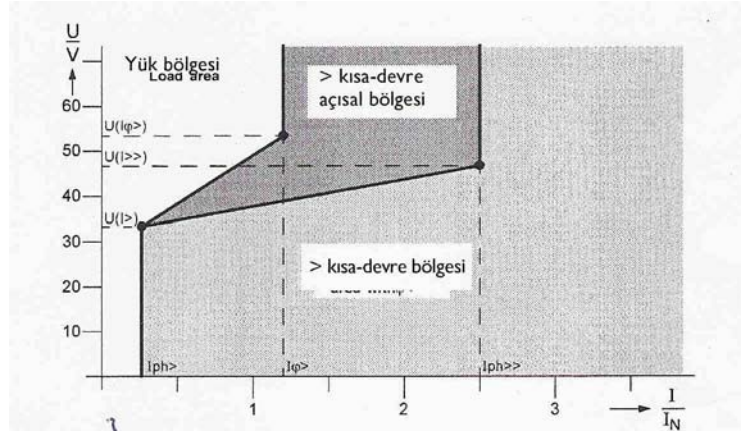
Faz-toprak açısını ölçmek için bir önkoşul, ilgili faz akımının ayarlanabilir bir $I_{ph} >$ minimum değerini aşmış olması ile birlikte toprak arızasının tespit edilmiş olması veya ayar parametreleri ile sadece faz-toprak ölçümlerinin şart koşulmasıdır. Açık, faz-toprak gerilimi ve -toprak akımı dikkate alınmaksızın- ilgili faz akımı ile belirlenir.

U/I/φ başlatmanın temel karakteristikleri Şekil 3.4'de akım-gerilim karakteristiğinden

görülebilir. Karakteristik, başlangıçta U/I başlatma karakteristiğine Şekil 3.3'e benzer biçimdedir.

Büyük faz farkının olduğu bölgedeki açılar için, yani $\phi >$ eşik açısının üzerindeki kısa-devre açısız bölgesinde, aynı zamanda $U(I >)$ ve $U(I\phi >)$ arasındaki karakteristik etkindir. Eğri $I\phi >$ aşırı akım kademesi ile kesilir. Şekil 3.4'deki kalın çizgiler akım/gerilim karakteristiğinin biçimini belirler. Açığa bağlı bölge, yani Şekil 3.4'deki karakteristiğin kısa-devre açısı içerisindeki bölge, ileri yönde (hat yönünde) veya her iki yönde etkin olacak şekilde ayarlanabilir.

Sinyal ilgili akım değerinin % 95'inin altına düştüğünde veya ilgili gerilim değerinin yaklaşık %105 'ini aştığında döngü başlatması bırakır. Başlatma programları, farklı güç sistemi koşullarına uyumu sağlar. U/I/φ başlatma, U/I başlatmanın genişletilmiş bir biçimi olduğu için, aynı program seçenekleri kullanılır.



Şekil 3.4 U/I/φ karakteristiği . Kaynak : Siemens, (2003), “7SA6 Distance Protection Relay Manual”, Germany.

3.5 Empedansların Hesaplanması

Olası 6 empedans döngüsü L1-E, L2-E, L3-E, L1-L2, L2-L3 ve L3-L1’in her birisi için ayrı bir ölçme sistemi mevcuttur.

Faz-faz döngüler

Faz-faz döngüsünü hesaplamak için, örneğin bir iki faz L1-L2 kısa devresini ele alalım (şekil 3.5). Döngü denklemi,

$$I_{L1}.Z_L - I_{L2}.Z_L = U_{L1-E} - U_{L2-E} \quad (3.1)$$

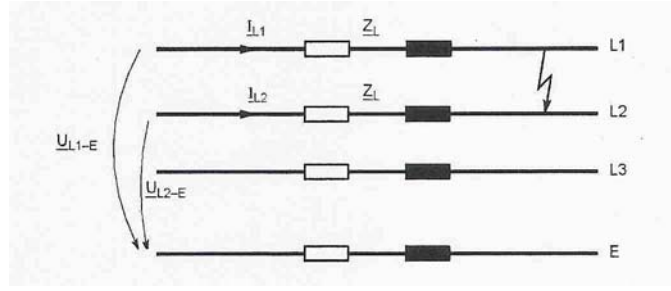
Burada,

U ve I ölçülen büyüklükler

$Z_L = R+jX$ hat empedansı

$$Z_L = (U_{L1-E} - U_{L2-E}) / (I_{L1} - I_{L2}) \quad (3.2)$$

Olarak hesaplanır.



Şekil 3.5 Bir faz-faz kısa-devre döngüsü. Kaynak : Siemens, (2003), “7SA6 Distance Protection Relay Manual”, Germany.

Faz-toprak döngüler

Bir faz-toprak döngüsünün, örneğin bir L3-E kısa devresi sırasında (şekil 3.6) hesabı için, toprak dönüş yolu empedansının faz empedansının karşılığı olmadığı göz önünde tutulmalıdır. Döngü denkleminde,

$$I_{L3} \cdot Z_L - I_E \cdot Z_E = U_{L3-E} \quad (3.3)$$

Z_E yerine $(Z_E/Z_L) \cdot Z_L$ konursa,

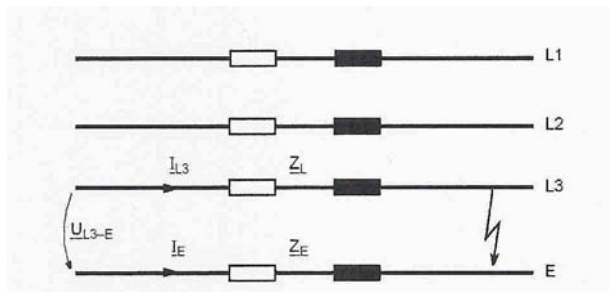
$$I_{L3} \cdot Z_L - I_E \cdot Z_L \cdot (Z_E/Z_L) = U_{L3-E} \quad (3.4)$$

Bulunur,

Buradan hat empedansı:

$$Z_L = (U_{L3-E}) / (I_{L3} - Z_E/Z_L \cdot I_E) \quad (3.5)$$

Bulunur.



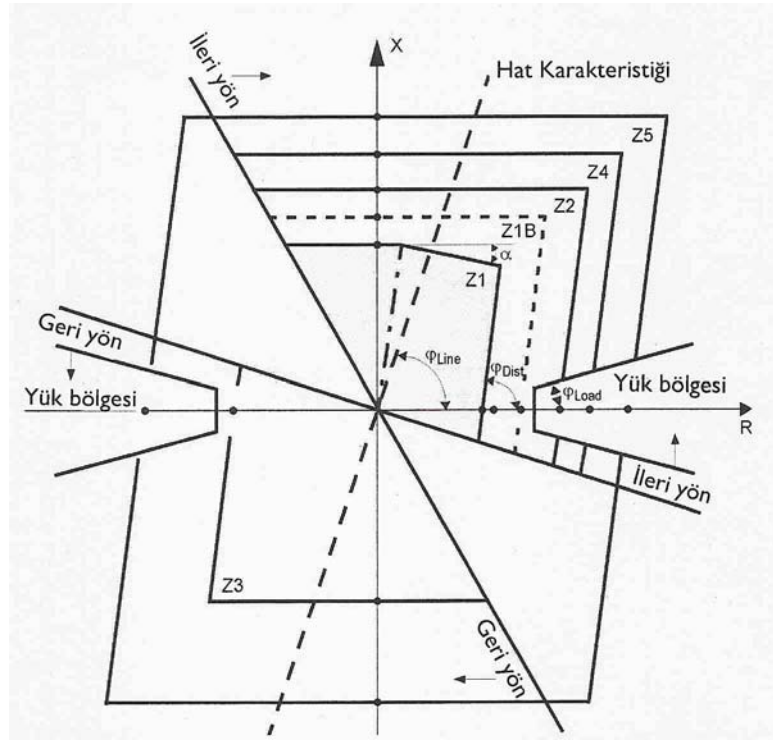
Şekil 3.6 Bir faz-toprak kısa-devre döngüsü. Kaynak : Siemens, (2003), “7SA6 Distance Protection Relay Manual”, Germany.

3.6 Poligonal Karakteristikli Mesafe Koruma

Her bir arıza empedans döngüsü için, toplam olarak beş bağımsız ve ek bir denetimli kademe mevcuttur. Şekil 3.7'de, poligonların şekli örnek olarak gösterilmiştir. Birinci kademe gölgeli olarak gösterilmiş olup ileri yöndedir. Üçüncü kademe geri yönde seçilmiştir.

Poligon, genel olarak koordinat eksenlerini R ve X değerleri ile kesen ve ϕ_{Mes} eğim açısına sahip bir paralelkenar ile tanımlanır. Yük empedansı bölgesini poligondan ayırmak için, $R_{Yük}$ ve $\phi_{Yük}$ ayarlarına sahip bir yük trapezoidi kullanılabilir. Eksen koordinatları, her bir kademe için ayrı ayrı ayarlanabilir. Eğim açısı ϕ_{Mes} ve yük empedansı parametreleri $R_{Yük}$ ve $\phi_{Yük}$, bütün kademeler için ortaktır. Paralelkenar, R-X koordinat sisteminin orijinine göre simetriktir. R-menzili, toprak arızaları için daha büyük bir arıza direnci kapsamı elde etmek için, istenirse faz-faz ve faz-toprak arızalar için ayrı olarak ayarlanabilir.

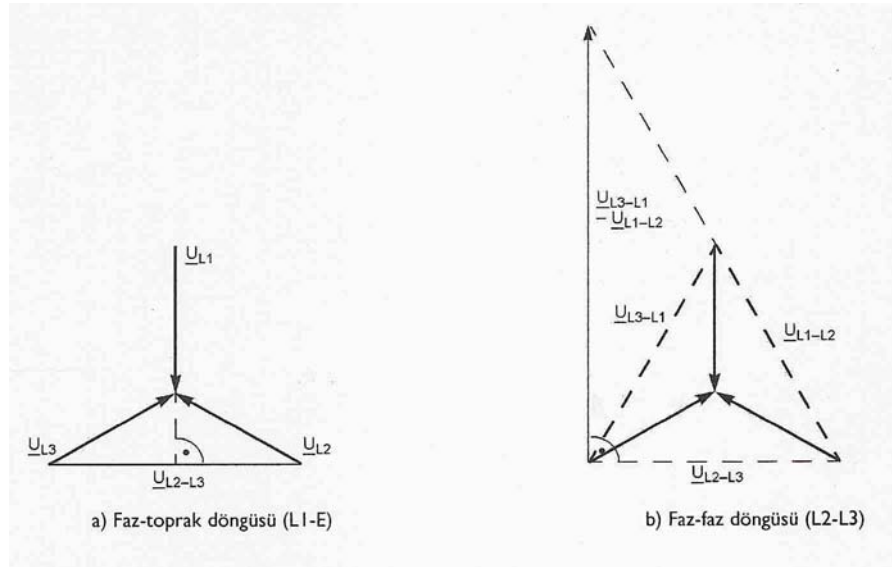
Birinci kademe Z1 için, açı değişikliğinden ve/veya her iki taraftan ortak arıza direnci üzerinden kısa-devreleri beslemeden dolayı meydana gelebilecek aşırı menzil ölçüm hatalarını önlemek için, ayarlanabilir ek bir eğimi mevcuttur. Z1B ve daha yüksek kademeler için, bu eğim mevcut değildir.



Şekil 3.7 Poligonal karakteristik . Kaynak : Siemens, (2003), “7SA6 Distance Protection Relay Manual”, Germany.

3.7 Yön Tespiti

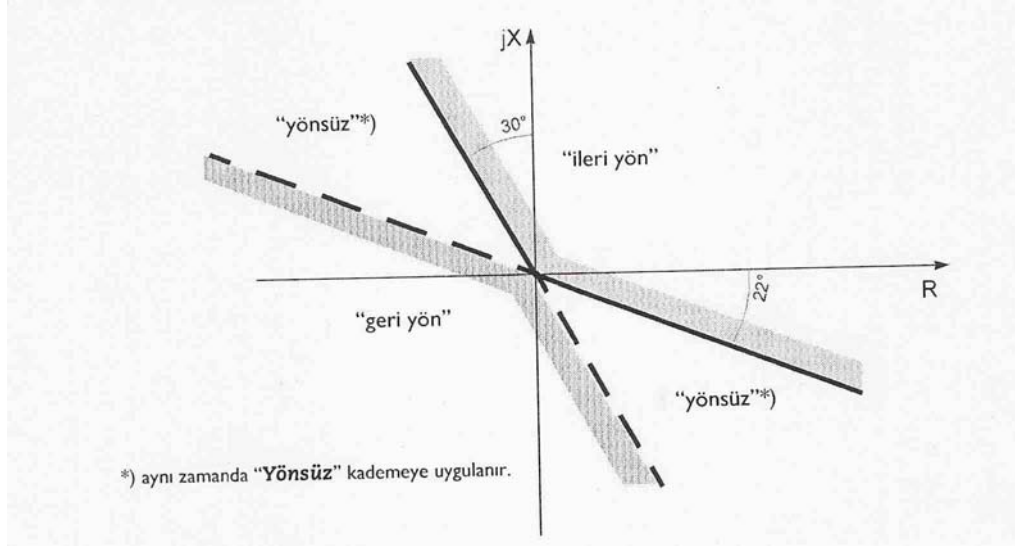
Her bir döngü için, kısa-devrenin yönünü tespit etmek için ayrıca bir empedans vektörü kullanılır. Genellikle, mesafe hesabı için Z_L kullanılır. Bununla birlikte, ölçülen değerlerin niteliğine bağlı olarak, değişik hesaplama teknikleri kullanılır. Arıza başlangıcının hemen ardından, transiyentler ile kısa-devre gerilimi bozulur/yayılır. Dolayısıyla; bu durumda arıza başlangıcı öncesi belleğe alınmış gerilim kullanılır. Eğer (çok yakın arızalar sırasında) kalıcı-durum kısa-devre gerilimi, yön tespiti yapılamayacak kadar çok küçük ise, bir arızasız gerilimle yön tespiti yapılır. Bu gerilim, teorik olarak hem faz-toprak ve hem de faz-faz döngüleri için gerçek kısa-devre gerilimine diktir, şekil 3.8'de gösterilmiştir. Bundan dolayı, yön vektörü hesaplanırken gerilim 90 döndürülür.



Şekil 3.8 Dik faz gerilimlerle yön tespiti. Kaynak : Siemens, (2003), “7SA6 Distance Protection Relay Manual”, Germany.

Eğer yön ölçümü için yeterli büyüklükte ne bir ölçülen gerilim ne de bir belleğe alınmış gerilim mevcutsa, röle Forward (ileri) yönü seçer. Pratik olarak, bu durum, enerjisiz bir hat üzerine kesici kapatıldığında bu hatta da bir kısa-devre mevcutsa (örneğin hat topraklı ise) meydana gelir. Şekil 3.9'da, teorik kalıcı-durum yön karakteristiği görülmektedir. Belleğe alınmış gerilimler kullanıldığında, yön karakteristiğinin konumu, hem kaynak empedansına hem de arıza öncesi hattan iletilen yüke bağlıdır. Her bir kademe Forward (ileri yön), Reverse (geri yön) ve Non-Directional (yönsüz) olarak ayarlanabildiği için, ileri ve geri yön için farklı (merkezi olarak aksedilmiş) yön karakteristikleri mevcuttur. Yönsüz bir kademe, şüphesiz bir

yön karakteristiğine sahip değildir. Burada, açma bölgesinin tamamı uygulanır.

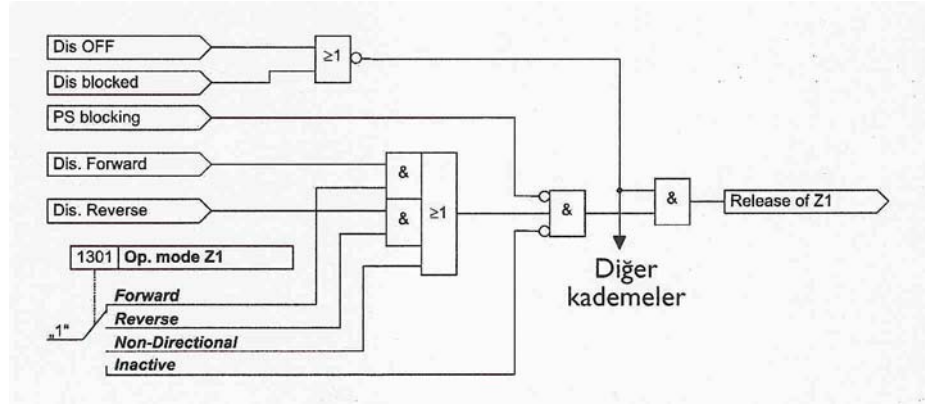


Şekil 3.9 R-X koordinat ekseninde yön karakteristiği . Kaynak : Siemens, (2003), "7SA6 Distance Protection Relay Manual", Germany.

3.8 Başlatma ve Poligonlara Atama

Empedans başlatma kullanıldığında, hesaplanan döngü empedansları, yine mesafe koruma için ayarlanan kademe karakteristiklerine atanır. Ancak bu defa açık bir başlatma sorgulaması yapılmaz. Mesafe korumanın başlatma bölgesi, ilgili yön dikkate alınarak, ayarlanan en büyük poligonun eşiklerinden belirlenir. Burada, döngü bilgileri ayrıca arızalı faz bildirimlerine dönüştürülür.

"Başlatma" sinyalleri, her bir kademe için üretilir ve faz bilgilerine, örneğin Z1 kademesi ve L1 fazı için "Dis.ZI LI E" (dahili sinyal) dönüştürülür. Bu, her bir fazın ve kademenin ayrı bir başlatma bilgisi ile sağlanacağı anlamına gelir. Bilgi, daha sonra kademe mantığı ve ek fonksiyonlar (örneğin telekoruma mantığı) tarafından işlenir. Döngü bilgisi, ayrıca faz-ayrım lı bilgilere dönüştürülür. Bir kademenin "başlatması" için diğer koşullar, arıza yönünün bu kademe için ayarlanan yöne karşılık olması ve bu kademenin güç salınım tarafından kilitlenmemiş olmasıdır. Ayrıca; mesafe koruma, kilitlenmiş veya tamamen devreden çıkarılmış olmamalıdır. Şekil 3.10'da tüm bu koşullar gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Bir kademe için müsaade mantığı (Z1 için örnek) . Kaynak : Siemens, (2003), “7SA6 Distance Protection Relay Manual”, Germany.

3.9 Kademe Koordinasyon Planı

Elektriksel olarak birbirine bağlı tüm şebeke için kapsamlı bir kademe koordinasyon planı yapılmalıdır. Bu, ohm/km olarak X primer reaktanslarıyla, hat uzunluklarını yansıtmalıdır. Mesafe kademelerinin menzilleri için, X reaktansları belirleyici büyüklüktür. Her bir mesafe kademesi için, ilgili parametreler ayarlanır. X -reaktansı, ilgili kademenin menzilini belirtir. R -direnci, hat ve arıza dirençleri için müsaade edilen sınırları belirtir ve faz-faz ve faz-toprak arızalar için ayrı olarak ayarlanabilir. Böylece; örneğin faz toprak arızalar için daha yüksek bir arıza yolu direnci seçilebilir.

Normalde; birinci kademe $Z1$, herhangi bir açma gecikmesi olmaksızın (yani $T1 = 0.00$ s), korunan hattın % 85'ini koruyacak şekilde ayarlanır. Koruma, bu kademe menzili içerisindeki arızaları, ek zaman gecikmesi olmaksızın, kendi doğal çalışma zamanı içerisinde temizler.

Daha yüksek kademeler için, ilgili açma zamanları, art arda bir kademe aralığı kadar artırılır. Kademe zaman aralığı, toleransıya birlikte kesici çalışma zamanını, koruma rölesinin reset olma süresini ve kademe zamanlarının tolerans sınırlarını kapsar. Normalde kademeler arasında 0.2 - 0.4 s zaman farkı yeterlidir.

3.10 Direnç Toleransı

R direnç ayarı, arıza yerinde ek bir direnç olarak gözüken ve arıza direnci için bir pay sağlar. Bu değer, hat iletkenlerinin empedanslarına eklenir. Bu direnç, ark direncini, arıza

noktalarının toprak dağılım direncini, direk adım direncini ve benzeri dirençleri kapsar. Ayar yapılırken bütün bu dirençler göz önünde bulundurulmalı, ancak kesinlikle gerekenden büyük olmamalıdır. Uzun, aşırı yüklü hatlarda, ayar, yük empedansı bölgesine uzanabilir. Bu durumda; aşırı yük koşullarında başlatma, yük trapezoidi ile önlenmelidir. Direnç toleransı, faz-faz ve faz-toprak arızalar için ayrı ayrı ayarlanabilir. Bu sayede, örneğin toprak arızaları için daha büyük bir arıza direncinin ayarlanması mümkün olur. Havai hatlarda bu ayar için en önemli husus, ark direncidir. Kablolarda fark edilecek derecede bir ark oluşmaz. Ancak, çok kısa kablolarda, bir lokal kablo başlığındaki ark arızasının, birinci kademenin ayar direnci içerisinde olması gerekir.

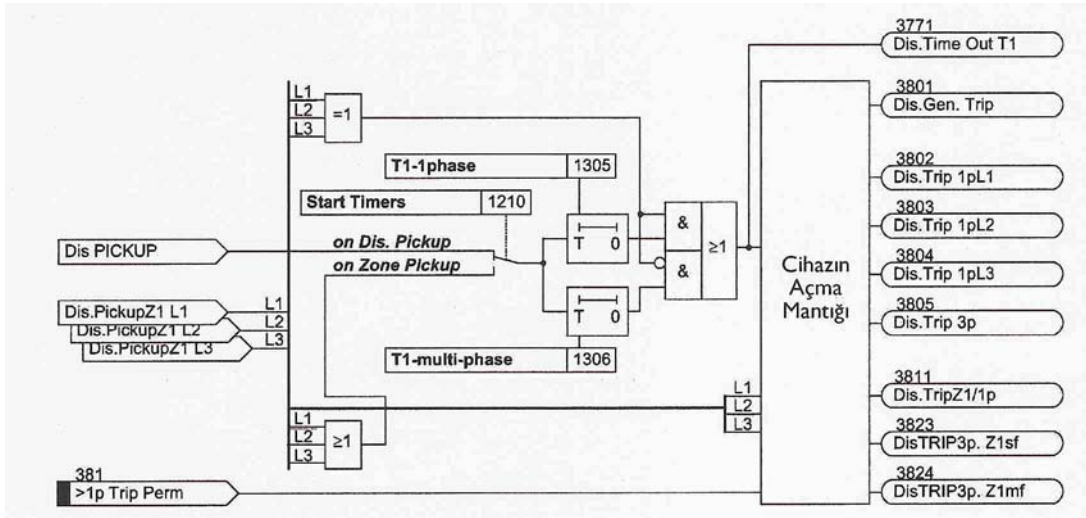
3.11 Mesafe Korumanın Açma Mantığı

I, U/I, U/I/φ başlatma için koşullardan biri karşılanır karşılanmaz başlatma sonrası "Dis. PICKUP" (mesafe koruma fonksiyonunun genel başlatma) sinyali üretilir. Empedans başlatma kullanıldığında, mesafe koruma kademelerinden herhangi biri, arızanın kesinlikle kendi açma bölgesi içinde olduğunu belirler belirlemez, "Dis. PICKUP" sinyali (mesafe koruma fonksiyonunun genel başlatması) üretilir. "Dis. PICKUP" sinyali, ihbar edilir ve dahili ve harici yardımcı fonksiyonların (örneğin telekoruma sinyal iletimi, otomatik tekrar kapama) başlatması için hazır durumdadır.

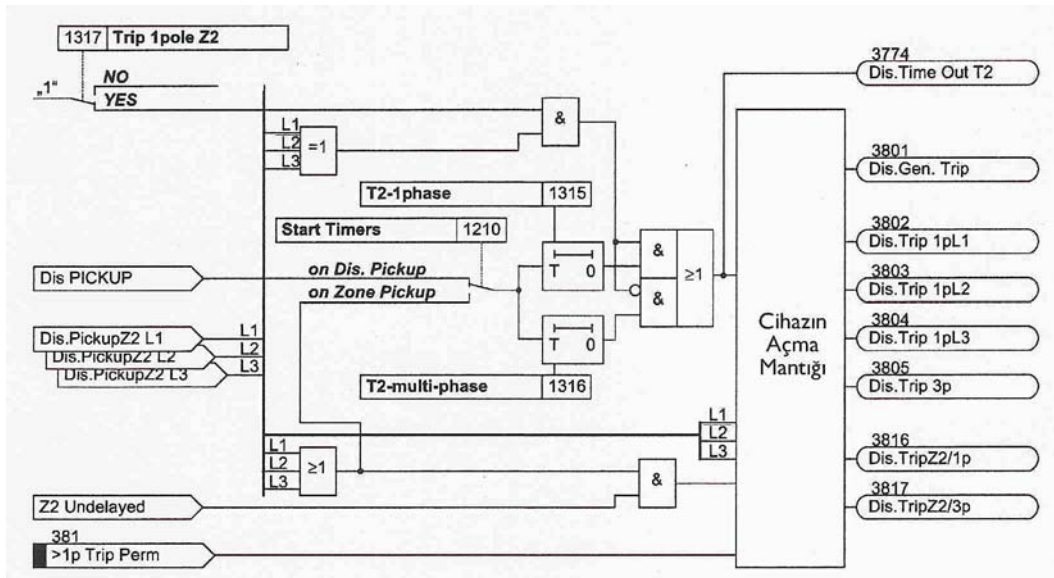
Önceki bölümlerde ölçme tekniğinin açıklamasında bahsedildiği gibi, her bir mesafe kademesi, kademeye ve etkilenen faza ilişkin bir çıkış sinyali üretir. Kademe mantığı, bu kademe başlatmalarını, olası diğer dahili ve harici sinyallerle birleştirir. Mesafe kademelerinin gecikme zamanları, ya mesafe koruma fonksiyonunun genel başlatması ile birlikte ya da bağımsız olarak ilgili mesafe kademesinin başlatması ile başlatılabilir. Başlatma Zamanları parametresi, mesafe koruma başlatması olarak önayarlıdır. Bu ayar, örneğin bir ara beslemenin devreden çıkması ile arıza tipinin veya seçilen ölçme döngüsünün değişmesi durumunda bile, bütün kademe gecikme sürelerinin saymaya devam etmelerini sağlar. Şebekedeki diğer mesafe koruma röleleri bu zaman başlatma düzenini kullandıklarında da bu ayar tercih edilir. Z1 için Şekil 3.11'de, Z2 için Şekil 3.12'de, Z3 için Şekil 3.13'de ve son olarak Z4 ve Z5 kademe fonksiyonları için Şekil 3.14 'de gösterilmiştir.

Bir-kutup açma seçeneğini içeriyorsa; Z1, Z2 ve Z1B kademeleri ile, bir faz arızalar için bir-kutup açma mümkündür. Dolayısıyla; olay çıkışları, bu durumlarda her bir kutup için sağlanır. Bu kademelerde, bir fazlı ve çok fazlı arızalar için ayrı açma gecikme zamanları

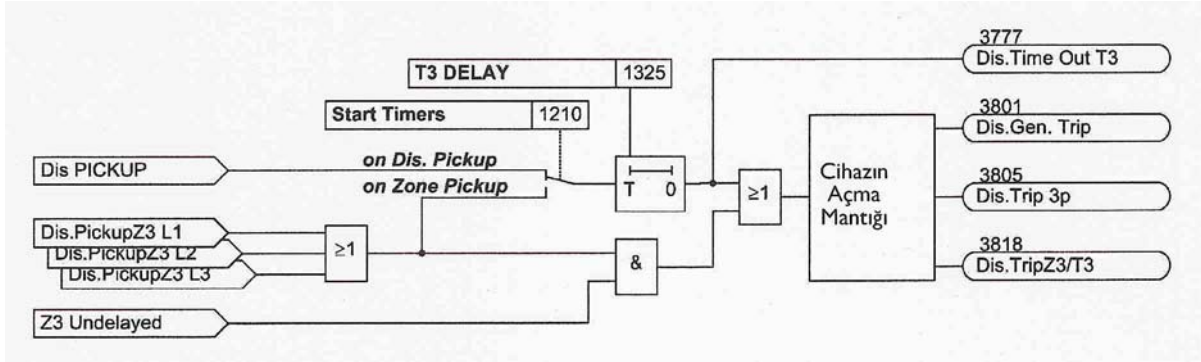
ayarlanabilir. Çok fazlı arızalar ve diğer kademelerdeki arızalar için, açma her zaman üç-kutuptur.



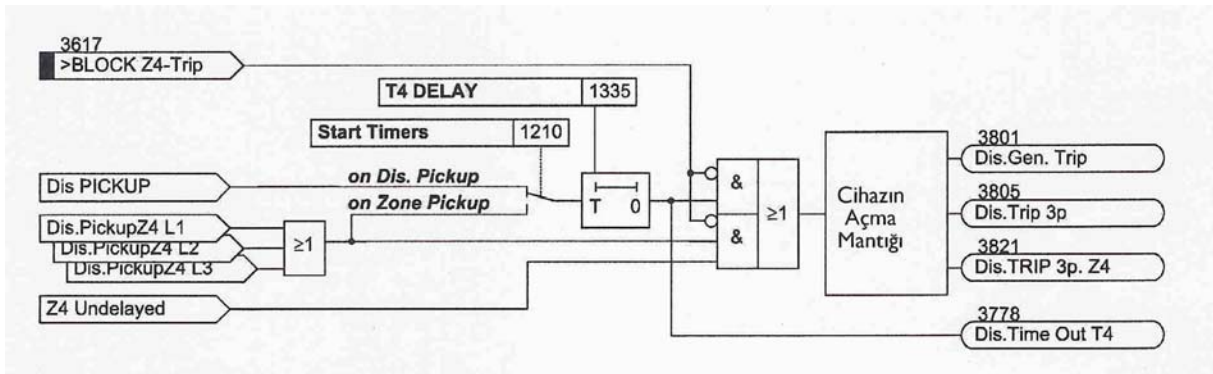
Şekil 3.11 Birinci kademe için açma mantığı (Z1) . Kaynak : Siemens, (2003), “7SA6 Distance Protection Relay Manual”, Germany.



Şekil 3.12 İkinci kademe için açma mantığı (Z2) . Kaynak : Siemens, (2003), “7SA6 Distance Protection Relay Manual”, Germany.



Şekil 3.13 Üçüncü kademe için açma mantığı (Z3) . Kaynak : Siemens, (2003), “7SA6 Distance Protection Relay Manual”, Germany.



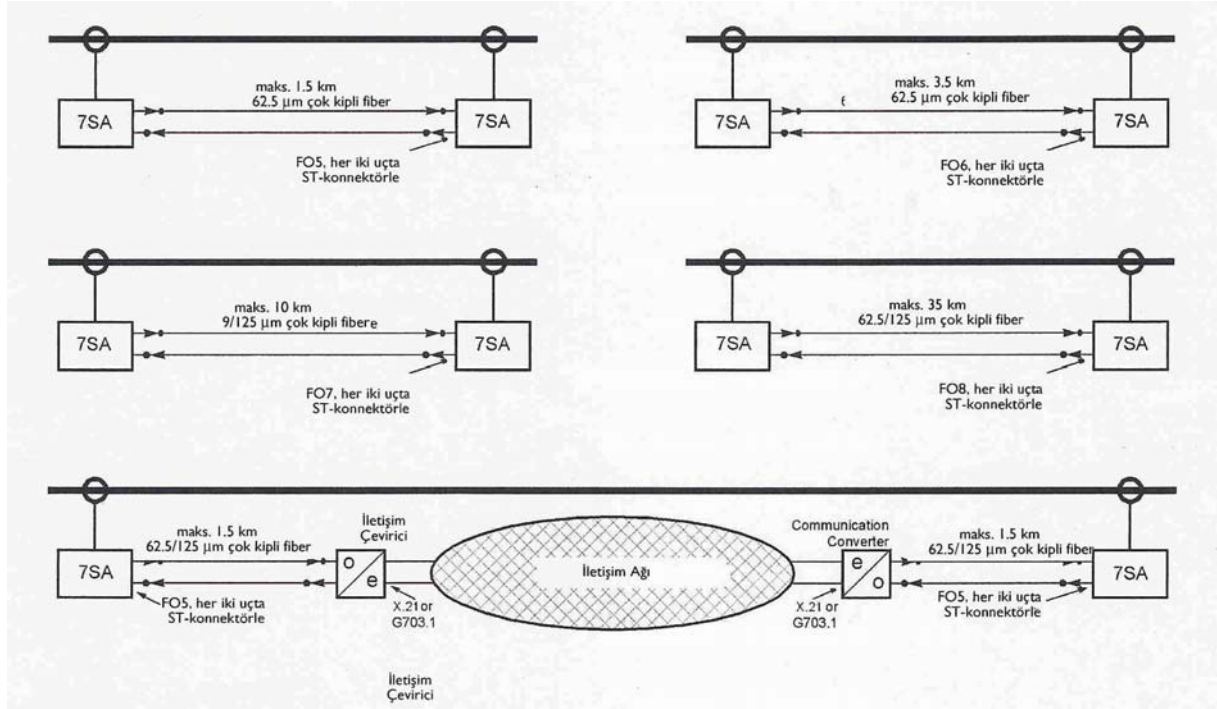
Şekil 3.14 Dördüncü ve beşinci kademe için açma mantığı (Z4,Z5) . Kaynak : Siemens, (2003), “7SA6 Distance Protection Relay Manual”, Germany.

3.12 İletişim Topolojisi

% 100 ani korumayı sağlamak için bir telekoruma tertibinin kullanıldığı hatlarda , cihazlar arasında veri iletimi için sayısal iletişim kanalları kullanılabilir. Koruma verilerine ilave olarak, diğer veriler de iletilebilir ve böylelikle hat uçlarında bu veriler kullanılabilir. Bu veriler, eşzamanlama ve topoloji verileri, karşıdan açtırma sinyalleri, karşıya gönderilen ihbar sinyalleri ve ölçülen değerlerdir. Koruma verileri iletişim sisteminin topolojisi, korunan teçhizatın uçlarında bulunan cihazlar ile bu cihazların koruma verileri arayüzlerine tahsis edilen iletişim kanallarından oluşmuştur. İletişim, doğrudan optik fiber bağlantılarla veya iletişim ağları üzerinden yapılabilir. Hangi tür iletim aracının kullanılacağı, mesafeye ve mevcut iletişim aracına bağlıdır. Kısa mesafeler için, 512 kBit/s'lik bir iletim hızına sahip optik fiberler üzerinden doğrudan bağlantı mümkündür. Daha yüksek hızlar için, iletişim

dönüştürücülerinin kullanılması önerilir. Modem ve iletişim ağları üzerinden bir iletim de gerçekleştirilebilir. Koruma verileri iletişiminin tepki sürelerinin iletimin kalitesine bağlı olduğu ve iletim kalitesi düştükçe ve/veya veri iletiminin süresinin arttıkça bu tepki sürelerinin de uzayacağı dikkate alınmalıdır.

Şekil 3.15'te iletişim bağlantıları için bazı örnekler verilmiştir. Doğrudan bağlantı durumunda, iletim mesafesi, kullanılan optik fiberin tipine bağlıdır.



Şekil 3.15 İletişim bağlantıları için örnekler. Kaynak : Siemens, (2003), “7SA6 Distance Protection Relay Manual”, Germany.

3.13 Mesafe Koruma İçin Telekoruma

Korunan hatta mesafe korumanın birinci kademesi dışında meydana gelen arızalar, cihaz tarafından, seçici olarak ancak bir gecikme süresi sonrası temizlenebilir. Ayrıca, en küçük duyarlı mesafe ayarından daha kısa hat bölümlerinde de yine arızalar seçici olarak ani temizlenemez. % 100 hat uzunluğunda bütün arızalar için gecikmesiz seçici açmayı gerçekleştirmek için, mesafe koruma, sinyal iletim tertipleri vasıtasıyla karşı hat ucu ile bilgi alışverişinde bulunabilir ve bu bilgileri işleyebilir. Bu amaçla; cihaz, sinyal gönderme çıkışlarına ve sinyal alma girişlerine ve bunlara eşlik eden mantık fonksiyonlarına sahiptir. Bu, alma ve gönderme kontakları kullanarak klasik bir yöntemle yapılabilir. Bir seçenek

olarak; daha önceden de açıklandığı gibi sinyal iletimi için sayısal iletişim hatları kullanılabilir.

Düşük menzil ve aşırı menzil tertipleri arasında bir ayrım yapılır.

Düşük menzil tertiplerinde, koruma, normal zaman koordinasyonuna uygun bir karakteristikte ayarlanır. Eğer birinci kademedede bir açma komutu verilmişse, bir iletim kanalı üzerinden diğer hat ucu da bu bilgiyi alır. Karşı uçta, alınan sinyal, ya Z1B aşırı menzil kademesini etkinleştirerek ya da doğrudan bir açtırma komutu ile bir açma başlatır.

7SA6, şunlara müsaade eder:

- PUTT (Başlatma)
- Kademe hızlandırmalı müsaadeli düşük menzil karşıdan açtırma Z1B (PUTT) .
- Doğrudan düşük menzil karşıdan açtırma (DUTT)

Aşırı menzil tertiplerinde, koruma, başlangıçta hızlı bir aşırı menzil kademesi ile başlatma alır. Karşı uç da aşırı menzil kademesi içerisinde bir başlatma almışsa, ancak o zaman bu kademe bir açmayı başlatabilir. Bir müsaade (kilit çözme) sinyali veya bir kilit sinyali iletilebilir. Aşağıdaki telekoruma tertipleri arasında bir ayrım yapılır:

Müsaadeli tertipler:

- (Z1B aşırı menzil kademesi ile) Müsaadeli aşırı menzil karşıdan açtırma (POTT) .
- Yön karşılaştırması
- Z1B aşırı menzil kademesi ile kilit çözme

Kilitlemeli tertip:

- Z1B aşırı menzil kademesi ile kilit çözme

Pilot kablo üzerinden tertipler:

- Pilot kablo karşılaştırması
- Ters kilitleme

Z1 ... Z5 kademeleri (Z1B kademesi hariç) bağımsız olarak çalıştıkları için, Z1 kademesinde bir müsaade veya kilitleme sinyali olmaksızın ani açma her zaman mümkündür. Eğer Z1 kademesinde hızlı açma istenmiyorsa (örneğin çok kısa hatlar için), bu durumda Z1 kademesi açması T zamanı ile geciktirilmelidir.

3.14 Otomatik Tekrar Kapama

Havai hatlarda arklı arızaların yaklaşık % 85'inin koruma tarafından arıza temizlendikten sonra otomatik olarak sönmüldüğü tecrübelerle kanıtlanmıştır. Bu hattın tekrar kapatılabileceğini göstermektedir. Tekrar kapama, bir otomatik tekrar kapama fonksiyonu (AR) ile gerçekleştirilir. Otomatik tekrar kapamaya sadece hatlarda müsaade edilir. Çünkü arıza arkının kendiliğinden sönmülmesi sadece havai hatlarda olmaktadır. Başka bir durumda kullanılmamalıdır. Eğer korunan nesne, havai hat ile birlikte başka bir teçhizatı da kapsıyorsa (örneğin havai hat doğrudan bir trafoya bağlanmışsa veya havai hat/kablo); ancak havai hat bölümünde bir arıza olması durumunda tekrar kapamanın yapılabilmesi temin edilmelidir. Eğer kesici kutupları birbirinden bağımsız olarak açma yapabiliyorsa; yıldız-noktası topraklı şebekelerde, genellikle bir fazlı arızalar için bir-kutup otomatik tekrar kapama ve çok fazlı arızalar için üç-kutup otomatik tekrar kapama başlatılır. Eğer otomatik tekrar kapama sonrası arıza hala sürüyorsa (ark sönmülmemiş, metalik bir temas var), bu durumda koruma elemanı kesiciyi tekrar açtırır. Bazı sistemlerde birkaç tekrar kapama denemesi yapılabilmektedir. Bir-kutup açmalı bir modelde, 7SA6 faz-seçimli, bir-kutup açmaya müsaade eder. Sipariş edilen sürüme bağlı olarak, bir ve üç-kutup, tek ve çok-vurumlu otomatik tekrar kapama fonksiyonu mevcuttur.

7SA6, harici bir otomatik tekrar kapama fonksiyonu ile birlikte de çalışabilir. Bu takdirde, 7SA6 ile harici tekrar kapama rölesi arasındaki sinyal alışverişi ikili giriş ve çıkışlar üzerinden gerçekleştirilmelidir. Dahili otomatik tekrar kapama fonksiyonunu, harici bir koruma (örneğin ikinci koruma) tarafından kullanılması da mümkündür. İki 7SA6 ile otomatik tekrar kapama fonksiyonunun birlikte kullanılması veya 7SA6'nın ve ikinci korumanın kendi otomatik tekrar kapama fonksiyonlarını ayrı ayrı kullanmaları seçenekleri de mümkündür.

3.15 Arıza Yeri Tespiti

Bir arızanın mesafesinin ölçülmesi, koruma fonksiyonları için önemli bir özelliktir. Sistem içerisinde güç iletimi için bir hattın kullanılabilirliği, arıza yerinin hızlı olarak tespit edilerek arızanın kısa sürede temizlenmesi ile artırılabilir.

7SA6' daki arıza yeri tespit fonksiyonu, mesafe korumadan bağımsız bir fonksiyondur. Aynı bir ölçülen değer belleğine ve kendi süzgeç algoritmalarına sahiptir. Kısa-devre koruma, sadece, geçerli ölçüm döngüsünün seçimini ve ölçülen sinyallerin depolanması için en uygun zaman aralığını sağlamak için ölçüm başlatma komutunu sağlar. Arıza yeri tespit fonksiyonu, normalde kısa-devre korumanın açma komutu ile tetiklenir. Ancak, herhangi bir başlatma komutu ile de tetiklenebilir. Böylece; başka bir koruma cihazının arızayı temizlemesi durumunda bile, arıza yeri hesaplaması mümkündür. Korunan hattın dışındaki arızalar için, bilhassa ara beslemeler yüzünden ölçülen değerler bozulacağı için, bu durumlarda arıza yeri bilgisi de her zaman doğru olmaz.

Arıza akım ve gerilimlerinin ($1/20$ çevrim aralıkları ile) ölçülen değer çiftleri, döngüsel bir arabellekte depolanır ve açma komutu verildikten sonra kısa bir süreyle dondurulur. Böylece; ölçüm değerlerinin, en hızlı kesicilerle bile, kesicinin açması sebebiyle meydana gelecek ölçülen değer bozulmalarından/açma transiyentlerinden etkilenmemesi sağlanmış olur. Ölçülen değerlerin süzgeçlenmesi ve empedans hesaplamalarının sayısı, belirlenen veri penceresinde kararlılaştırılmış ölçülen değer çiftlerine otomatik olarak uyumlanır. Eğer kararlılaştırılmış değerlerle yeterli bir zaman penceresi belirlenemezse, arıza yeri geçersiz ihbarı verilir.

Kısa-devre döngülerindeki ölçülen değerlerin değerlendirilmesi, arıza temizlendikten sonra yapılır. Kısa-devre döngüleri, açmaya sebep olan döngülerdir. Toprak arıza koruması tarafından açma durumunda; üç faz-toprak döngüleri değerlendirilir. Depolanan ve süzgeçlenen ölçülen büyüklüklerden, hat denklemlerine göre en az üç R ve X sonuç çifti hesaplanır. Bu sonuç çiftlerinden, ortalama ve standart sapmalar hesaplanır. Sonuç çiftlerinden, standart sapmadan büyük farklılık gösteren "şüpheli sonuçlar" elendikten sonra, yeni bir ortalama değer hesaplanır. X için bulunan bu ortalama değer, arıza reaktansıdır ve arızanın uzaklığı ile doğru orantılıdır. Eğer birkaç döngü değerlendirilmişse, en düşük reaktanslı döngü geçerlidir. Bu şekilde, korunan fiderdeki arıza, çoklu arızalar sırasında her halükarda belirlenir; sadece toprak arıza koruma ile açma olacak olursa yine belirlenebilir.

Arıza yeri tespiti fonksiyonu, aşağıdaki sonuçları verir:

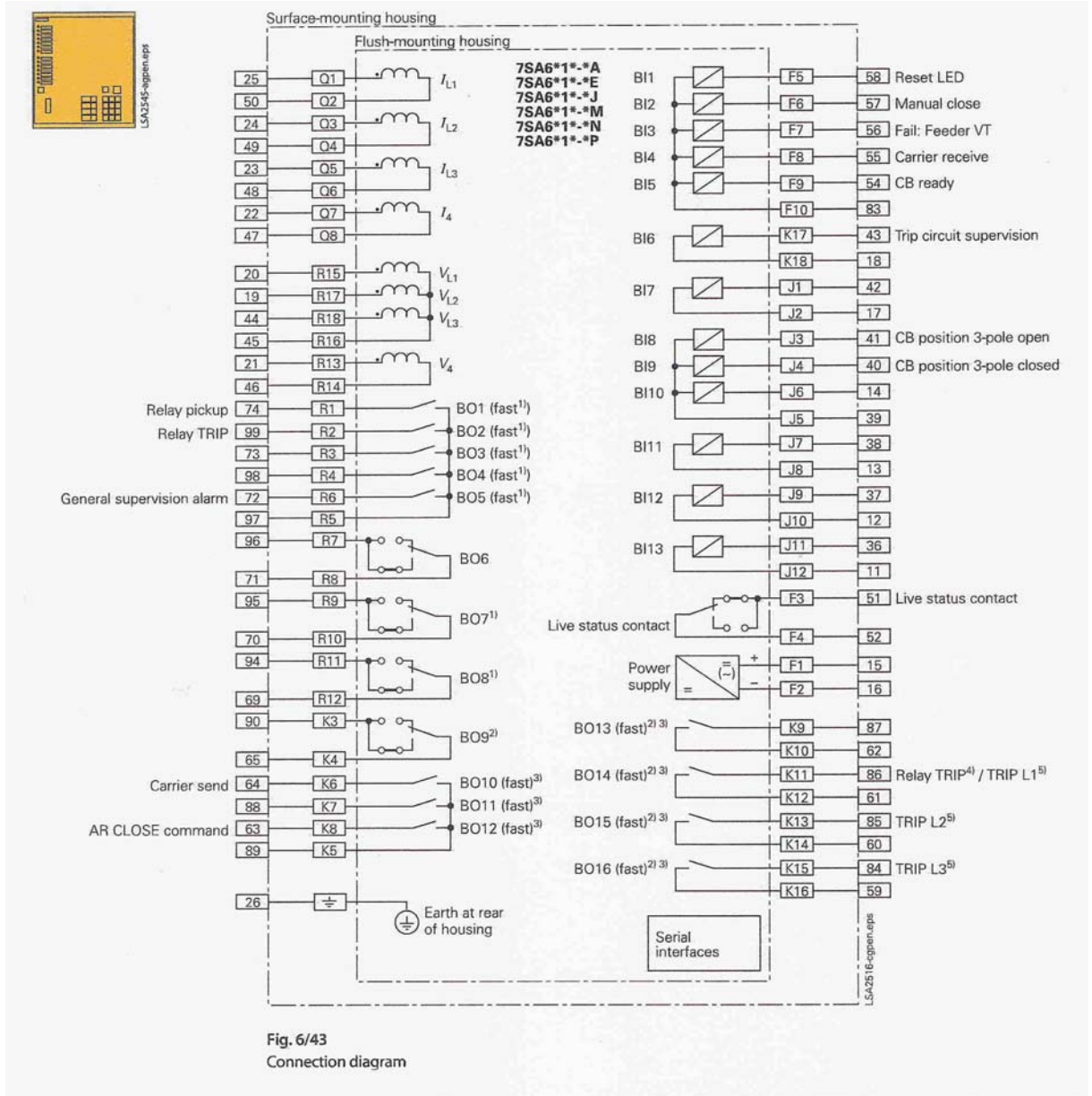
- arıza reaktansını belirlemek için kullanılan kısa devre döngüsü,
- primer ve sekonder ohm olarak faz başına reaktans,
- primer ve sekonder ohm olarak faz başına direnç,
- ayarlanan birim hat uzunluğu başına hat reaktansı baz alınarak hesaplanan, reaktansla orantılı km veya mil cinsinden arıza mesafesi,
- ayarlanan birim uzunluk başına reaktans ve ayarlanan hat uzunluğu baz alınarak hesaplanan, hat uzunluğunun yüzdesi olarak arıza mesafesi.

3.16 Koruma Rölesinin Bağlantı Şeması ve Genel Bilgiler

7SA mesafe koruma rölesinin akım trafosunda harcadığı güç çok düşüktür, akım trafosunun sekonder akımı 1A için 0,05VA ; 5A için 0,30VA güç harcar.

Çalışırken harcadığı güç ise 12W değerindedir. Kontaklarının açma süresi 17ms gibi oldukça hızlı bir değerdedir.

Şekil 3.16'da 7SA mesafe koruma rölesinin bağlantı şeması görülmektedir. IL1,IL2,IL3,I4 akım uçları, VL1,VL2,VL3,V4 gerilim uçları, BO. Çıkış kontakları, BI. Giriş uçlarıdır, Power Supply ucu ile rölenin çalışmasını sağlayan yardımcı gerilim röleye verilir.Live status contact ile röle arızalı olduğunda dışarıya ihbar verilir.



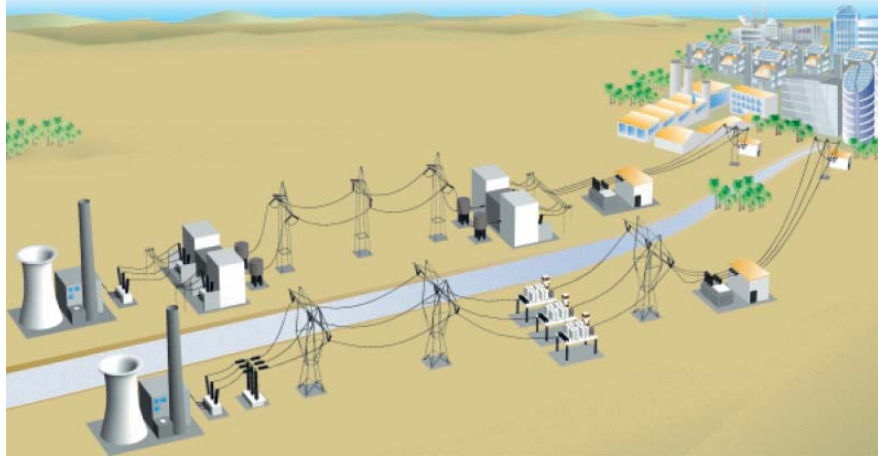
Şekil 3.16 7SA mesafe koruma rölesi bağlantı şeması. Kaynak : Siemens, (2005), “7SA6 Distance Protection Relay Catalogue”, Germany.

4. TÜRKİYEDEKİ TEİAŞ ŞALT MERKEZLERİ ve KORUMA DÜZENLERİ

4.1 Genel

Ülkemizde, elektrik enerjisi hidroelektrik veya termik santrallerde üretilmektedir. Üretilen bu elektrik enerjisinin gerilim seviyesi santral çıkışında bulunan şalt merkezlerindeki transformatörler yardımıyla 154 kV veya 380 kV seviyelerine yükseltilerek havai enerji iletim hatları ile şehir merkezlerine taşınmaktadır. Yine şehirlerde 154 kV veya 380 kV şalt merkezlerinde transformatörler yardımıyla 380 kV/154 kV , 154 kV/34,5 kV , 380 kV/34,5 kV dönüştürme oranları ile farklı gerilim seviyelerinde kullanılmaktadır.

Ülkemizde yaygın olarak 154 kV şalt merkezleri bulunmakla beraber son yıllarda gerek ülkemizde enerji talebinin artması gerekse dünyada iletim seviyesi geriliminin kV seviyesinden MV seviyelerine ulaşmasıyla birlikte yeni yapılan şalt merkezleri 380 kV seviyelerinde Dünya Bankası kredisiyle yapılmaktadır. Türkiyede bulunan yüksek gerilim şalt merkezlerinin çok büyük kısmı açık şalt merkezi olarak bulunmaktadır. Bu merkezlerde bulunan tüm primer ekipmanlar (kesici, ayırıcı, topraklama ayırıcısı, akım-gerilim trafoları, baralar.....v.s) adından da anlaşılacağı gibi açık alanda, tüm doğa koşullarına maruz kalacak şekilde bulunmaktadır. Bu şalt tesisleri çok büyük alanlar kaplamaktadır. Son yıllarda özellikle İstanbul gibi büyük şehirlerde yer sorunu bulunması, bulunan yerinde pahalı olması gibi nedenlerden dolayı gaz izoleli şalt merkezleri de yapılmaya başlanmıştır. 2006 yılında faaliyete geçecek ve Türkiyenin ilk 380 kV gaz izoleli şalt tesisi olma özelliği taşıyan Zekariyaköy ve Davutpaşa 380 kV şalt merkezleri örnek verilebilir. Gaz izoleli şalt tesislerin ilk yatırım maliyeti açık şalt merkezlere göre pahalı olduğundan açık şalt merkezleri ülkemizde hala geçerliliğini korumaktadır.



Şekil 4.1 Santralden tüketiciye enerjinin iletimi ve dağıtımı

4.2 380-154 kV Şalt Merkezleri

Havai enerji iletim hatları ile taşınan elektrik enerjisi şehir merkezlerinde 380 kV şalt merkezine ulaşır, bu merkezler iki farklı merkezden gelen iki havai hat ile beslenmektedir. Son yıllarda yapılan tüm TEİAŞ şalt merkezleri çift bara-transfer sisteminde yapılmıştır. Çift bara sisteminde yapılmasının nedeni bir barada arıza olduğunda diğer baradan yükleri kesintisiz olarak beslemektir. Transfer de ise amaç herhangi bir fiderin kesicisinde bir arıza oluşmuşsa bu fideri transfer kesicisine yönlendirerek enerjinin sürekliliğini sağlamaktır. Bu arada arızalı kesicide bakım yapılması mümkün olurken ilgili fider de kullanımda olur. Sistemde bir adet transfer kesicisi bulunmaktadır aynı anda iki fider için kullanılması mümkün değildir.

380 kV şalt merkezlerinde gerilim transformatörler yardımı ile genellikle 154 kV seviyesine düşürülür ve aynı merkezde bulunan 154 kV şalt merkezi beslenir. Bunun nedeni şehir içinde bulunan diğer merkezlere ve güç ihtiyacı yüksek olan abonelere (fabrika, organize sanayi bölgeleri...vs) enerjinin 154 kV gerilim seviyesinde iletilmesidir. 154 kV şalt merkezi de transformatör yardımı ile gerilimi 34,5 kV seviyesine indirir. Bu gerilim ile şehir içinde bulunan bölgeler, binaları besleyen sokaklarda bulunan 34,5/0,4 kV trafolar beslenmektedir.

Duruma göre 380 kV merkezdeki indirici trafo gerilimi doğrudan 34,5 kV seviyesine indirerek ilgili merkezlere enerji dağıtılabilir. Şekil 4.2 ve 4.3’de 380 kV Atışalanı Açık Şalt Merkezi gösterilmiştir.



Şekil 4.2 380 kV Atışalanı açık şalt merkezi



Şekil 4.3 380 kV Atışalanı açık şalt merkezi

Daha öncede belirtildiği gibi açık şalt merkezlerinde bulunan elektriksel primer ekipmanlar (kesici, ayırıcı, topraklama ayırıcısı, akım-gerilim trafoları..... v.s) şalt merkezinde açık alanda bulunmaktadır. Söz konusu bu cihazların kumandası şalt merkezinde bulunan kumanda binasından yapılmaktadır. Kumanda binasında gerilim seviyelerine göre kumanda panosu, röle (koruma) panosu, AC-DC dağıtım panosu, skada izleme panosu bulunmaktadır.

Kumanda panosundan her fiderin kesici, ayırıcı, topraklama ayırıcısı gibi ekipmanların manevrası konum anahtarları ile yapılır. Kumanda panosunda ayrıca ölçü cihazları (ampermetre,voltmetre,wattmetre,varmetre...) bulunur. Ayrıca her fider için arıza, açma ve alarmları gözleyebildiğimiz ışıklı ihbar tablosu bulunmaktadır. 380 kV fiderlerde her kumanda panosunda iki adet fider bulunmaktadır. Panoda her fiderin ekipmanları ayrı ayrı tesis edilmektedir. 154 kV fiderlerde de durum aynıdır her panoda iki fider bulunmaktadır.

34,5 kV fiderlerde ise durum farklıdır her panoda 4 veya 5 adet fider bulunabilir. Şekil 4.4'te 380 kV kumanda panosu, Şekil 4.5'te ise 34,5 kV kumanda panosu gösterilmiştir.



Şekil 4.4 380 kV kumanda panosu



Şekil 4.5 34,5 kV kumanda panosu

Röle panosunda ise fideri çeşitli arızalara karşı koruyan koruma röleleri (mesafe,aşırı akım,toprak kaçağı,trafo diferansiyel.....vs.), koruma rölelerini test etmeye yarayan test

blokları, açma röleleri bulunur. Koruma röleleri herhangi bir arıza tesbit ettiğinde kontağı vasıtasıyla kesicinin açma bobinine sinyal göndererek arızanın temizlenmesi sağlanır. 380 kV fiderlerde röle panoları her fider için 2 adet röle panosundan oluşmaktadır. 1. panoda ana koruma röleleri 2. panoda ise yedek koruma röleleri bulunur. 154 kV fiderlerde ise 2 fiderin koruma röleleri 1 panoda bulunur bazen işletmeler her bir fider için bir pano da istemektedir. 34,5 kV fiderlerin de röle panosu önlü arkalıdır ve genellikle 1 panoda 3 fiderin koruma röleleri bulunur. Şekil 4.6'da 380 kV röle panosu, şekil 4.7'de 154 kV röle panosu, şekil 4.8'de ise 34,5 kV röle panosu gösterilmiştir.



Şekil 4.6 380 kV röle panosu



Şekil 4.7 154 kV röle panosu



Şekil 4.8 34,5 kV röle panosu

380 kV şalt merkezinde röle panolarını ve kumanda panolarını besleyen AC ve DC dağıtım panoları da farklı iki kaynaktan beslenmek koşuluyla 2'şer adettir.

380 kV şalt merkezlerinde kullanılan 380 kV kesiciler SF6 gazlı kesicilerdir. Bu kesicilerde 2 adet açma bobini ve 1 adet kapama bobini vardır, 2 adet açma bobini olmasının sebebi güvenlik içindir. 380 kV gerilim seviyesinde kullanılan, korunan cihazlar çok pahalı olduğundan işin şansa bırakılması pek mümkün değildir bunun için bu açma bobinlerini enerjilendirecek 110V DC gerilim bile ayrı ayrı kaynaklardan beslenmektedir. Tüm sistemde bulunan 110V DC kumanda, koruma, açma geriliminin olup olmadığı ihbar sistemleri ile sürekli kontrol altındadır. 154 kV kesiciler de SF6 gazlı ve 2 adet açma bobinine sahiptir. 34,5 kV seviyesinde kullanılan kesicilerde ise tek açma bobini vardır.

4.3 Genel Havai Hat Koruması

Havai hatlar açık havada bulunduğu için geçici arızalara mahruz kalabilirler. Örneğin enerji iletim hatlarına kuş sürüsü çarpması, ağaç dalı çarpması, yıldırım düşmesi...vs. Bu gibi durumlarda arıza kendiliğinden yok olabilir işte bu yüzden havai hat fiderlerinde tek fazlı çalışabilen otomatik tekrar kapamalı mesafe röleleri ve yine tek fazlı çalışabilen kesiciler kullanılır. Örneğin mesafe rölesi R fazında bir arıza tesbit etsin; röle kesicinin R fazına açma gönderir ve kesiciyi açar bir süre bekledikten sonra kesicinin R fazını arıza üzerine tekrar kapatır ölçümlerini yapar eğer bir arıza görmemişse birşey yapmaz fakat arıza devam ediyorsa kesicinin her üç fazını da açtırır. Mesafe korumada bir diğer konu da karşı merkezlerle haberleşmedir. Mesafe röleleri 100km'ye kadar fiber optik arabirimler ile daha uzun mesafelerde ise P.L.C (Power Line Carrier) daha yaygın ismiyle Kuranportör cihazı ile karşı merkezlerle haberleşme halindedir. Açma sinyali alma-gönderme, kilitleme gibi sinyalleri almak göndermek için bu arabirimleri kullanılır. Ülkemizde 380 kV, 154 kV , 34,5 kV seviyeleri için hat koruması farklıdır.

4.4 380 kV Havai Hat Koruması

Ülkemizde 380 kV havai hatların korunması birbirinden farklı tip iki adet mesafe rölesi ile yapılmaktadır. Mesafe rölerinden ana koruma 1 nümerik tipte , arıza kaydedici ve arıza yeri

tesbit özelliklerine sahip ve yön karşılaştırmalı kilitleme düzeneğine sahiptir. Ana koruma 2 mesafe rölesi de nümerik tipte ve müsaadeli aşırı menzil karşıdan açtırma düzenine sahiptir. Yedek (Artçı) korumasında ise gerilim polarizasyonlu yönlü, zaman gecikmeli ve ani aşırı akım toprak röleleri kullanılır. Ayrıca 100 km'den uzun hatlarda aşırı gerilim koruması yapılır. Her ana koruma rölesi ayrı akım trafosu çekirdeği ve gerilim trafosu çekirdeğinden akım ve gerilim bilgisini alır.

Mesafe ana koruma 1 rölesi hattın %85'ine kadar oluşan arızalarda röle kilitleme sinyalinden bağımsız açma yapar bu da kademe 1 olarak ifade edilir. Hattın %85'inden daha uzak mesafelerde yani karşı merkeze yakın mesafelerde röle t zamanı kadar bekler ve bu zaman içinde bir kilitleme sinyali almaz ise açma yapar. Kademe 2 ve 3 te ise röle zaman gecikmeli yedek (artçı) koruma yapar.

Mesafe ana koruma 2 rölesi yine hattın %85'ine kadar oluşan arızalarda, röle müsaade sinyalinden bağımsız açma yapar, aşırı menzil kademesi korunacak hat uzunluğunun %120'sine ayarlanır ve müsaade sinyalini başlatır lokal uçlarda müsaade cihazı olarak görev yapar. Kademe 2 ve 3 röleleri, zaman gecikmeli yedek (artçı) koruma olarak ayarlanır.

Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer konuda her ana mesafe koruma rölesinin kullandığı haberleşme cihazının (P.L.C veya fiber optik arabirim) birbirinden bağımsız ayrı ayrı tesis edilmesidir. (P.L.C 1, P.L.C 2)

380 kV havai hatların yedek (artçı) korumalarında ise ;

Yüksek dirençli toprak arızalarının tesbiti için yönlü ani ve sabit zaman gecikmeli aşırı akım toprak arıza koruma röleleri kullanılır, mesafe koruma rölesinde bu özellik olmasına rağmen güvenilirliği arttırmak için bağımsız ayrı bir röle kullanılmaktadır. Mesafe koruma rölesinin tesbit ettiği arızalarda mesafe röleleri ile yönlü toprak arıza rölesi arasında kilitleme yapılarak yönlü toprak arıza rölesinin başlatması engellenir.

Havai hatların aşırı gerilimlere karşı korunmasında yine bağımsız sabit zamanlı bir aşırı gerilim rölesinden yararlanılır , röle aşırı gerilim tesbit ettiğinde kendi hat kesicisini açtırır ve tekrar kapamayı kilitler, bunun yanında P.L.C (Kuranportör) cihazı yardımıyla karşı merkezde bulunan kesiciyi de açtırarak tekrar kapaması kilitlenir. 380 kV havai hat korumasında anlatılanları Siemens firmasından alınan projeler üzerinde inceleyelim ;

Projenin ilk sayfasında (şekil 4.9) fiderin tek hat şeması ve koruma düzeni görülmektedir, fider çift bara transfer yapısında olup Q1,Q2,Q7,Q9 rumuzuyla ifade edilen cihazlar ayırıcıları

, Q0 kesiciyi Q8 topraklama ayırıcısını ifade etmektedir. T1 akım trafosu, T5 gerilim trafosu , P40. ile ifade edilen cihazlar ise ölçü cihazlarıdır. F301 ana mesafe koruma rölesi 1 , F305 ana mesafe koruma rölesi 2, F307 aşırı gerilim koruma rölesi , F308 yönlü aşırı akım ve toprak arıza koruma rölesi, F351 kesici arıza ve bara koruma rölesini ifade etmektedir.

Proje dikkatlice incelendiğinde akım trafosunun sekonderde 4 adet çekirdeği bulunduğu görülmektedir. 1. çekirdek kontrol panosunda bulunan ölçü cihazları için ayrılmıştır. 2. çekirdek ana mesafe koruma rölesi 1 için, 3. çekirdek ana mesafe koruma rölesi 2 ve yönlü aşırı akım toprak kaçağı koruması için , 4. çekirdek kesici arıza ve bara koruma için ayrılmıştır. Böylece akım trafosu çekirdeklerinde oluşabilecek bir arızada sistemin korumasız kalmasının önüne geçilmiş olunur. Aynı zamanda gerilim trafosu çekirdekleri de ayrılmıştır. Gerilim trafosunun bir çekirdeği ölçü cihazları ve ana mesafe koruma rölesi 1 için , diğer çekirdeği ana mesafe koruma rölesi 2 ve aşırı gerilim koruması için, açık üçgen sargısı ise yönlü toprak arıza koruması için kullanılmıştır.

380 kV havai hat korumada ana mesafe koruma rölesi 1 kesicinin 1 nolu açma bobinini ; ana mesafe koruma rölesi 2 , aşırı gerilim koruma rölesi ve yönlü toprak arıza rölesi ise kesicinin 2 nolu açma bobinini açtırır. Kesici arıza ve bara koruma rölesi ise kesicinin her iki açma bobinini açtırır.

2. sayfada (şekil 4.10) akım trafosunun çekirdeklerinden alınan akım bilgileri, 3. sayfada (şekil 4.11) gerilim trafosundan alınan gerilim bilgileri görülmektedir.

4. sayfada (şekil 4.12) ana mesafe koruma rölesi-1 görülmektedir. Röleye ölçü transformatörleri üzerinden hattın akım ve gerilim bilgileri girilir. Ayrıca ilgili bara gerilimi seçilerek röleye girilir röle bu gerilimi hattın gerilimi ile karşılaştırarak kontağı vasıtasıyla senkronizasyon müsaadesi verir bu müsaade kesicinin kapamasında veya tekrar kapamasında kullanılarak olası bir asenkron durumun önüne geçilmiş olunur. F301/T1 ile gösterilen cihaz test blok olup röleyi test etmek için test blok üzerinden röleye akım ve gerilim verilmesinde kullanılır , test bloğa akım verildiğinde blok akım uçlarını kısa devre ederek akım trafosunun boşa kalmasını engeller.

5. sayfada (şekil 4.13) ana mesafe koruma rölesi-2 görülmektedir. Aynı şekilde test blok üzerinden akım ve gerilim bilgileri girilir.

6. sayfada (şekil 4.14) hat yönlü toprak arızası koruma rölesi görülmektedir röleye akım ve gerilim trafosunun açık üçgen sargısından gerilim bilgisi girilir.

7. sayfada (şekil 4.15) aşırı gerilim koruma rölesi görülmektedir röleye hattın fazlararası gerilimi girilmiştir.

8. sayfada (şekil 4.16) –F301 ile ifade edilen ana mesafe koruma rölesi görülmektedir. F1-F2 uçları ile 110V DC çalışma gerilimi röleye girilmiştir. BI3 giriş ucuna (F7-F10 ucu) gerilim trafosunun sekonder tarafında bulunan otomatik sigortanın attı bilgisi girilmiştir bu sigorta attığında hattın gerilim bilgisi alınması sözkonusu değildir. Röle bu bilgiyi aldığı anda hafızasında tuttuğu en son gerilim değerini hesaplamalar için kullanır. F3-F4 ucu ile gösterilen çıkış ucu ile röle arızalı bilgisi, R21 çıkış kontağı (P10-P9 ucu) ile senkronizasyon müsaade sinyali, R9 çıkış kontağı ile otomatik tekrar kapama devrede sinyali alınmıştır. R11,R10 çıkış kontağı (K5,K6,K7 uçları) ile karşı merkeze kilitleme sinyali gönderilmiştir. Kilit sinyali test blok üzerinden P.L.C (Power Line Carrier) cihazı ile karşı merkeze gönderilmiştir (105-106,103-104 uçları). Aynı şekilde P.L.C. cihazı (107-108 ucuna) ile de mesafe rölesinin BI4 giriş ucuna (F8 ucuna) kilit sinyali alındı bilgisi girilmiştir. Ayrıca P.L.C cihazının GC2 çıkış kontağı (109-110 ucu) ile K204 yardımcı rölesi üzerinden kilit sinyali alındı, AC1 çıkış kontağı (111-112 ucu) ile de K205 yardımcı rölesi üzerinden iletim sinyali arızalı bilgisi alınmıştır. Yönlü kilitleme sisteminin çalışma mantığı şu şekildedir;

Röle ileri yöndeki arızalarda kilit sinyali göndermez ancak geri yöndeki arızalarda karşı merkeze kilit sinyali gönderir .Koruma rölesi hattın %85'ine kadar olan bölümünde herhangi bir kilitleme sinyalinden bağımsız açma yapar. Hattın %120'lik kısmında yani karşı merkezin gerisinde bir arıza gördüğünde karşı merkez kilitleme sinyali gönderir ve rölenin açması engellenir. Eğer t süresi sonunda bir kilit sinyali alınmaz ise röle açma yapar. Özellikle uzun ve çok uzun hatlarda bu sistem kullanılmaktadır.

9. Sayfada (şekil 4.17) yine –F301 ile ana mesafe rölesi görülmektedir. R14,R15,R16 çıkış kontakları ile (K12-K11,K14-K13,K16-K15 uç numaraları) sırasıyla ayrı ayrı A,B,C fazları için açma sinyali alınmıştır. Açma sinyalleri test blok üzerinden açma rölesine gitmektedir. Sistem çalışır durumdayken röleyi test etmek istersek blok devreyi keser böylece röle açma verdiğinde bu sinyal açma rölesinin ulaşmayacağından kesicinin de gereksiz yere açması önlenmiş olunur. R1,R2,R3,R4,R5 çıkış kontakları ile (R5,R2,R3,R4,R6 uç numaraları) sırasıyla, genel arıza tesbiti, genel açma, kademe 2 açma, kademe 3 açma, güç salınımı kitleme işletmede sinyalleri alınmıştır. R18,R19,R20 çıkış kontakları ile (P5,P6,P7,P8 uç numaraları) her faz için ayrı ayrı arıza tesbit sinyali alınmıştır.

10. sayfada (şekil 4.18) –F307 ile sistemin artçı korumalarından aşırı gerilim rölesi

görülmektedir. 30-31 nolu uçlarına 110V DC çalışma gerilimi girilmiştir. K2 çıkış kontağı (18-19 ucu) ile aşırı gerilim açma sinyali alınmıştır. K4 çıkış kontağı (22-23 ucu) ile röle arızalı sinyali alınmıştır.

11. sayfada (şekil 4.19) –F308 ile sistemin artçı korumalarından yönlü toprak arıza rölesi görülmektedir. F1-F2 nolu uçlarına 110V DC çalışma gerilimi girilmiştir. BI3 giriş ucuna ana mesafe rölesi-1 ve ana mesafe rölesi-2'den kilit sinyali girilmiştir ana mesafe röleleri arıza tesbit ettiğinde yönlü toprak rölesinin çalışması kilitlenir. R3 çıkış kontağı (F9-F8 uçları) ile yönlü toprak arıza açma sinyali alınmıştır. R1 çıkış kontağı (F6-F5 uçları) ile geri yönde arıza tesbiti, R2 çıkış kontağı (F7 ucu) ile ileri yönde arıza tesbiti sinyali alınmıştır. Ayrıca R4 çıkış kontağı (F11-F10 ucu) ileri yönde arıza tesbiti sinyali alınmıştır, söz konusu bu sinyal P.L.C cihazı karşı merkeze müsaade sinyali olarak gönderilmektedir.

12. sayfada (şekil 4.20) –F305 ile ana mesafe rölesi-2 görülmektedir. K1-K2 uçlarına 110V DC çalışma gerilimi girilmiştir. K3-K4 uçları ile röle arızalı sinyali alınmıştır. B012-B023 çıkış kontakları (P15,R6,P16 uçları) ile karşı merkeze müsaade sinyali test blok üzerinden (-F305/T1) , P.L.C cihazı ile gönderilmiştir. Projeye dikkatle bakılırsa bir önceki sayfadan gelen yönlü toprak arıza sinyalinin (K214.1 yardımcı rölesi kontakları) de birleşerek P.L.C. cihazına girilmiş olmasıdır. (105-106, 103-104 nolu uçları)

BI1 giriş ucuna (K17-K18 uçları) karşı merkezden P.L.C. cihazıyla (107-108 uçları) müsaade sinyali girilmiştir. BI2 giriş ucuna (J1-J2 uçları) gerilim trafosunun sekonder tarafında bulunun otomatik sigortanın attı bilgisi girilmiştir bu sigorta attığında hattın gerilim bilgisi alınması sözkonusu değildir. Ayrıca P.L.C cihazının GC2 çıkış kontağı (109-110 ucu) ile K224 yardımcı rölesi üzerinden müsaade sinyali alındı, AC2 çıkış kontağı (113-114 ucu) ile de K225 yardımcı rölesi üzerinden iletim sinyali arızalı bilgisi alınmıştır. Müsaadeli aşırı menzil karışından açtırma sisteminin çalışma prensibi şu şekildedir;

Hattın %85'lik kısmında röle müsaade sinyalinden bağımsız açma yapar, karşı merkeze bildirir ve buna kademe 1 denilir (Z1). Röle karşı merkezin ötesini görecektir şekilde aşırı menzil kademesinde (hattın %120'sini içine alacak şekilde) bir arıza tesbit ettiğinde ise açma yapmaz karşı merkeze arıza tesbit ettiğine dair bir sinyal gönderir eğer karşı merkezden de arıza sinyali almışsa açma yapar.

13. Sayfada (şekil 4.21) yine –F305 ile ana mesafe rölesi-2 görülmektedir. B020,B021,B022 çıkış kontakları ile (P9-P10,P11-P12,P13-P14 uç numaraları) sırasıyla ayrı ayrı A,B,C fazları için açma sinyali alınmıştır. Açma sinyalleri test blok üzerinden açma rölesine gitmektedir.

Sistem çalışır durumdayken röleyi test etmek istersek blok devreyi keser böylece röle açma verdiğinde bu sinyal açma rölesinin ulaşmayacağından kesicinin de gereksiz yere açması önlenmiş olunur. B010,B08,B09,B011 çıkış kontaklar ile (R5,R3,R1,R4 uç numaraları) sırasıyla, genel arıza tesbiti, genel açma, kademe 2-3 açma, güç salınımı kitleme işletmede sinyalleri alınmıştır. B01,B02,B03 çıkış kontakları ile (K5,K6,K7,K8 numaraları) her faz için ayrı ayrı arıza tesbit sinyali alınmıştır.

14. Sayfada (şekil 4.22) –F305 ana mesafe rölesi-2’ye her fazı ayrı olmak üzere kesicinin devre dışı kontağı girilmiştir. (BI3,BI4,BI5 girişleri)

15. Sayfada (şekil 4.23) –F301 ile ana mesafe rölesi-1 görülmektedir. Röleye –F305 ana mesafe koruma rölesi-2’den her faz için ayrı olmak üzere B017,B018,B019 çıkış kontaklarından otomatik tekrar kapama baslatma , BI7,BI8,BI9 girişlerine girilmiştir.

BI11 giriş ucu ile (J7-J8 uçları) otomatik tekrar kapama bloke edilmiştir. Şu durumlarda tekrar kapama yapılmamaktadır;

Ana mesafe röle-2’nin açma yapması (B016 çıkış kontağı), yönlü toprak arıza rölesinin açma yapması (K241 açma rölesi ve K241.1 yardımcı rölesi kontağı), aşırı gerilim rölesinin açma yapması (K265 açma rölesi kontağı), P.L.C cihazlarının her ikisinin de sinyal iletiminde bir arıza olması (K225 ve K205 yardımcı rölesi kontağı), karşı merkezden açma gelmesi (K215.1 yardımcı rölesi kontağı), bara korumadan açma gelmesi (K231.1 yardımcı rölesi kontağı), hattın transfer kesicisi üzerinden beslenmesi (-K7E.2 yardımcı rölesi kontağı), kumanda panosu üzerindeki seçme anahtarının (TKA anahtarı) 0 konumuna alınmasıyla kesicinin otomatik tekrar kapatılması bloke edilir.

R12 çıkış kontağı (K8 ucu) ile test blok üzerinden otomatik tekrar kapama sinyali alınmıştır. BI2 giriş (F6 ucu) ucuna kesici elle kapama sinyali girilmiştir. BI5 giriş ucuna (F9 ucu) kesiciden yardımcı röle yardımıyla alınan kesici hazır değil sinyali (K236.2 yardımcı rölesi kontağı) girilir. Bu kontak sayesinde eğer kesicide bir arıza varsa röle tarafından kapama yapılması önlenmiş olunur. Örneğin kesici arızalandı ve tekrar kapama yapılacak kesici tekrar açamayacak durumda ise bu durumda kesicinin tekrar kapatılması pek de mantıklı bir durum değildir. Aynı şekilde skada üzerinden kapama yapılırken senkronizasyon müsaadesi için röle izin verir kesicide bir sorun varsa röle bu müsaadeyi otomatik olarak vermeyerek yine bir sorunun önüne geçmiş olur.

BI6,BI7,BI8 giriş uçlarına kesicinin her fazı ayrı olmak üzere kesici devrede sinyali

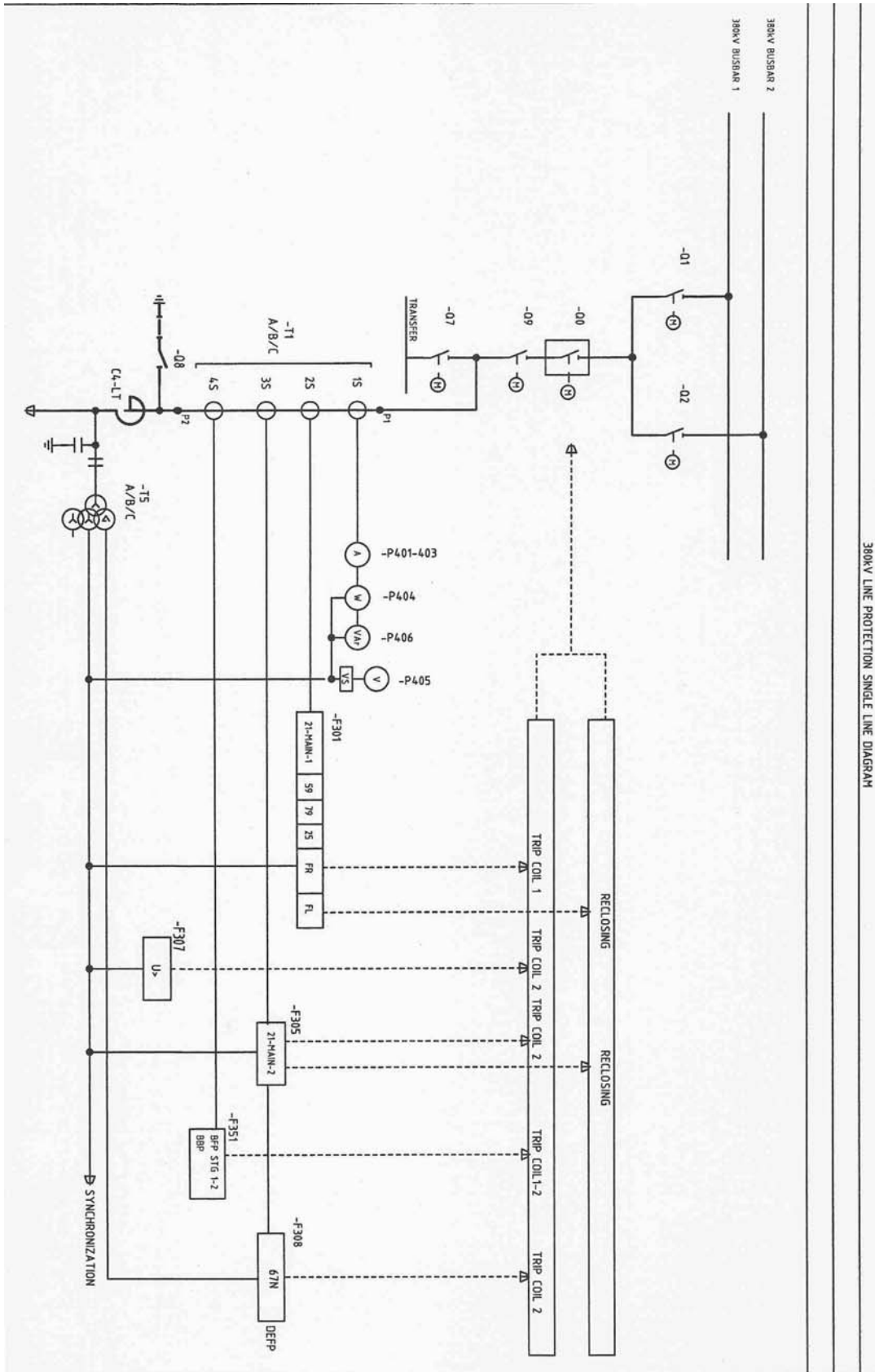
girilmiştir.

16. Sayfada (şekil 4.24) kesici arıza-bara koruma sistemine giden ve ordan gelen sinyaller görülmektedir. Mesafe koruma-1, karşı merkezden açma, mesafe koruma-2, yönlü toprak arıza, aşırı gerilim açmaları üç fazlı olarak gönderilmiştir. Bara koruma ve kesici arıza kademe-2 açma sinyalleri ve bara-kesici arıza koruma işletmede sinyali alınmıştır.

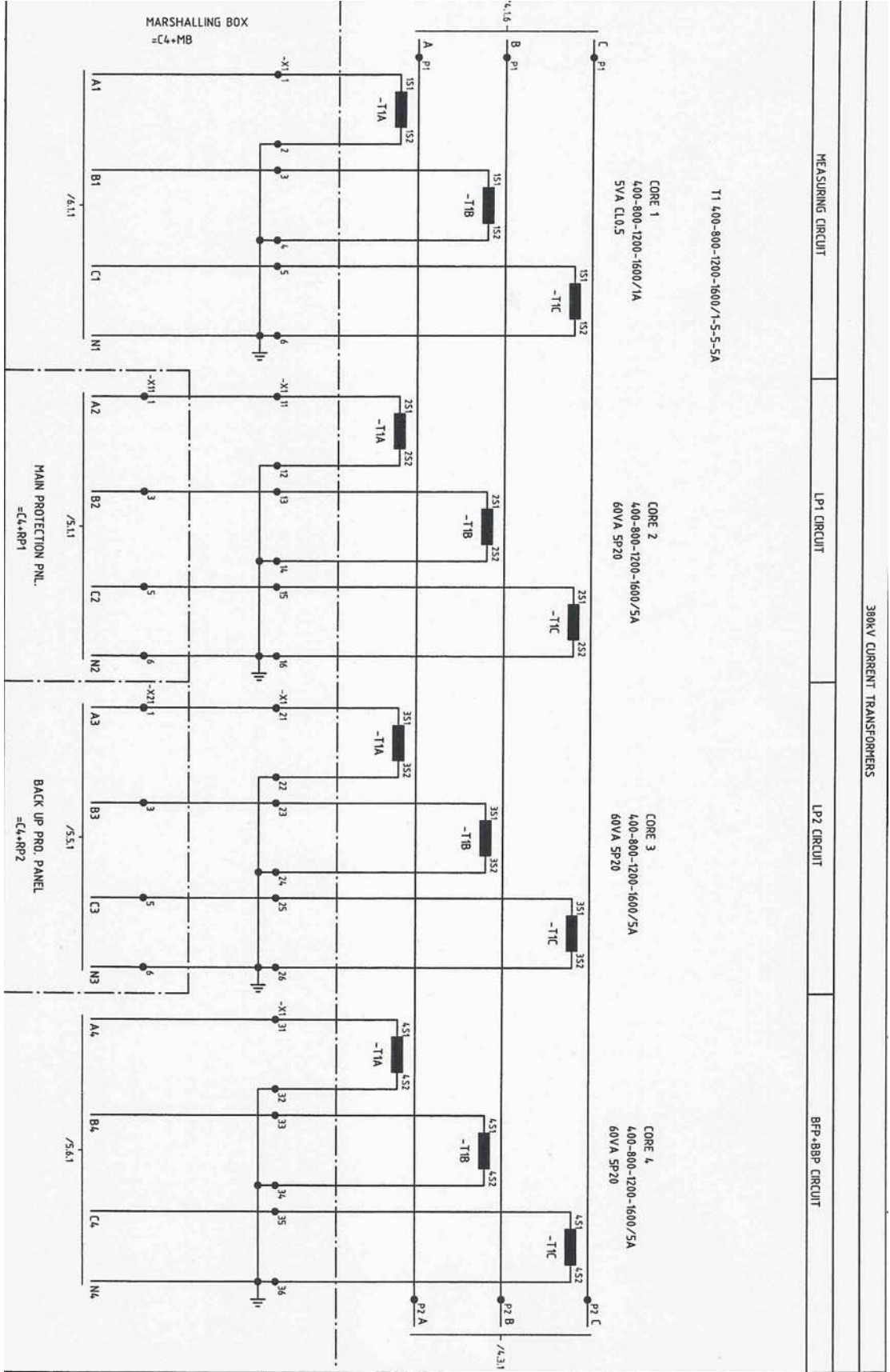
17. sayfada (şekil 4.25) P.L.C.-1 ve P.L.C.-2 cihazlarıyla karşı merkeze gönderilen ve karşı merkezden alınan açma sinyalleri görülmektedir. Aşırı gerilim açma (K265 yardımcı rölesi kontağı) ve bara koruma-kesici arıza koruma kademe-2 açması (K231 kilit rölesi kontağı) P.L.C.-1 ve P.L.C.-2 cihazıyla karşı merkeze iletilir. (105-106,103-104 uçları) Bu açmalar ile karşı merkezin kesicileri açtırılır ve tekrar kapaması kilitlenir. Yine karşı merkezden P.L.C-1 ve P.L.C-2 cihazıyla (107-108, 109-110 uçları) K217 ve K218 yardımcı röleleri üzerinden açma bilgisi alınır. K217 ve K218 yardımcı rölelerinin kontakları K216 zaman rölesi üzerinden geçirilerek bir zaman gecikmesi sağlanır. Bu gecikme sonunda karşı merkezden hala arıza sinyali alınmaya devam ediyorsa K215 kilit rölesi çektilerilerek kesici açtırılır ve tekrar kapaması kilitlenir.

18. sayfada (şekil 4.26) Kesicinin bir nolu açma bobini görülmektedir. 631,636,641 nolu uçlarına kumanda panosundan gelen elle açma ve skada açma bilgisi girilmiştir. 632,637,642 nolu uçlarına ise arıza açma bilgileri her faz için ayrı ayrı girilmiştir. Sırasıyla mesafe koruma-1, bara koruma-kesici arıza koruma kademe-2, kesici arıza koruma kademe-1, karşı merkezden açtırma.

19. sayfada (şekil 4.27) Kesicinin iki nolu açma bobini görülmektedir. 730,735,740 nolu uçlarına arıza açma bilgileri her faz için ayrı ayrı girilmiştir. Sırasıyla mesafe koruma-2, aşırı gerilim, yönlü toprak arıza, bara koruma-kesici arıza koruma kademe-2, kesici arıza koruma kademe-1, karşı merkezden açtırma.

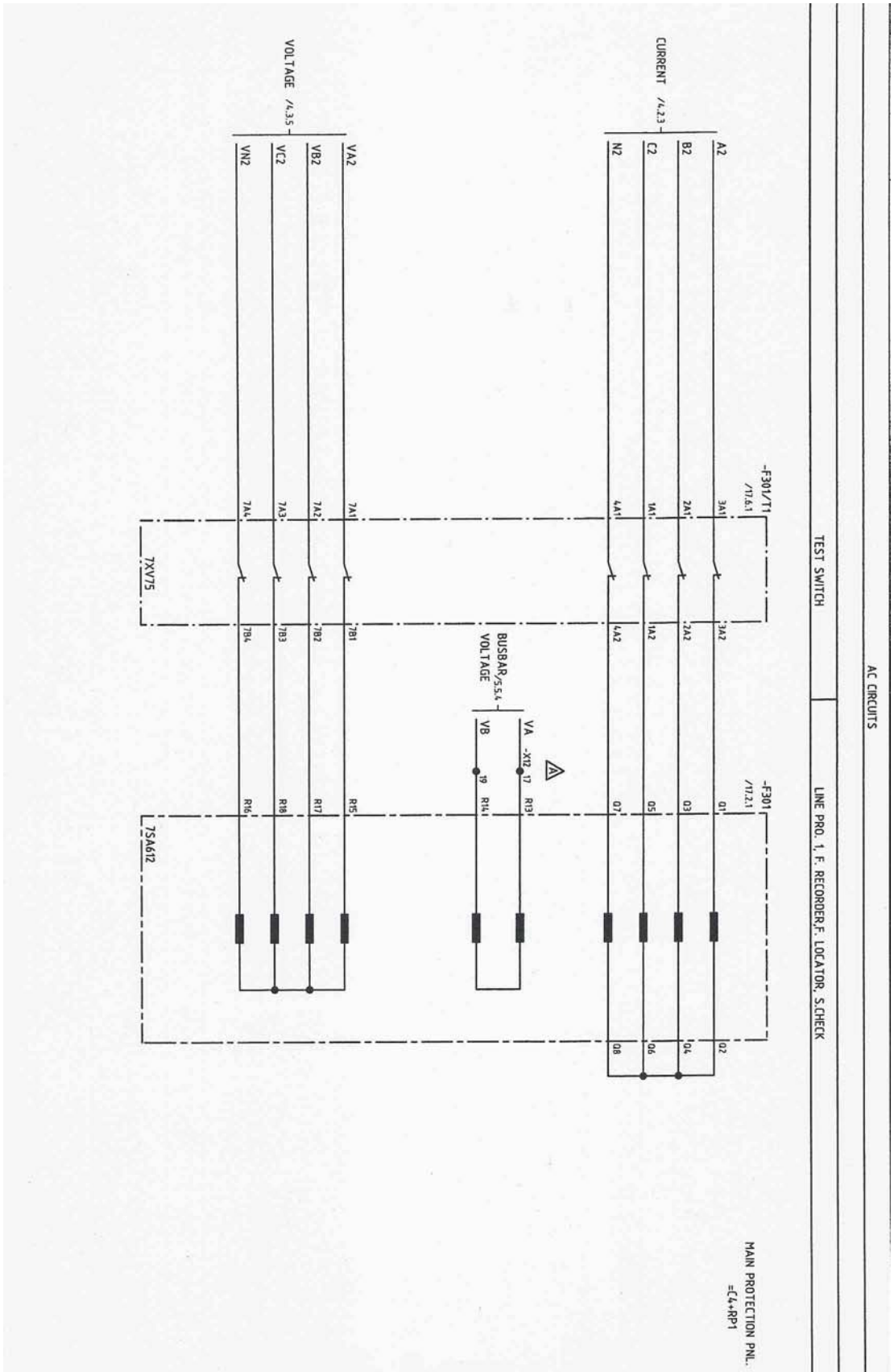


Şekil 4.9 Tek-hat şeması

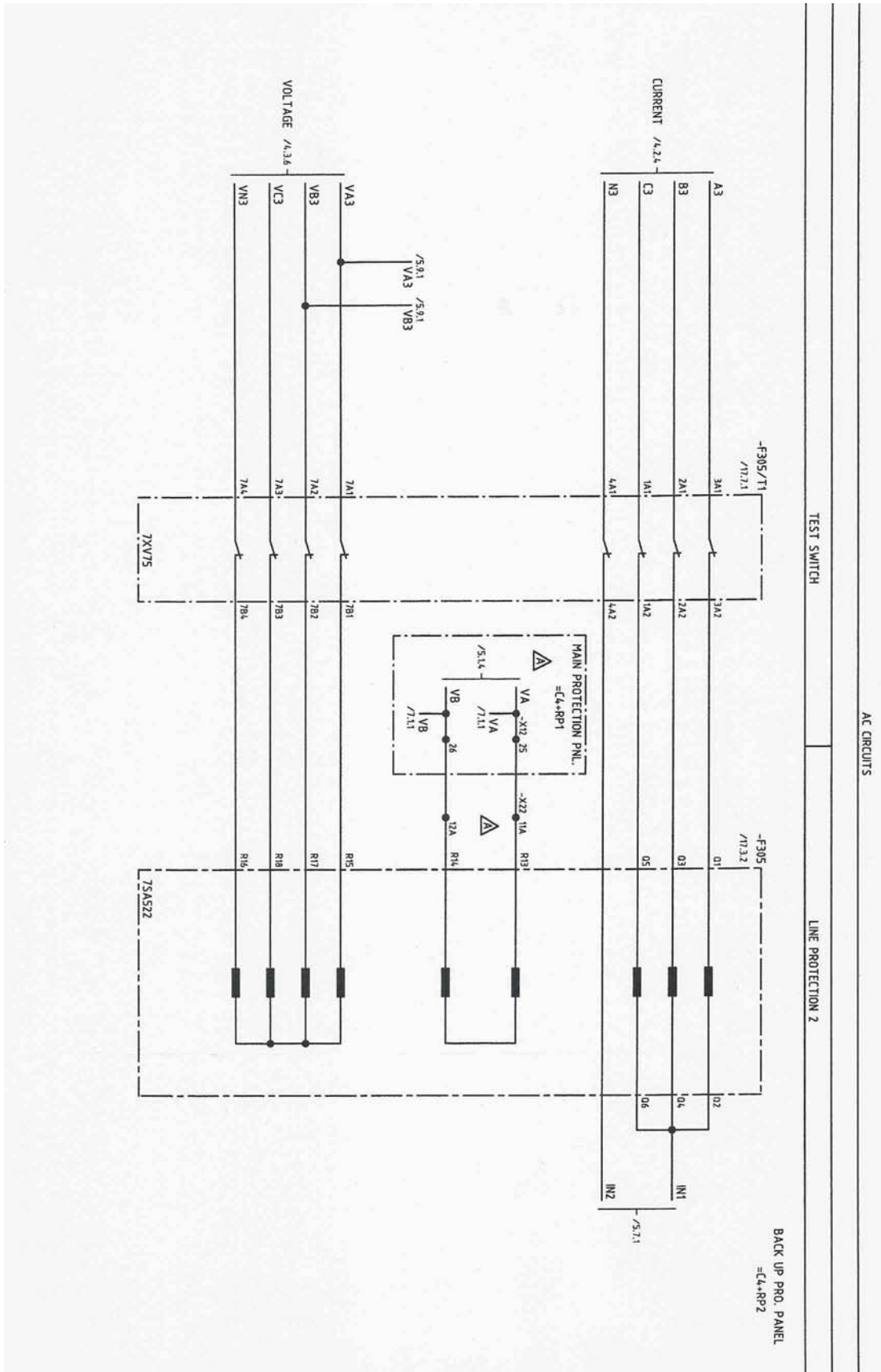


Şekil 4.10 Akım trafosu bağlantısı

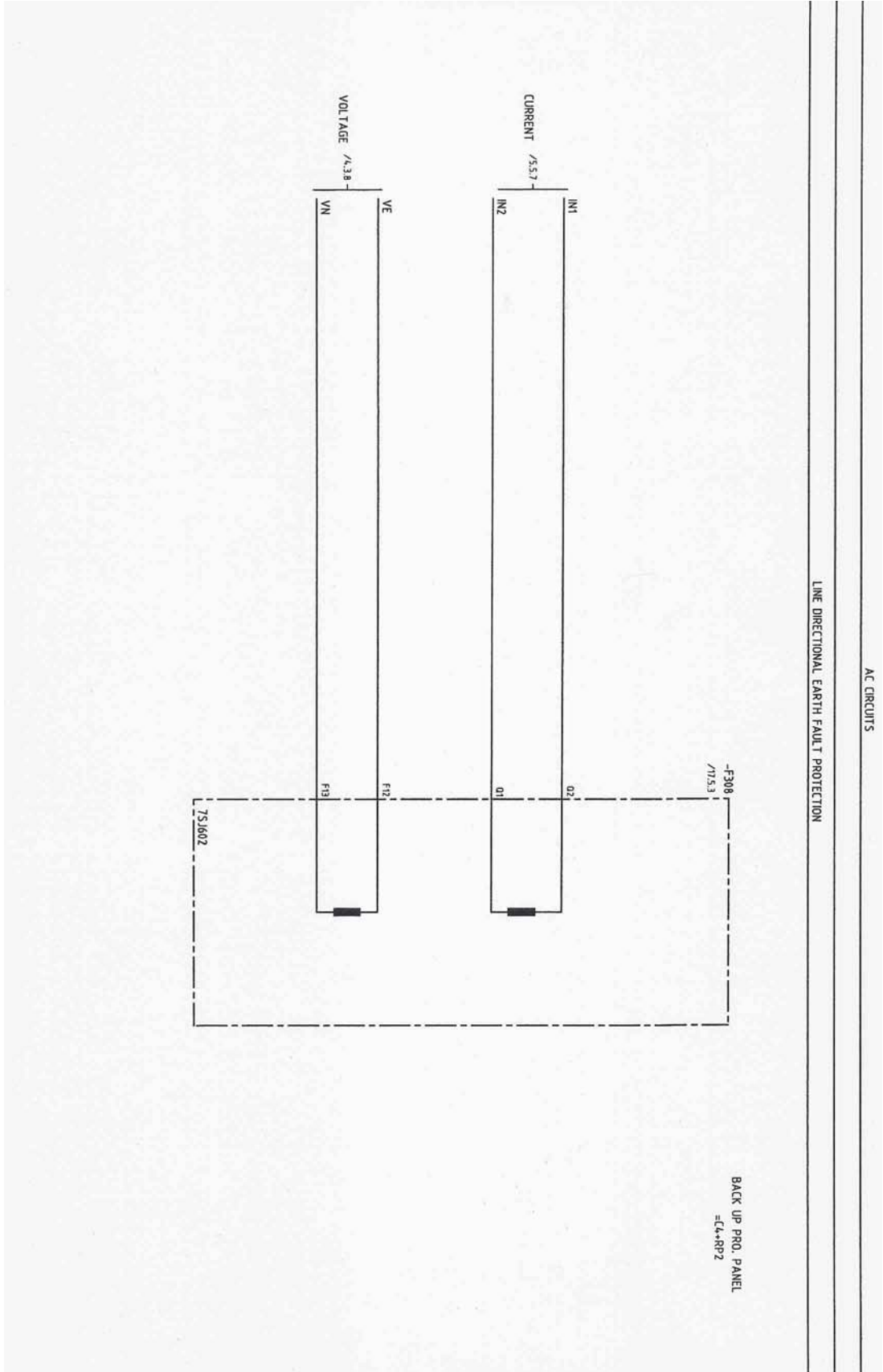
Şekil 4.11 Gerilim trafosu bağlantısı



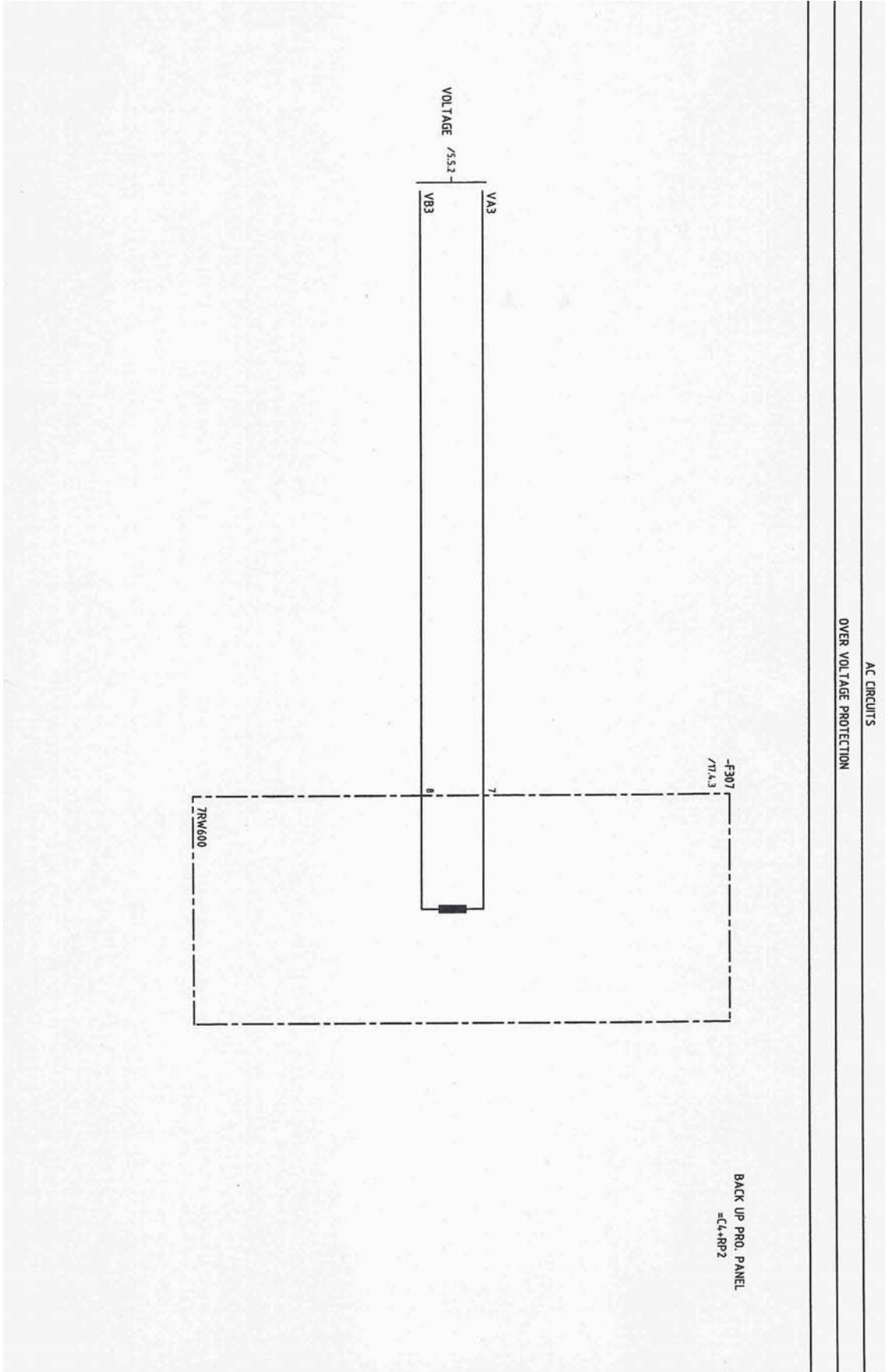
Şekil 4.12 Ana mesafe koruma rölesi-1 akım-gerilim bağlantısı



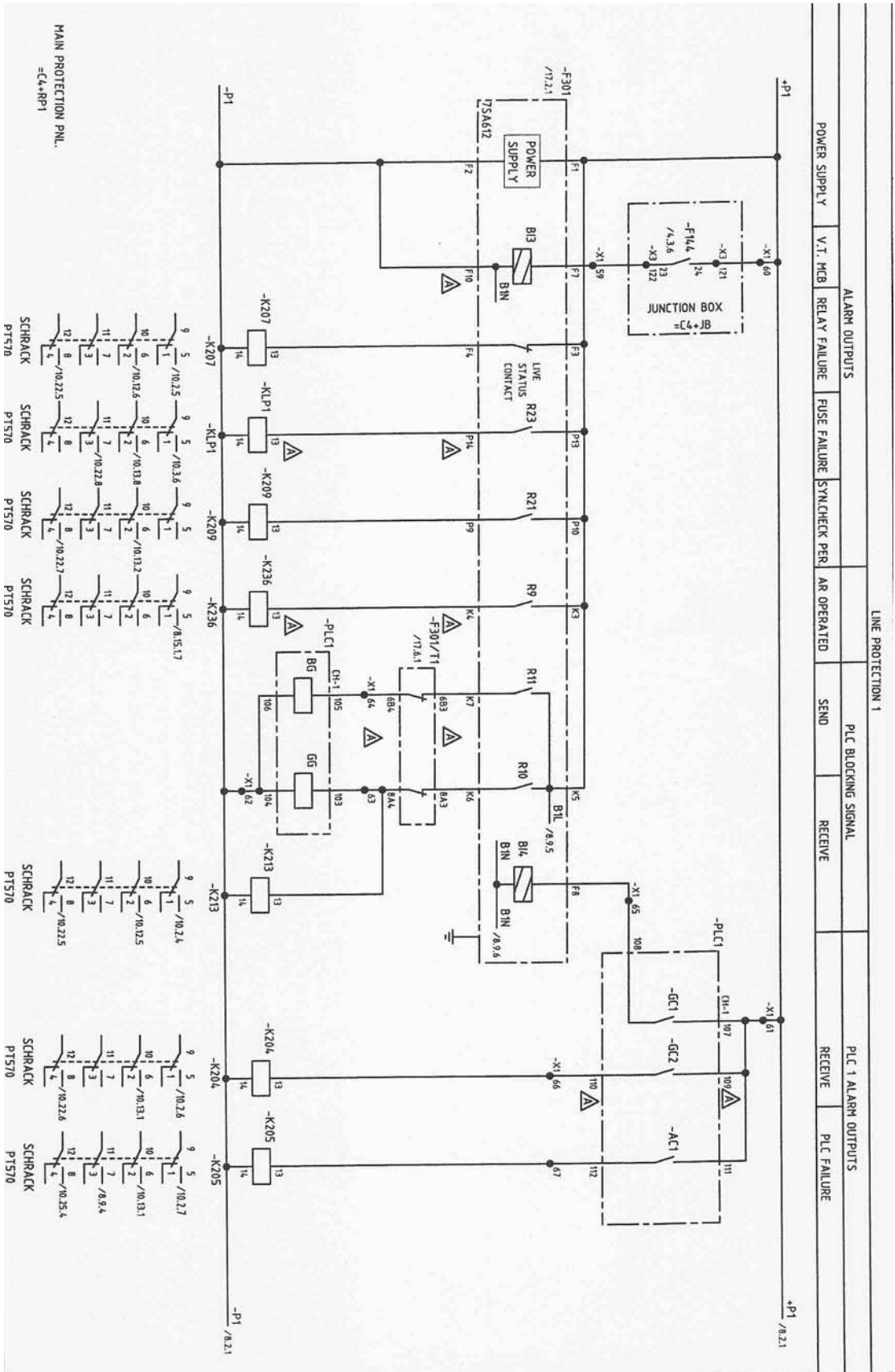
Şekil 4.13 Ana mesafe koruma rölesi-2 akım-gerilim bağlantısı



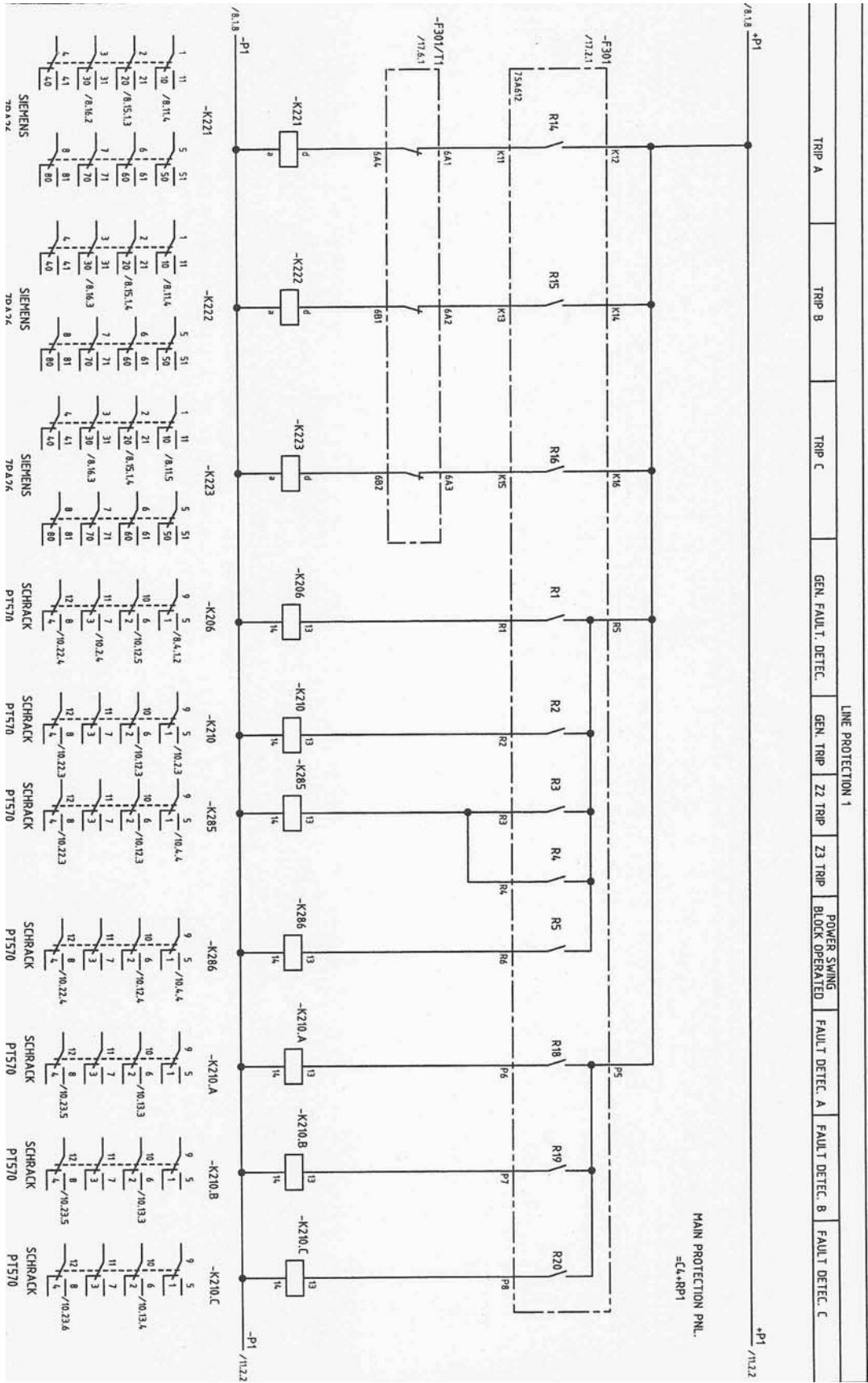
Şekil 4.14 Yönlü toprak arıza koruma rölesi akım-gerilim bağlantısı



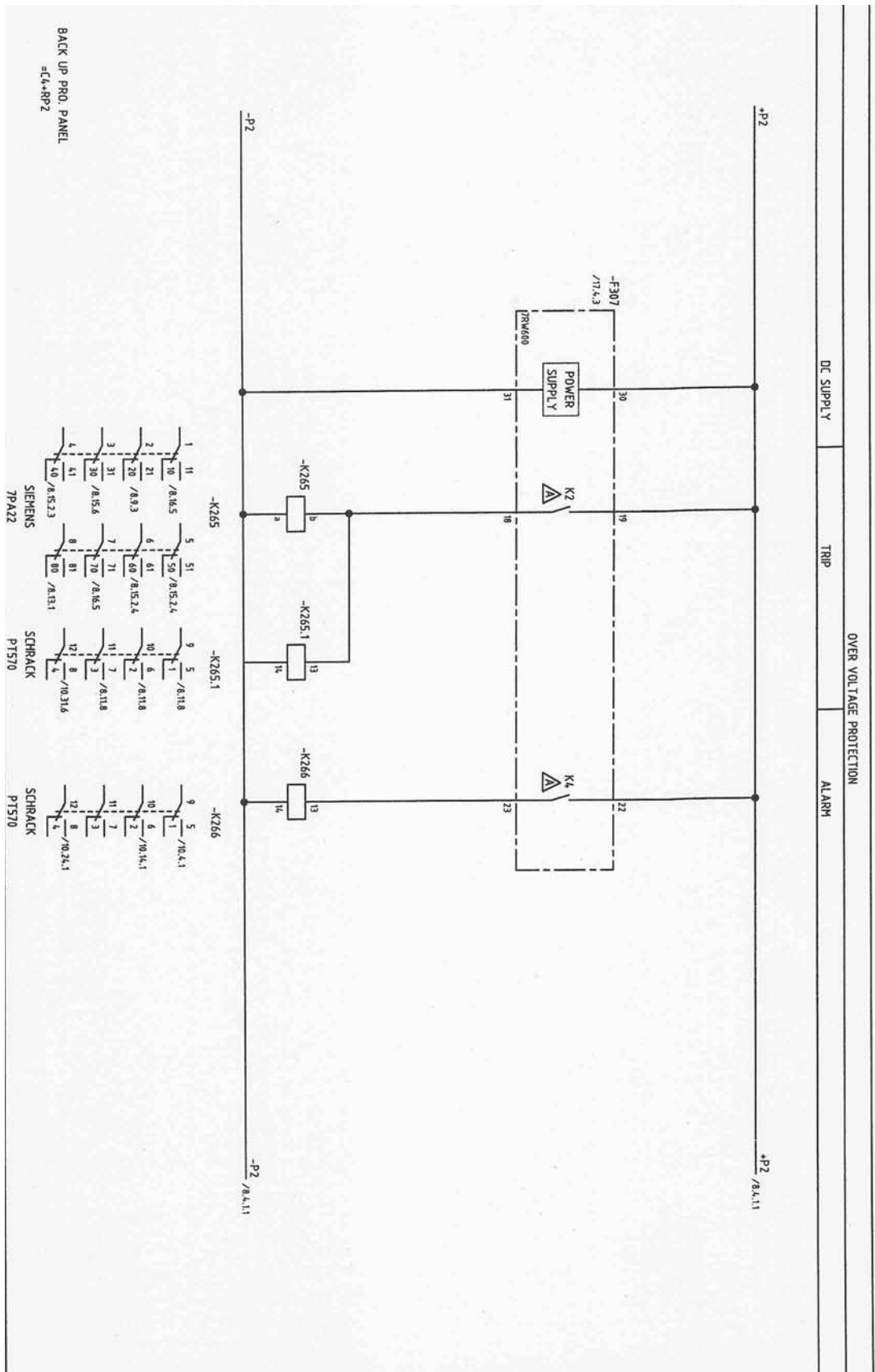
Şekil 4.15 Aşırı gerilim koruma rölesi gerilim bağlantısı



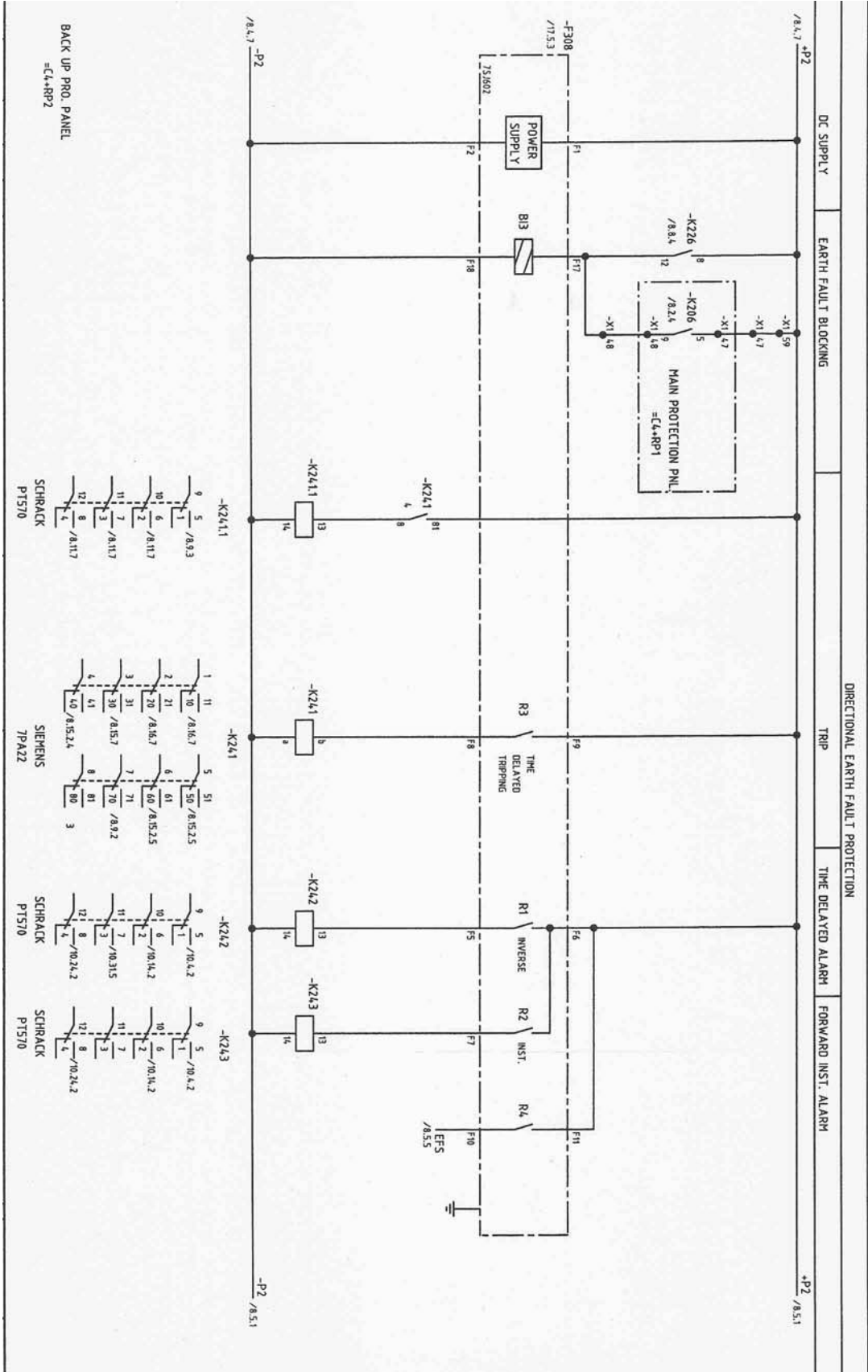
Şekil 4.16 Ana mesafe koruma rölesi-1 kuranportör (PLC) bağlantısı



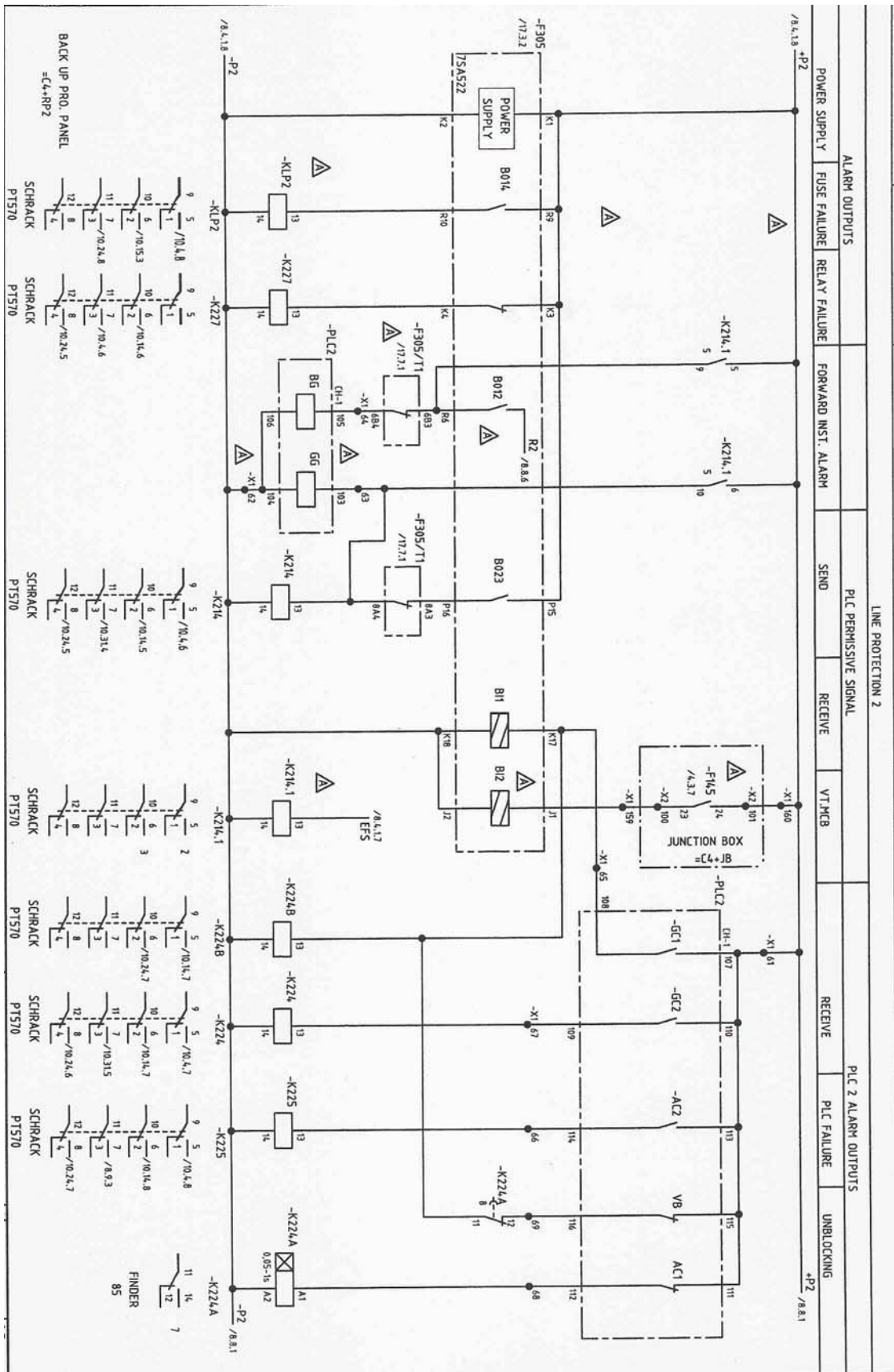
Şekil 4.17 Ana mesafe koruma rölesi-1 açma-ihbar çıkışları



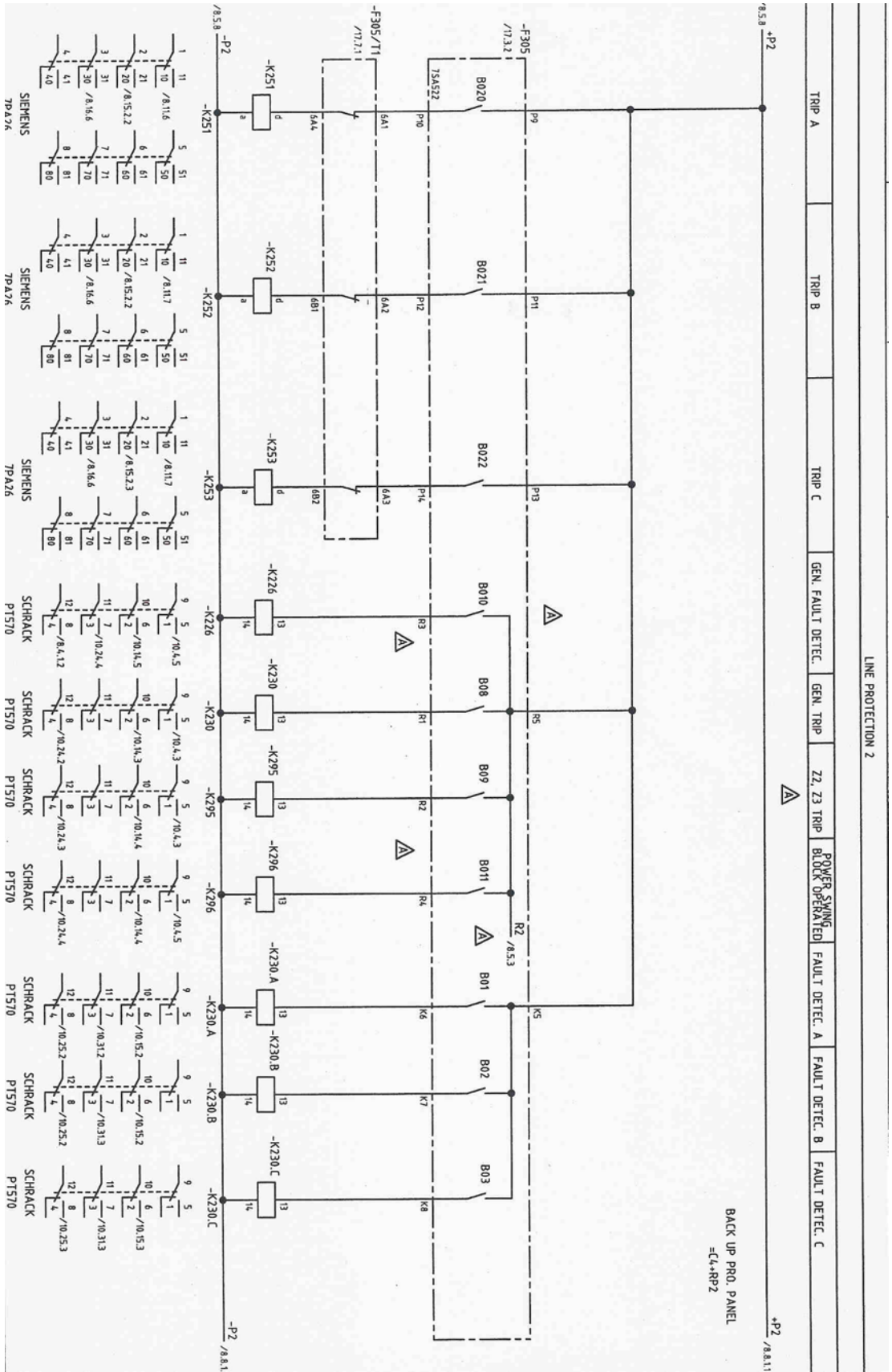
Şekil 4.18 Aşırı gerilim koruma rölesi açma-ihbar çıkışları



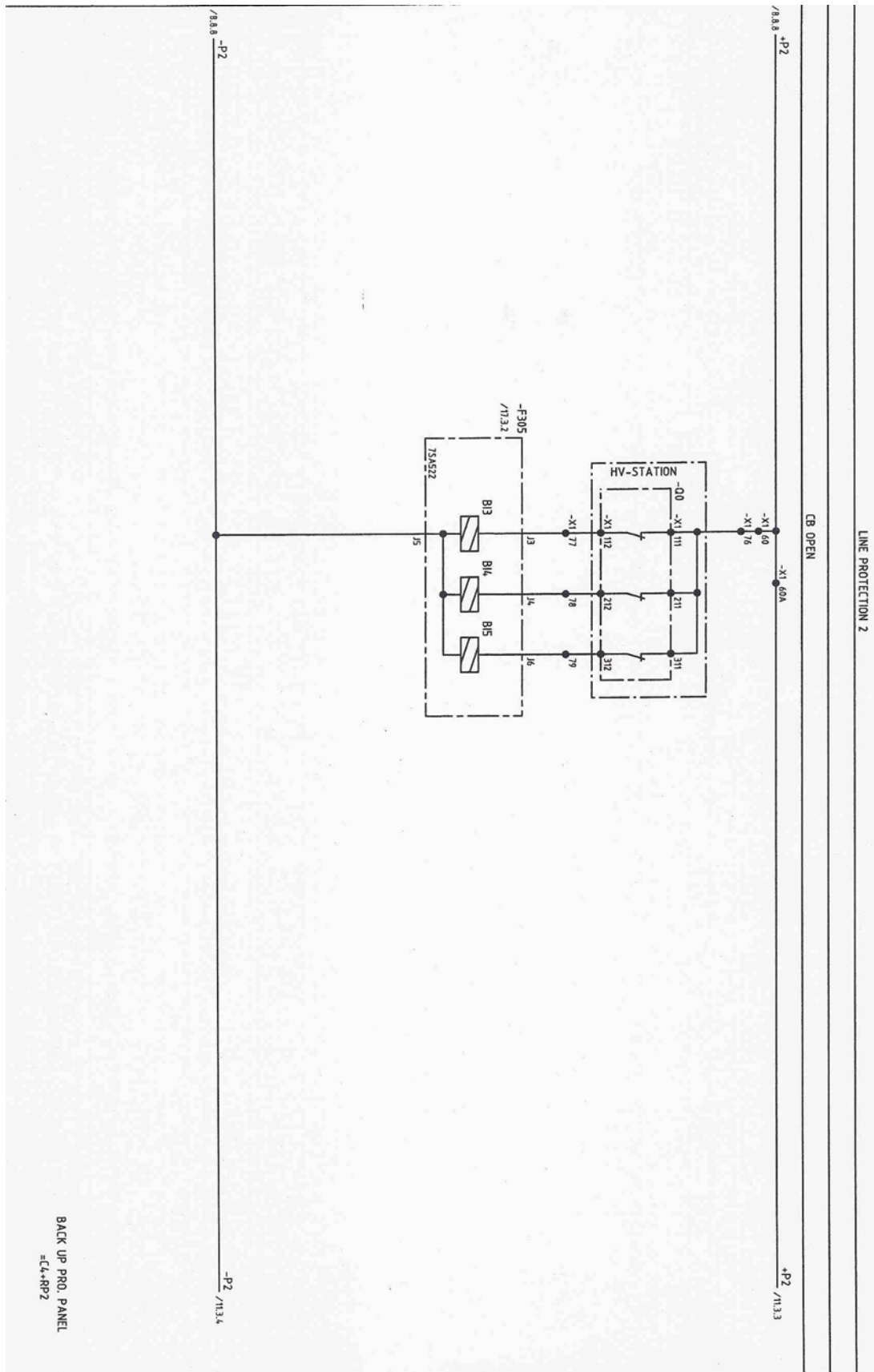
Şekil 4.19 Yönlü toprak arıza koruma rölesi açma-ihbar çıkışları



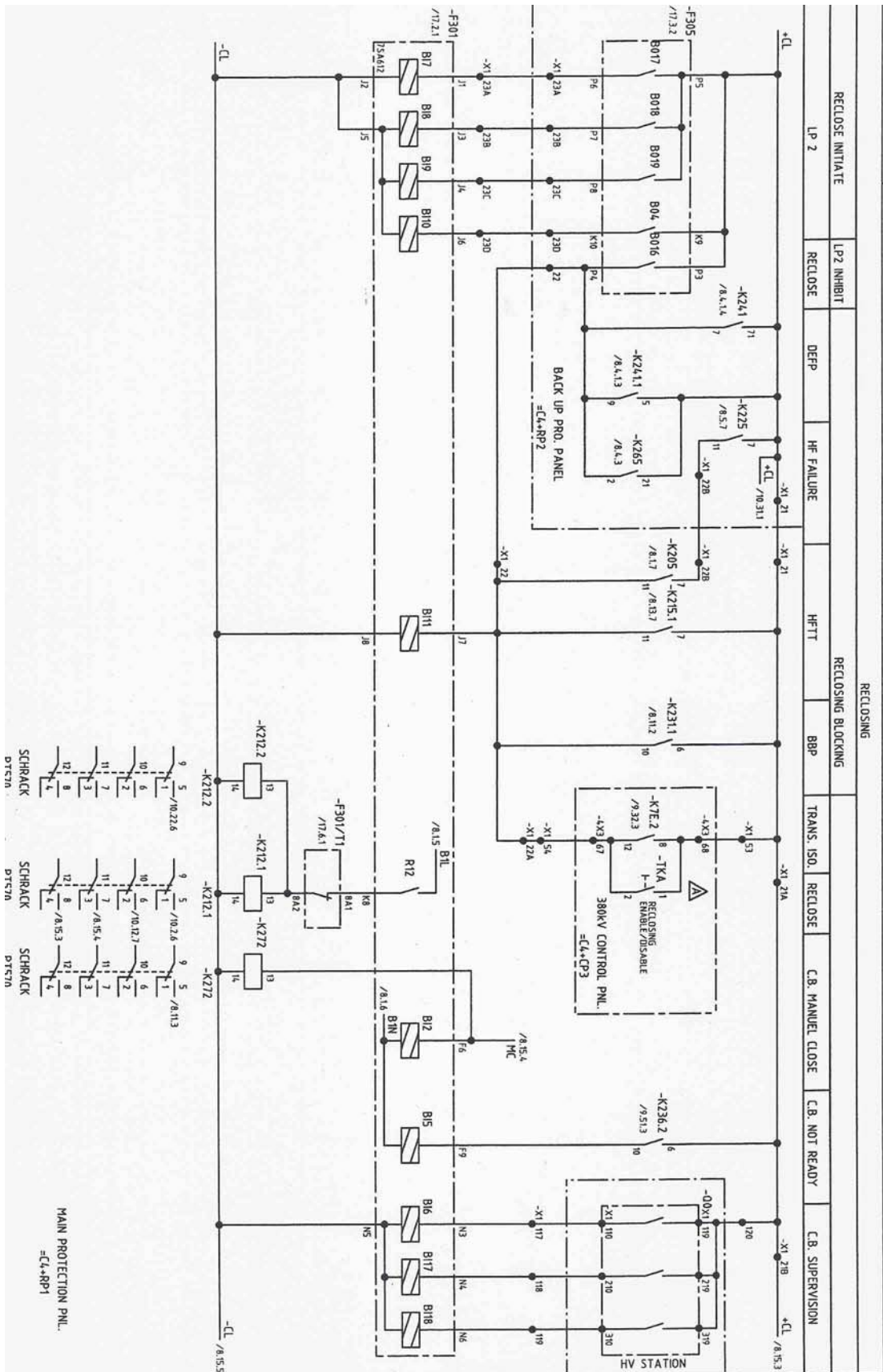
Şekil 4.20 Ana mesafe koruma rölesi-2 kuranportör (PLC) bağlantısı



Şekil 4.21 Ana mesafe koruma rölesi-2 açma-ihbar çıkışları

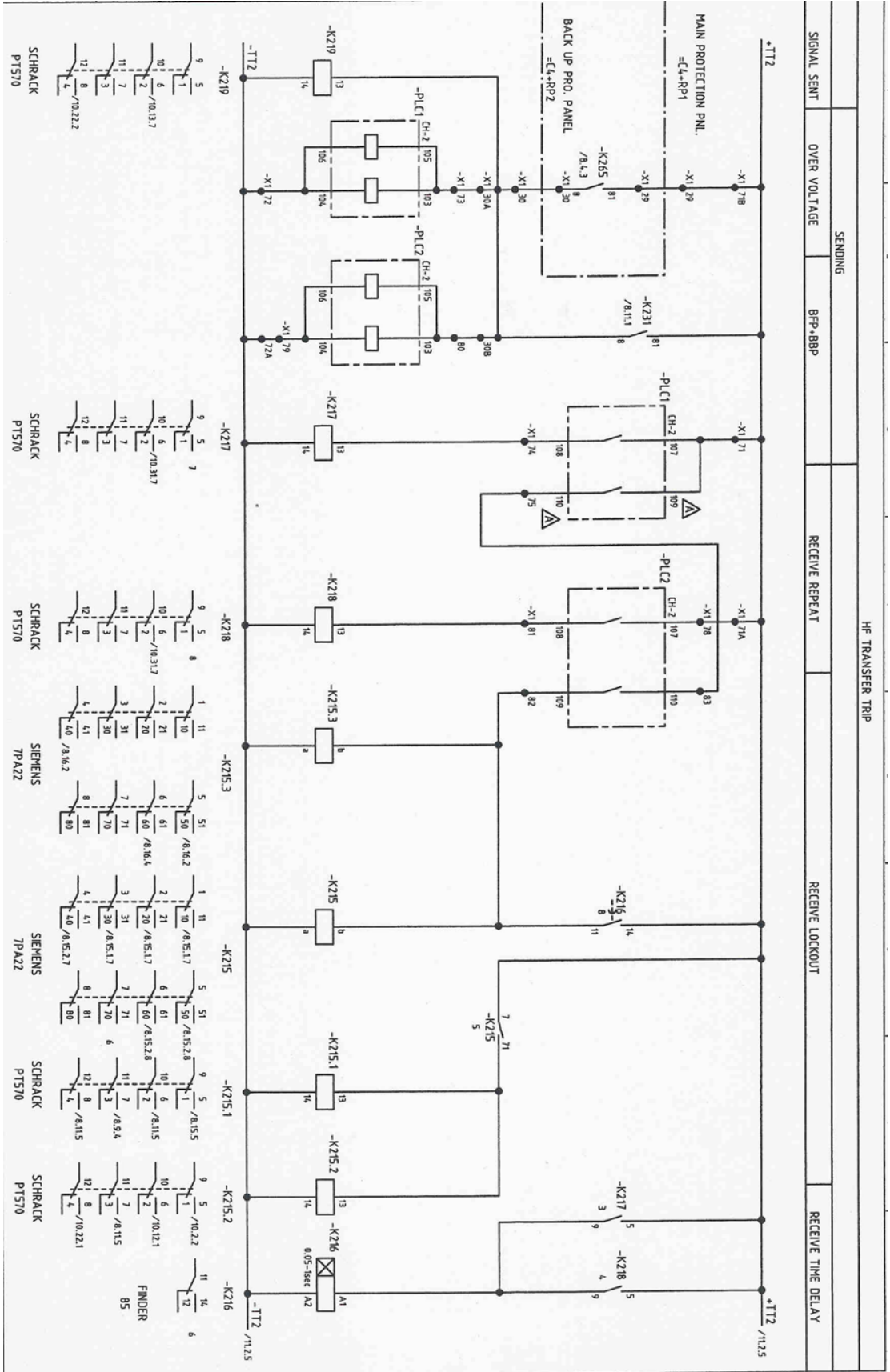


Şekil 4.22 Ana mesafe koruma rölesi-2 kesici bağlantısı

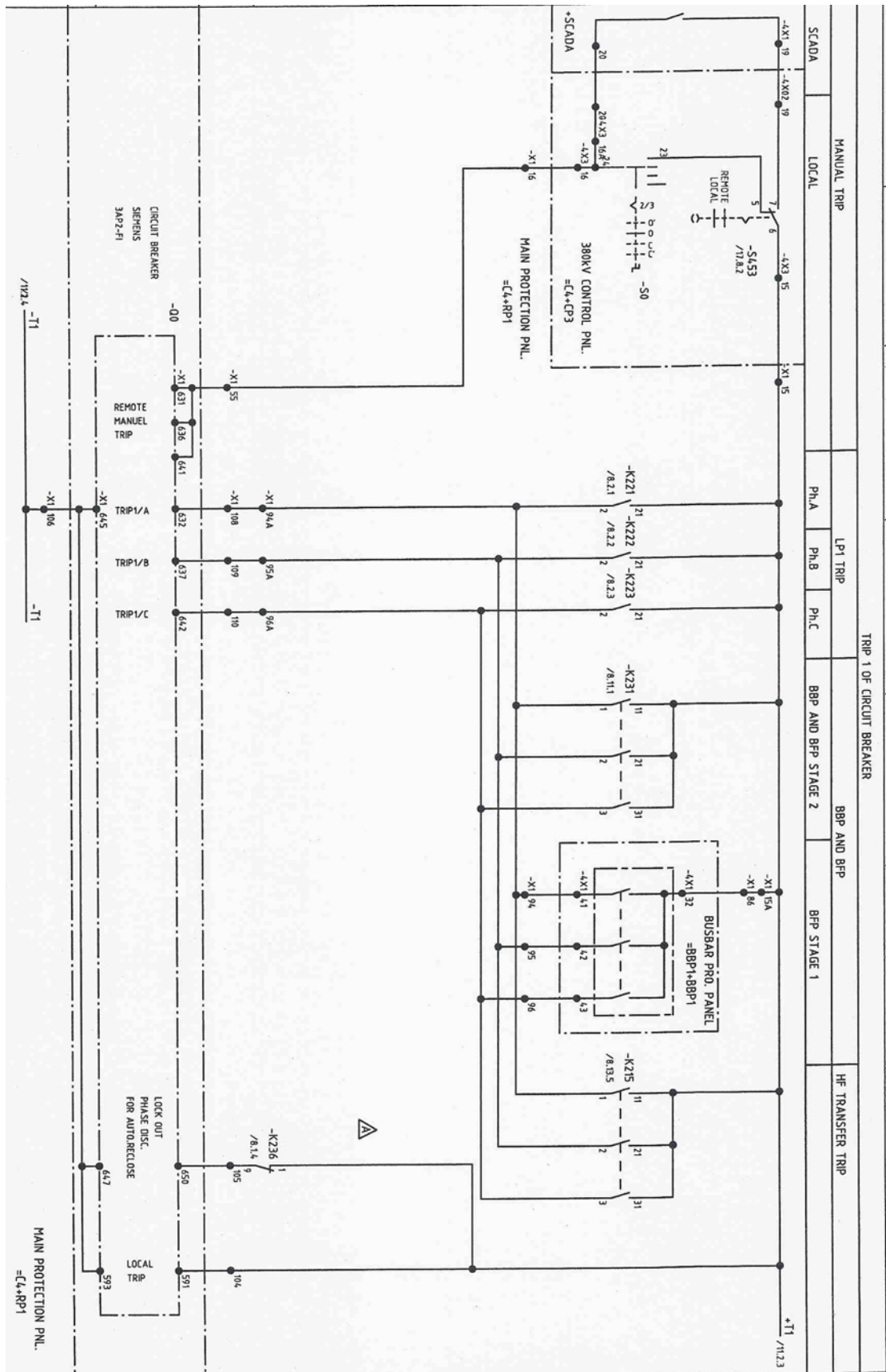


Şekil 4.23 Ana mesafe koruma röleleri tekrar kapama blokajı

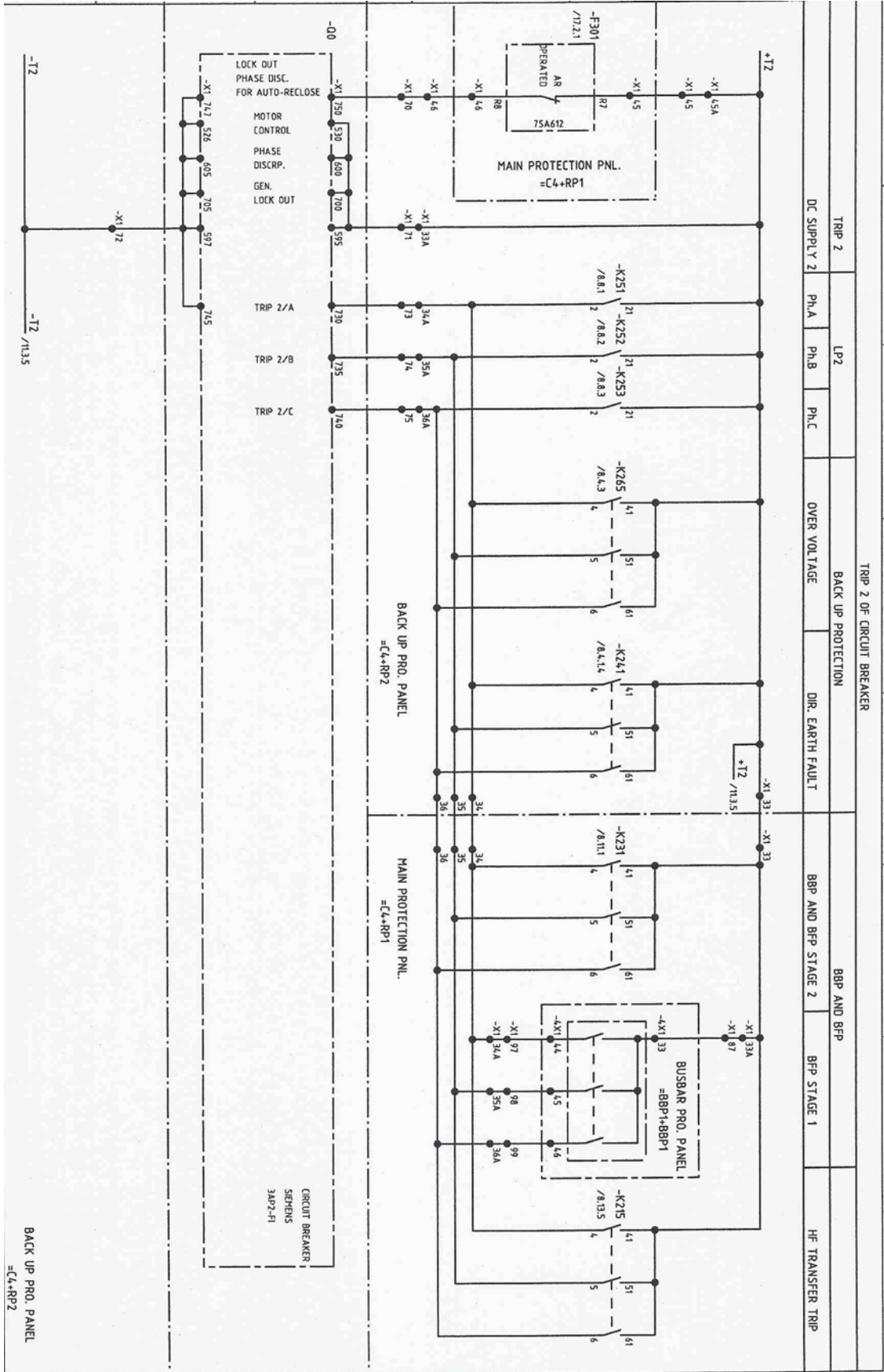
BREAKER FAILURE-BUSBAR PROTECTION									
TRIPPING CONTACTS		BFP	INITIATION						
BFP AND BFP STAGE 2	OPERATED C.B. MAN. CLOSE	C.B. NOT READY	LP1	HP1T	LP2	DEFP	OVER VOLTAGE		



Şekil 4.25 Kuranportörler (PLC1-PLC2) bağlantıları



Şekil 4.26 Kesici 1 nolu açma bobini bağlantıları



Şekil 4.27 Kesici 2 nolu açma bobini bağlantıları

4.5 154 kV Havai Hat Koruması

Ülkemizde 154 kV havai hat koruması biri ana koruma (mesafe koruma), diğeri artçı koruma (aşırı akım, toprak arıza) olmak üzere iki koruma sisteminden oluşmaktadır. Mesafe koruma rölesi nümerik tipte, arıza kaydedici, arıza yeri tesbit özelliklerine sahip ve müsaadeli aşırı menzil, müsaadeli düşük menzil, hızlandırma ve kilitleme düzenlerinde çalışabilir olmalıdır. Ülkemizde 154 kV havai hatların korunmasında genellikle müsaadeli aşırı menzil karşıdan açtırma sistemi kullanılmaktadır. Artçı korumada ise ters zaman karakteristikli ani elemanlı üç faz aşırı akım röleleri ve sabit zaman karakteristikli ani elemanlı aşırı akım toprak rölesi ile yapılır. 154 kV mesafe koruma ile anlatılanları Siemens firmasından alınan projeler üzerinde inceleyelim;

İlk sayfada (şekil 4.28) yine proje tek hat şeması görülmektedir. Ay1, Ay2, Ay4, Ay3 ayırıcıları, TB toprak bıçağını, Ke kesiciyi tanımlamaktadır. Akım trafosu 3 çekirdekli olup; 1. çekirdek ölçü, 2. çekirdek mesafe koruma için , 3. çekirdek aşırı akım-toprak arızası ve kesici arıza koruması için kullanılmıştır. Gerilim trafosundan da hattın gerilim bilgisi alınmaktadır. Kontrol panosunda Ay1a, Ay2a, Ay4a, Ay3a ayırıcı anahtarı , Kea kesici anahtarı bulunmaktadır bu anahtarlar sayesinde ilgili cihazın konumu görülebilir ve manevrası yapılabilir , ayrıca Tba toprak bıçağı konum anahtarı da bulunmaktadır. Kontrol panosunda ayrıca wattmetre, varmetre, ampermetre, voltmetre gibi ölçü cihazları bulunur. Arızaları gözlemlediğimiz ışıklı ihbar tablosu da IRK ile ifade edilmiş olup röle panosundan yardımcı röleler ile kontaklar alınıp ışıklı ihbar tablosuna girilmiştir. Röle panosunda ise Mesafe koruma rölesi, aşırı akım-toprak arıza rölesi, test blok, yardımcı röleler, transducerler bulunmaktadır.

2. sayfada (şekil 4.29) akım trafosunun çekirdeklerinden alınan akım bilgileri, 3. sayfada (şekil 4.30) gerilim trafosundan alınan gerilim bilgileri görülmektedir.

4. sayfada (şekil 4.31) Z ile ifade edilen cihaz mesafe koruma rölesidir röleye Z/T ile ifade edilen test blok üzerinden gerilim ve akım girilmiştir. Ayrıca ilgili bara gerilimi seçilerek röleye girilir röle bu gerilimi hattın gerilimi ile karşılaştırarak kontağı vasıtasıyla senkronizasyon müsaadesi verir bu müsaade kesicinin kapamasında veya tekrar kapamasında kullanılarak olası bir asenkron durumun önüne geçilmiş olunur. I ile ifade edilen cihaz sistemin artçı koruması olup aşırı akım-toprak arıza rölesidir röleye hattın akımı girilmiştir aynı zamanda akım kesici arıza-bara koruma panosuna gönderilmiştir.

5. sayfada (şekil 4.32) mesafe rölesi (Z) ile yüksek frekans (HF) kuranportör diğer ingilizce ismi ile power line carrier (PLC) cihazı arasındaki bilgi alışverişi gözükmektedir. Daha öncede belirtildiği gibi ülkemizde 154 kV enerji iletim hatları müsaadeli aşırı menzil karşıdan açtırma sistemiyle korunmaktadır bu sisteme göre;

Hattın %85'lik kısmında röle müsaade sinyalinin bağımsız açma yapar, karşı merkeze bildirir ve buna kademe 1 denilir (Z1). Röle karşı merkezin ötesini görecektir şekilde aşırı menzil kademesinde (hattın %120'sini içine alacak şekilde) bir arıza tesbit ettiğinde ise açma yapmaz karşı merkeze arıza tesbit ettiğine dair bir sinyal gönderir eğer karşı merkezden de arıza sinyali almışsa açma yapar.

Projede Z mesafe rölesi arıza tesbit ettiğinde R10 çıkış kontağını (rölenin K5-K6 uçları) kapatır ve HF kuranportör cihazının 103 nolu giriş ucuna arıza tesbit edildiğine dair bilgi girilmiş olur böylece bu bilgi kuranportör üzerinden karşı merkeze iletilmiş olur. Aynı şekilde eğer karşı merkezden de arıza sinyali gelmiş ise HF cihazı 107-108 nolu kontağını kapatır bu bilgi Z mesafe rölesinin BI4 (rölenin F8-F10 uçları) giriş ucuna girilerek rölenin bu bilgiyi işlemesi dolayısıyla bir açma vermesi sağlanır. Eğer sinyal iletiminde bir arıza olmuş ise HF kuranportör cihazı 114-113 uç nolu kontağını kapatır HFy yardımcı rölesi yardımıyla bu sinyal alınarak ışıklı ihbar tablosuna veya skada bilgi sistemine ihbar verilir. Aynı şekilde karşı merkezden arıza tesbit sinyali alınmışsa HFAy, karşı merkeze arıza tesbit sinyali gönderilmişse HFGy yardımcı rölesi yardımıyla sinyaller alınarak ilgili yerlere örneğin skada sisteminde kullanılmak üzere gönderilir.

6. sayfada (şekil 4.33) Z mesafe rölesi görülmektedir. F1-F2 uçları ile 110V DC çalışma gerilimi röleye girilmiştir. BI3 giriş ucuna (F7 ucu) gerilim trafosunun sekonder tarafında bulunan otomatik sigortanın attı bilgisi girilmiştir bu sigorta attığında hattın gerilim bilgisi alınması söz konusu değildir. Röle bu bilgiyi aldığı anda hafızasında tuttuğu en son gerilim değerini hesaplamalar için kullanır. R1 çıkış kontağı (R5-R1 uçları) ile genel arıza tesbiti sinyali ihbar amaçlı ZCy yardımcı rölesi yardımıyla alınmıştır. R14,R15,R16 çıkış kontakları ile (K12-K11,K14-K13,K16-K15 uç numaraları) sırasıyla ayrı ayrı A,B,C fazları için açma sinyali alınmıştır. Açma sinyalleri test blok üzerinden yardımcı röleye gitmektedir. Sistem çalışır durumdayken röleyi test etmek istersek blok devreyi keser böylece röle açma verdiğinde bu sinyal yardımcı röleye ulaşmayacağından kesicinin de gereksiz yere açması önlenmiş olur. BI5 giriş ucuna (F9 ucu) kesiciden yardımcı röle yardımıyla alınan kesici hazır değil sinyali (KDdy yardımcı rölesi kontağı) girilir. Bu kontak sayesinde eğer kesicide bir arıza varsa röle tarafından kapama yapılması önlenmiş olur. Örneğin kesici arızalandı ve

tekrar kapama yapılacak kesici tekrar açamayacak durumda ise bu durumda kesicinin tekrar kapatılması pekte mantıklı bir durum değildir. Aynı şekilde skada üzerinden kapama yapılırken senkronizasyon müsaadesi için röle izin verir kesicide bir sorun varsa röle bu müsaadeyi otomatik olarak vermeyerek yine bir sorunun önüne geçmiş olur. BI10 giriş ucu (J6 ucu) tekrar kapamayı bloke etmek için kullanılır. Kontrol panosu üzerinden 0-1 anahtarı yardımıyla tekrar kapama iptal edilebilir, bir diğer durum kesici arıza-bara korumadan açma sinyali gelmiş ise tekrar kapama kesinlikle yapılmaz. Artçı yardımcı koruma çalışmışsa yine tekrar kapama iptal edilir. Rölenin F3-F4 uçları ile rölenin arızalı olduğu bilgisi ZAY yardımcı rölesi ile ilgili yerlerde kullanılmak üzere alınır.

Projede I ile gösterilen, sistemin artçı koruması olan aşırı akım-toprak arıza rölesidir. 30-31 uç numaralı uçlarıyla röleye 110V DC çalışma gerilimi girilmiştir. 15-16 uç numarasıyla röle arıza tesbit ettiğinde açma vererek Iy1-Iy2 yardımcı rölelerini çektirir ve bu sinyaller ilgili yerlerde kullanılır.

7. sayfada (şekil 4.34) Z mesafe rölesi görülmektedir. BI2 giriş ucuna (F6 ucu) kesici elle kapama sinyali girilir kesicinin kontrol panosu üzerinden kapanması veya skada üzerinden kapanması durumunda bu giriş ucu aktif olur. BI8 giriş ucuna (J5-J3 uçları) ise kesicinin kapalı, devrede konumu girilir. Röle bu iki sinyali tekrar kapama ve birtakım mantık uygulamaları için kullanır. R3 çıkış kontağı ile 2. kademe açma, R4 çıkış kontağı ile 3. kademe açma, R5 çıkış kontağı ile tekrar kapama işletmede, R2 çıkış kontağı ile genel açma, R7 çıkış kontağı ile de senkronizasyon müsaade sinyalleri bilgi için yardımcı röleler yardımıyla alınmıştır. Söz konusu bu bilgiler skada sistemine gönderilir.

8. sayfada (şekil 4.35) kesici arıza-bara koruma panosuna giden, gelen sinyaller görülmektedir. AAcy, BAcy, CAcy yardımcı röle kontaklarıyla mesafe koruma açmaları her faz için ayrı ayrı, Iy2 yardımcı rölesi kontaklarıyla aşırı akım açması, kesici arıza-bara koruma panosuna gönderilir. Ayrıca kesici elle kapama sinyali de sistemin hızlı çalışması için gönderilir. Kesici arıza bara koruma panosundan ise bara koruma-kesici arıza kademe 2 açma sinyali alınarak KBK açma rölesine girilir. Bu açma kesicinin 1 ve 2 nolu açma bobinlerini açtırır. Kesici arıza-bara koruma sistemi daha sonra ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

9. Sayfada (şekil 4.36) kesiciden alınan arıza ihbar sinyalleri görülmektedir. Sırasıyla kesici motoru arızalı, kesici hazır değil, kesici gaz basıncı düşük, kesici yakın konumda, kesici faz uyuşmazlığı sinyalleri yardımcı röle üzerinden alınmıştır.

10. sayfada (şekil 4.37) ise kesici açma-kapama kumanda devresi bulunmaktadır. Kesicinin

açması ve kapaması iki şekilde yapılabilir. Kesici, kumanda panosu üzerinden kumanda edilebilir veya kesici uzaktan yani skada üzerinden kumanda edilebilir.

Kesici kumanda panosu üzerinden kumanda edilecekse Uya yakın-uzak seçme anahtarı yakın konumuna alınır. (1-2-3 uç numaraları). Kea kesici anahtarı sola çevrilirse (23-24 uç numaraları) Ac klemensleri üzerinden röle panosuna oradan da kesiciye açma kumandası verilir (730-735-740 uç numaraları), eğer sağa çevrilirse (21-22 uç numaraları) kesiciye kapama kumandası verilir (610 uç numarası) kesici kapatılırken aynı zamanda senkronizasyon şartlarına da bakılır bunun için Sa senkronizasyon anahtarı üzerinden de geçilir (9-10 uç numaraları), ayrıca kesicinin kapatılabilmesi için ayırıcıların ara pozisyonda olmaması gerekmektedir. Ayırıcılar ya açık ya da kapalı pozisyonda olmalıdırlar. Ayırıcı kapatılmak üzere olsun tam bu sırada kesiciyi kapatalım kesici ayırıcıdan hızlı kapanacağından ayırıcı kesici üzerine kapanır ve oluşacak arktan ayırıcının tahrip olması kaçınılmaz olur. Bunun için ayırıcılardan alınan kontaklar birleştirilerek yardımcı röle çektirilir ve kapama devresi KpKy (5-9 uç numaraları) yardımcı rölesi kontağı ile kilitlenir.

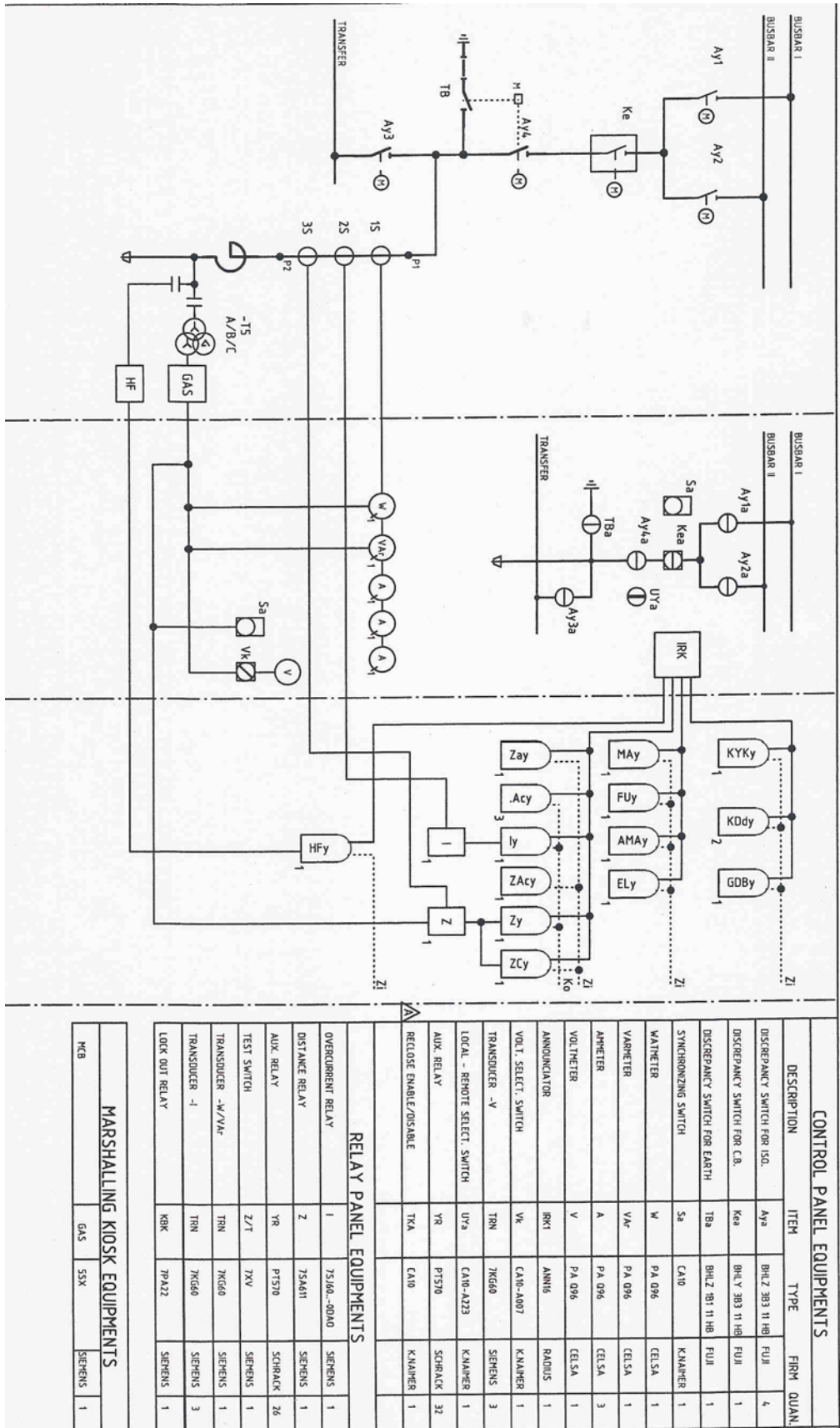
Kesici uzaktan yani skada üzerinden kumanda edilecekse , Uya yakın-uzak seçme anahtarı uzak konumuna alınır. Skada üzerinden gelen açma komutu kontrol panosundaki Ac klemensleri üzerinden röle panosuna oradan da kesiciye gider (730-735-740 uç numaraları). Skada üzerinden gelen kapama komutu kontrol panosundaki KpS klemensinden geçerek röle panosuna gider röle panosunda Z mesafe koruma rölesinin BI13 girişine (J12 uç numarası) girer röle bu girişi algıladığında uzaktan kapama yapıldığını değerlendirerek senkronizasyon şartlarını da göz önüne alarak R13 çıkış kontağını (K9-K10 uç numaraları) kapatır. Yine ayırıcılarda ara pozisyonda değilse kesiciye kapama kumandası verilmiş olunur. (610 uç numarası)

Eğer sistemde açma gerektirecek bir arıza tesbit edilmişse ; Mesafe korumanın açmaları her faz için ayrı olmak üzere kesicinin bir nolu açma bobinini açtırır. A fazı için kesicinin 631 nolu uç numarası, B fazı için kesicinin 636 nolu uç numarası, C fazı için kesicinin 641 nolu uç numarası enerjilendirilir.

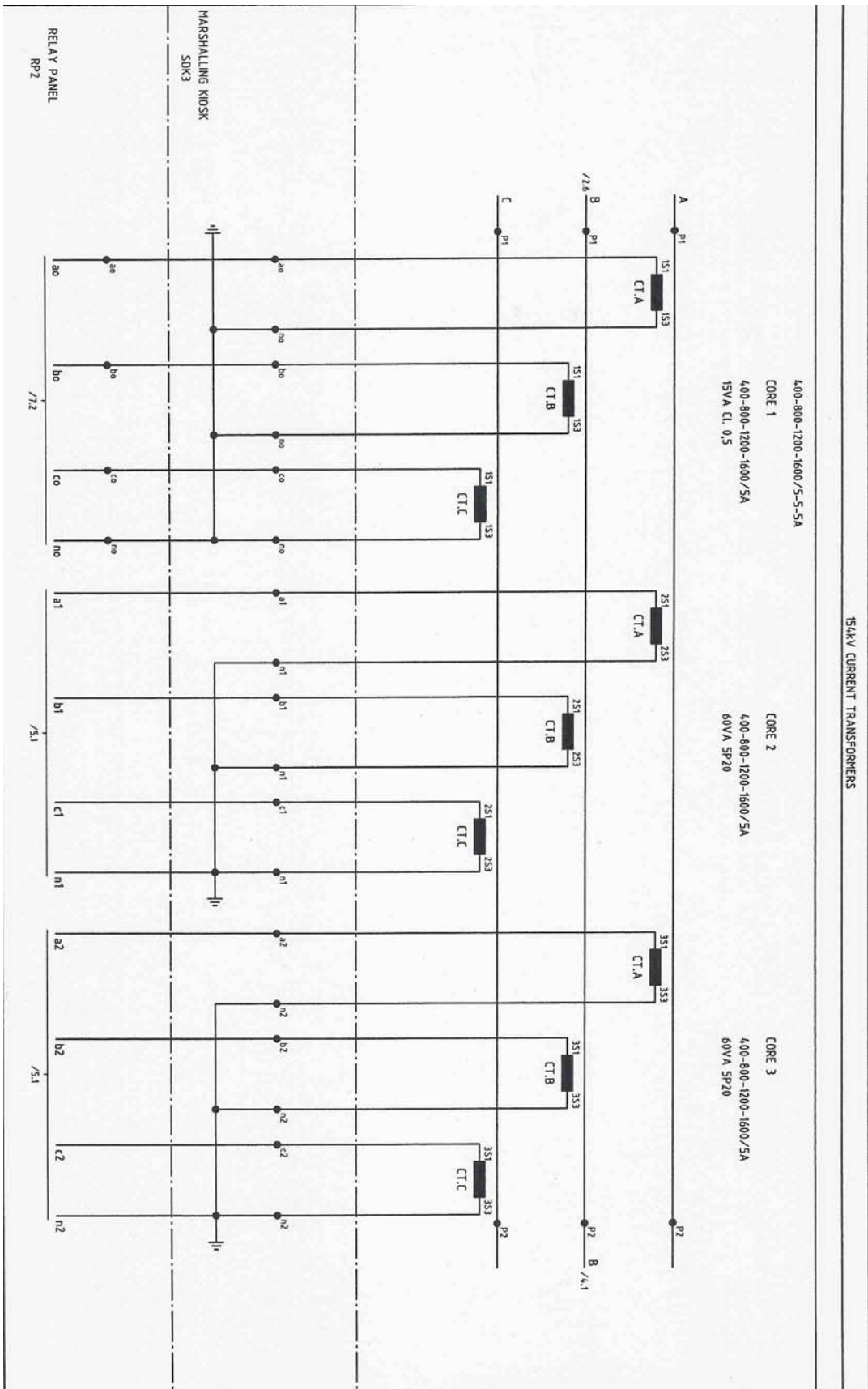
Ayrıca bara korumadan gelen açmalarda projede gözükmektedir. (KBK)

Kesicinin iki numaralı açma bobini artçı koruma olan aşırı akım-toprak arıza rölesi tarafından açtırılır. Ayrıca yukarıda anlatılan elle açmalarda ikinci bobin tarafından açtırılır. Yine bara korumadan gelen açmalarda ikinci bobini açtırır.

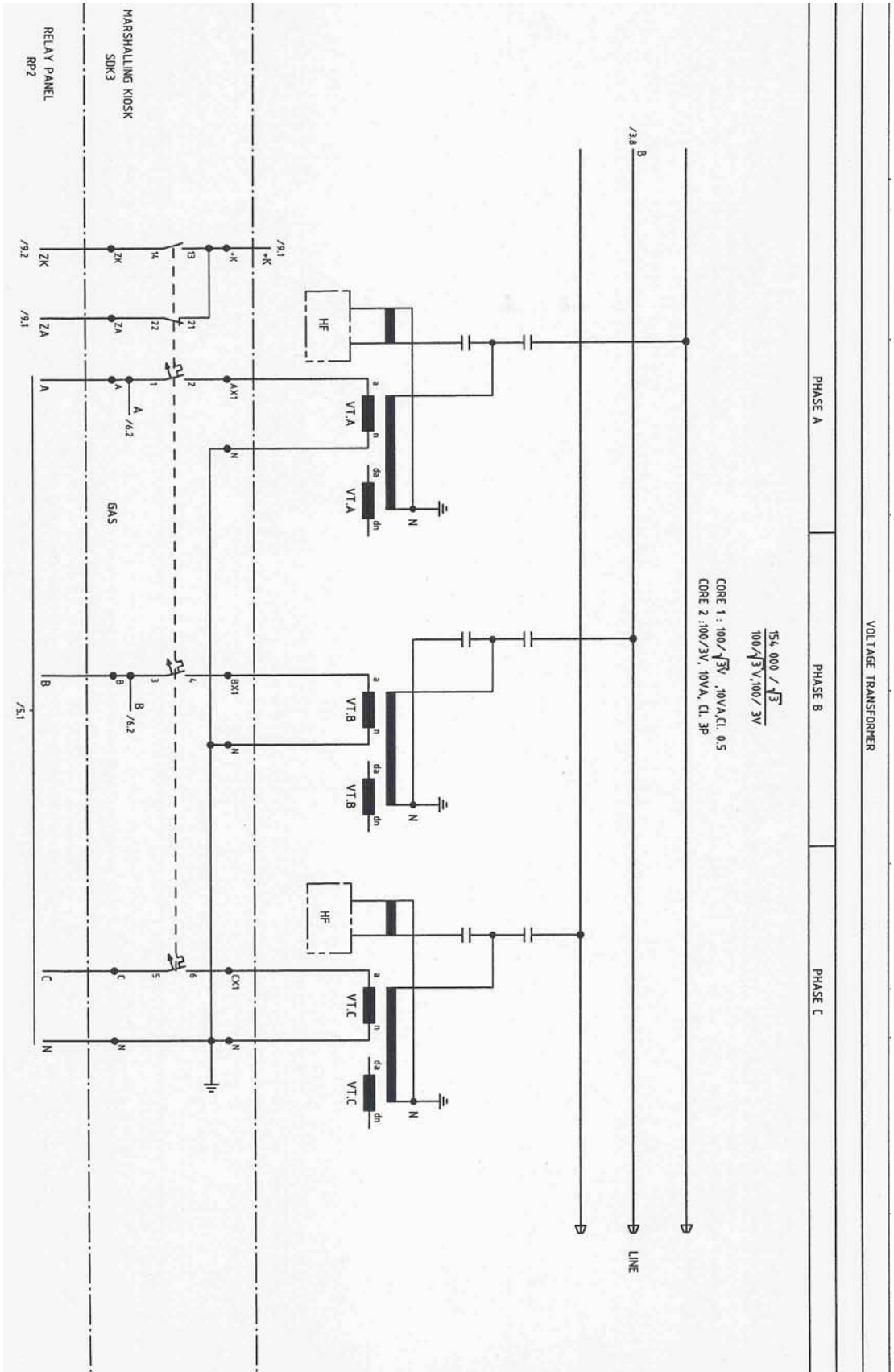
Z mesafe koruma rölesi kesiciyi tekrar kapatacaksa R12 çıkış kontağını (K8 uç numarası) senkronizasyon şartlarını da dikkate alarak kapatır. Eğer yine ayırıcılar ara konumda değilse kesiciye kapama kumandası verilmiş olunur. (610 uç numarası)



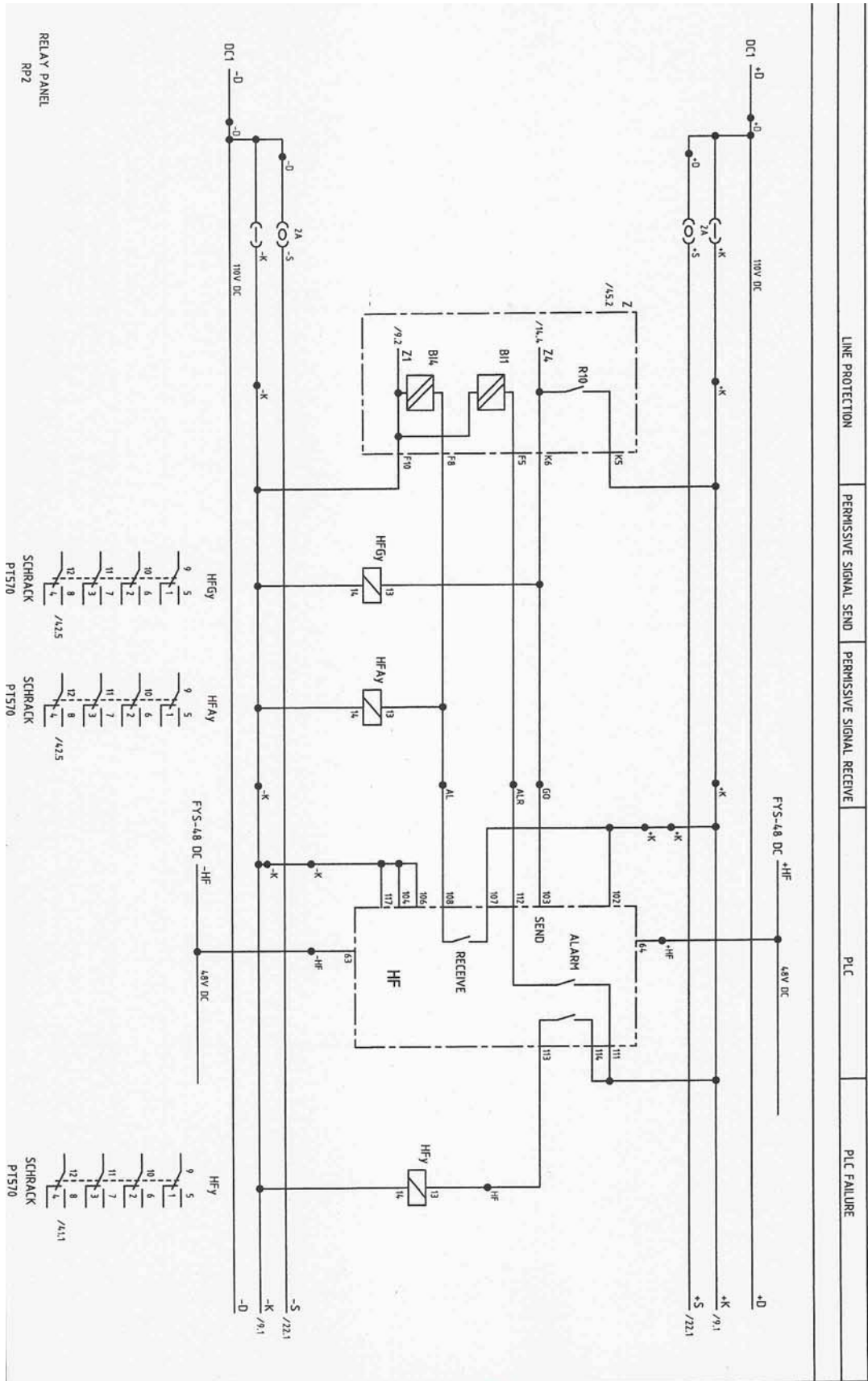
Şekil 4.28 Tek-hat şeması



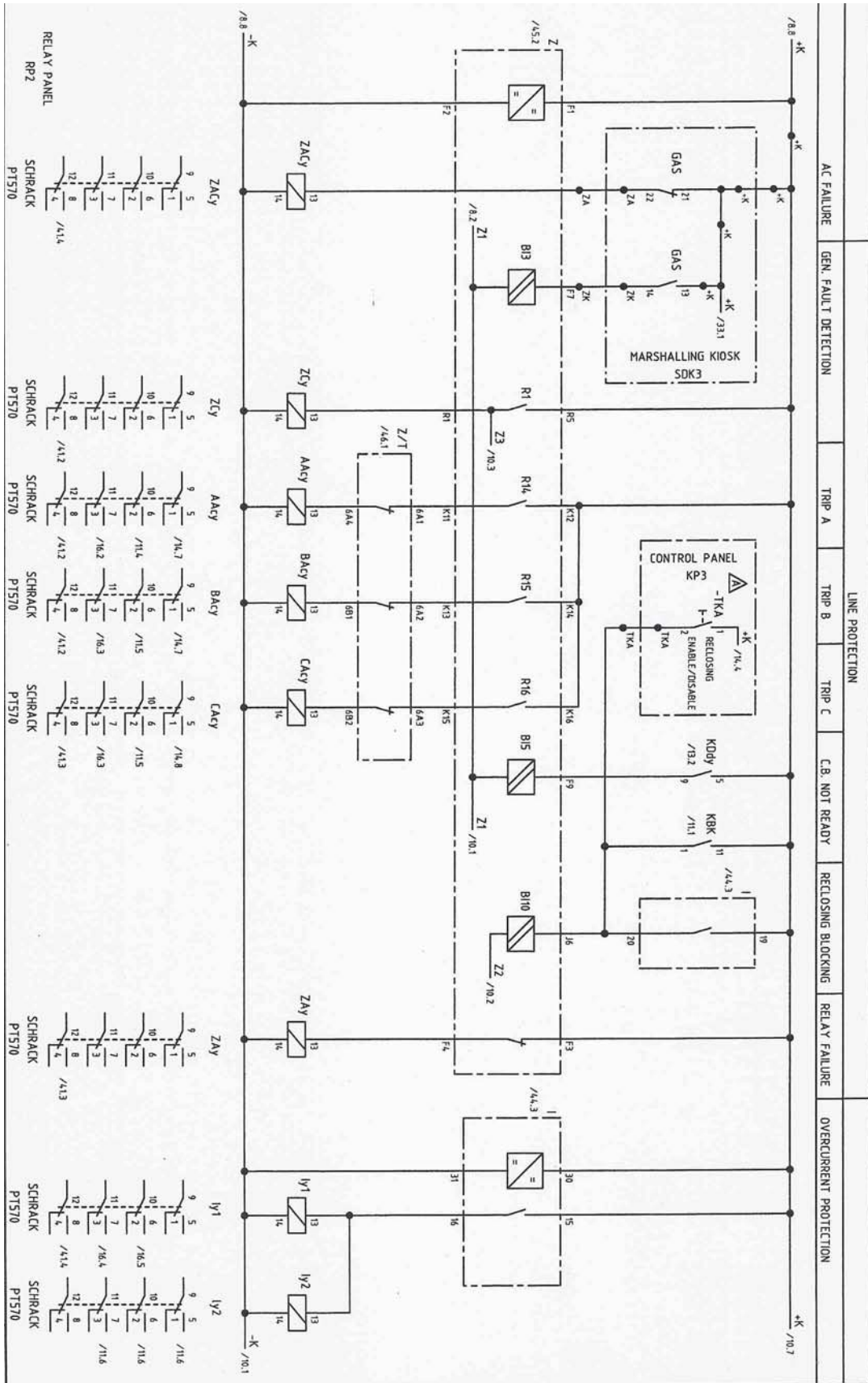
Şekil 4.29 Akım trafosu bağlantısı



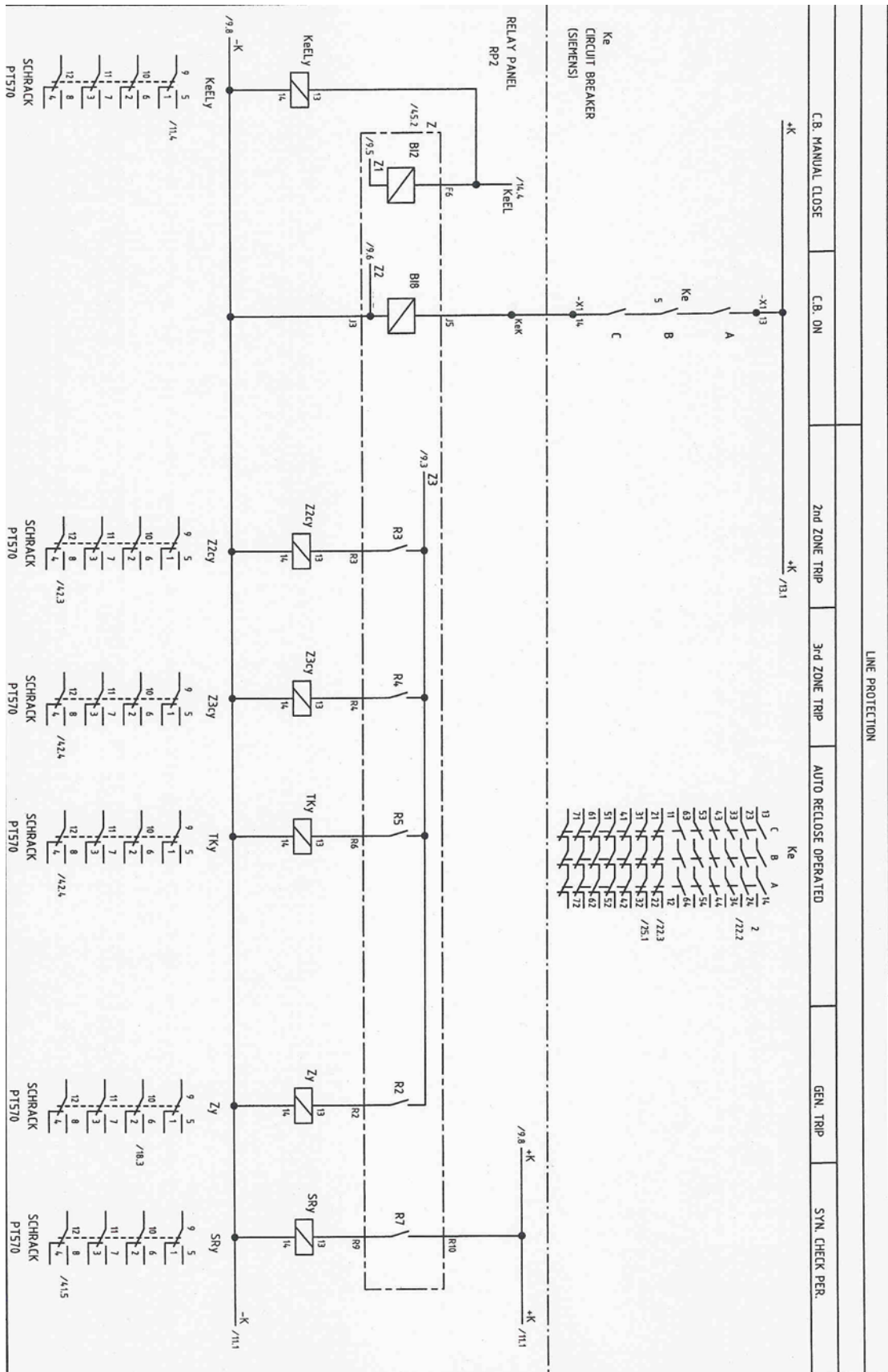
Şekil 4.31 Mesafe koruma rölesi akım-gerilim bağlantısı



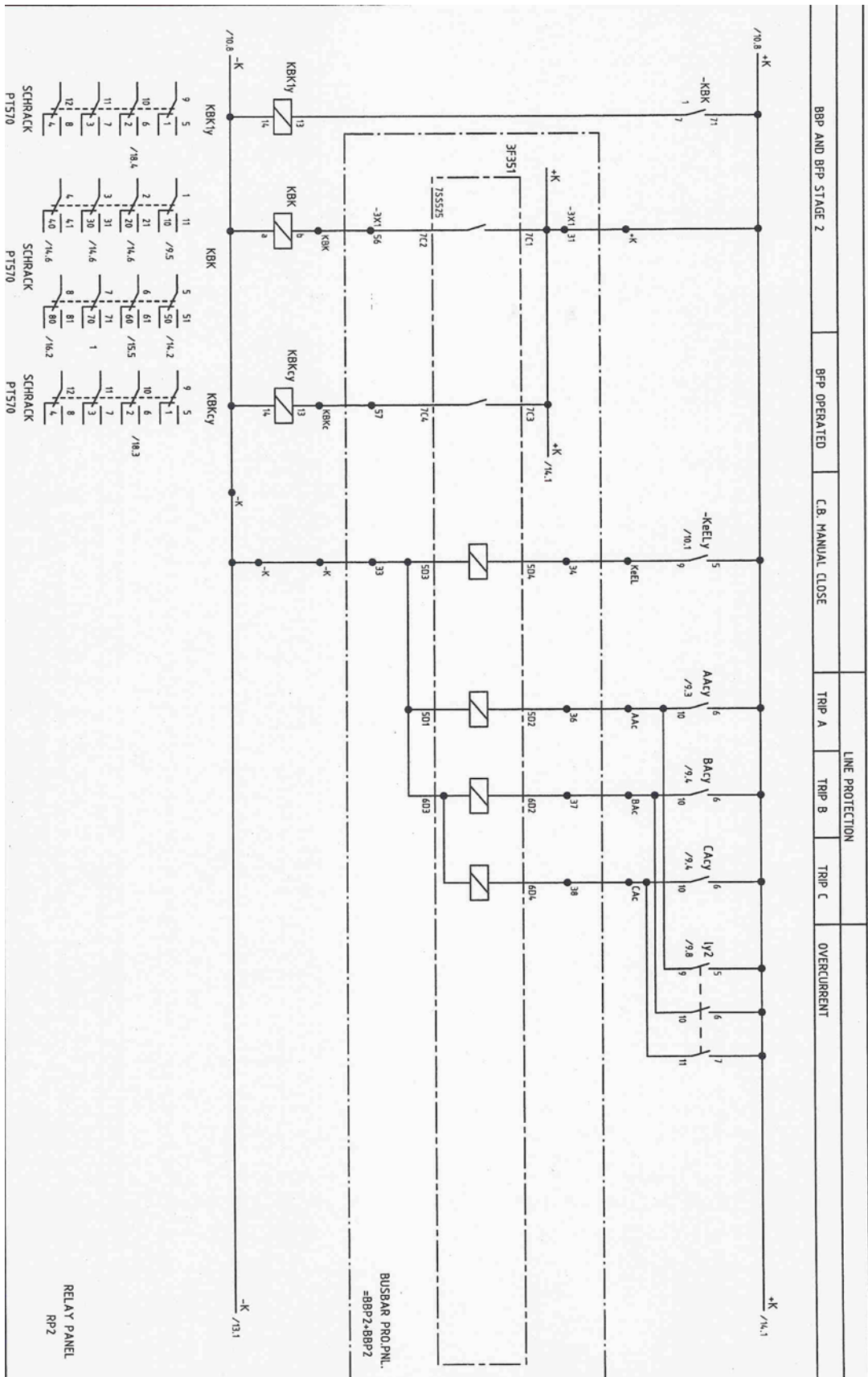
Şekil 4.32 Mesafe koruma rölesi kuranportör (HF,PLC) bağlantısı



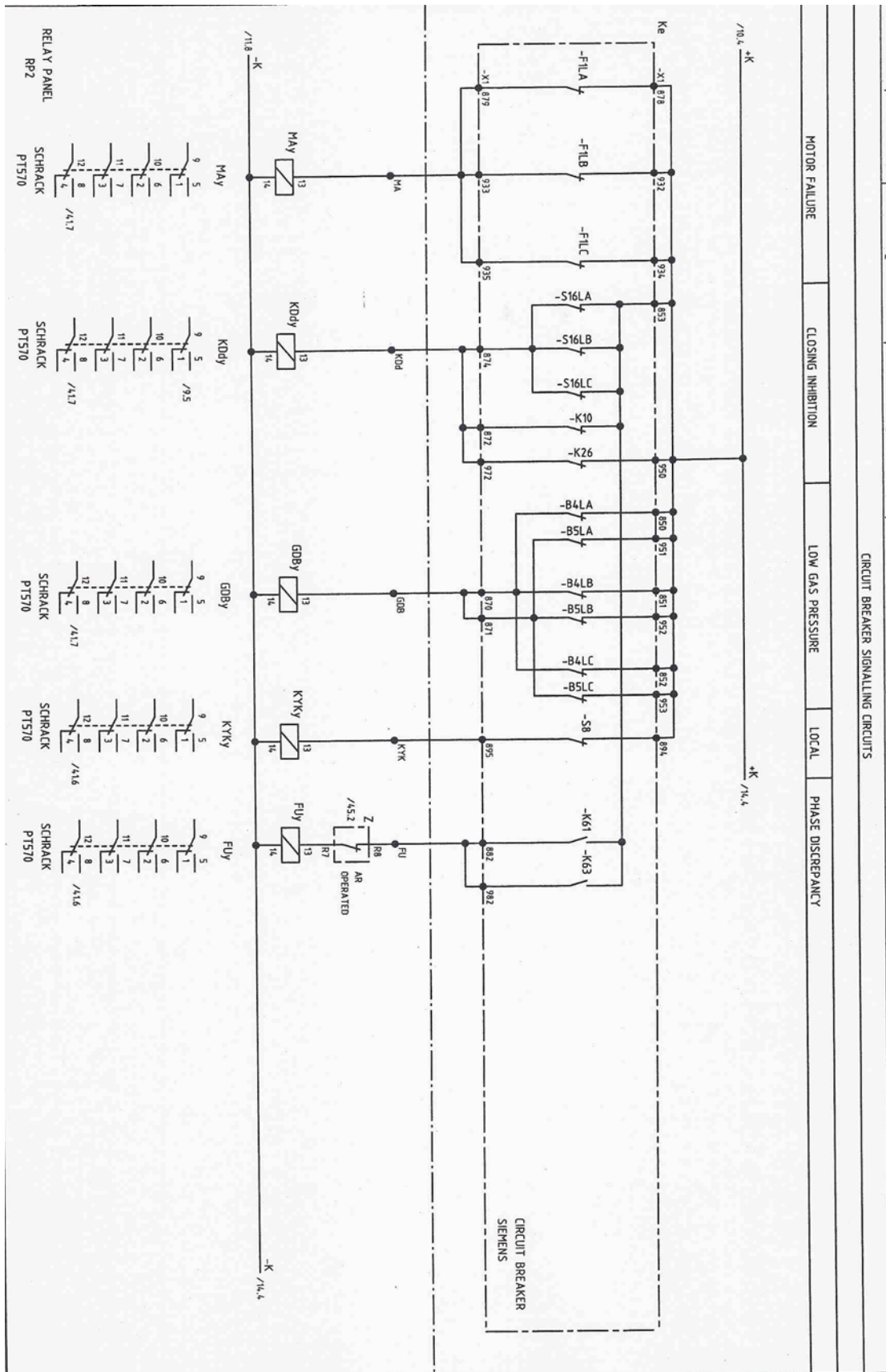
Şekil 4.33 Mesafe koruma rölesi açma-ihbar çıkışları



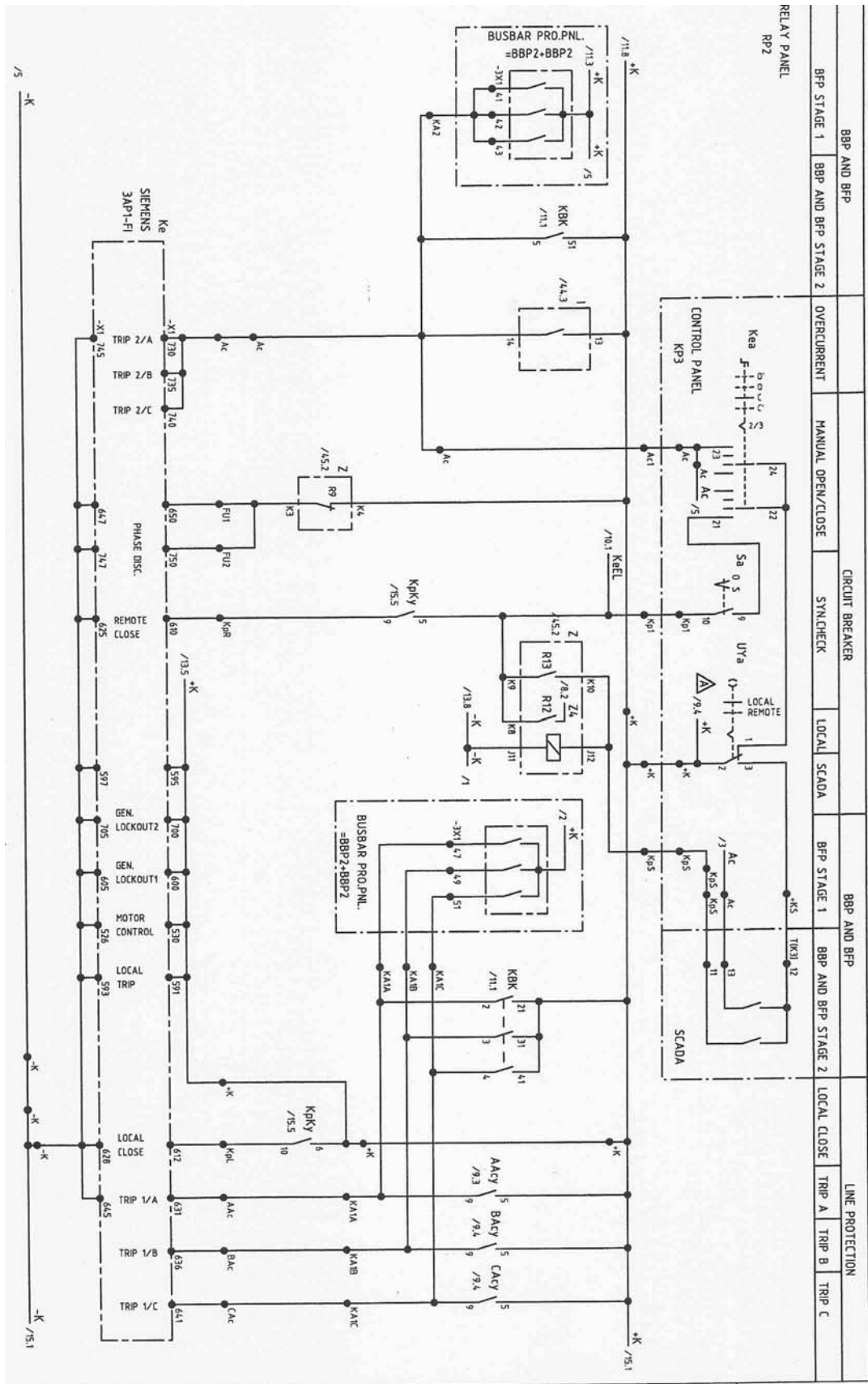
Şekil 4.34 Mesafe koruma rölesi ihbar çıkışları



Şekil 4.35 Kesici arıza-bara koruma bağlantıları



Şekil 4.36 Kesiciden alınan arıza sinyalleri



Şekil 4.37 Kesici açma kapama kumanda devresi bağlantıları

4.6 34,5 kV Havai Hatların Korunması

34,5 kV havai hatlar genellikle kısa iletim hatları olduğu için sadece, tekrar kapama fonksiyonuna sahip aşırı akım – toprak arıza rölesi ile korunurlar.

4.7 Kesici Arıza Koruması ve Bara Koruma

380 kV şalt tesislerinde bir fiderde arıza meydana gelmesi durumunda o fiderde bulunan koruma röleleri durumu tesbit ederek kesiciye açma kumandası vermektedir. Fakat kesici de bir problem olursa (motor, açma devresi, açma mekanizması.....v.s.) kesici açamayacak ve böylece tesisin,hattın, trafonun zarar görmesi kaçınılmaz olacaktır. Bu tesislerde cihazlar çok pahalı olduğundan böyle bir riske girmek söz konusu değildir. Ayrıca böyle bir zarar sonucunda oluşabilecek uzun süren elektrik kesintisinin de kabul edilmesi mümkün değildir. Bunun için bara koruma ve kesici arıza koruma sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemde prensip olarak her fidere bir röle (bay unit) ayrılır bu röleye o hattın akım bilgisi, kesici, bara ayırıcı konumları, arıza başladı bilgileri (Arızanın tipi önemli değildir , fiderin röle panosunda tüm arızalar, ana – yedek korumalar birleştirilerek bara koruma panosuna tek bir kontak gönderilir) girilir. Ayrıca bir adette ana röle (main-center unit) kullanılır bu ana röle her fiderin rölesi (bay unit) ile haberleşir. Tüm kararları ana röle verir , diğer röleler bir bağlantı elemanı gibi çalışır.

Örneğin havai hat fiderinde bir mesafe arızası olduğu varsayılın, mesafe koruma rölesi arızayı tesbit edince kontakları vasıtasıyla kesicinin açma bobinine açma sinyali gönderir bu aynı açma bilgisi bara koruma panosu içindeki koruma rölesine (bay unit) input olarak girilir bara koruma rölesine aynı zamanda (bay unit) fiderin akım trafosunun 4. sargısından alınan akım bilgisi ve bara ayırıcı konumları da girilmiştir. Fakat bu bilgiler fiber optik kablolar ile ana röleye (main-center unite) iletilir. Burada şu soru akıllara gelebilir neden tüm bilgiler ana röleye direk girilmiyor da bir arabirim üzerinden giriliyor. Burada 15 fiderlik bir sistem düşünelim sahadan gelecek akım bilgileri ve ayırıcıların konum bilgilerini göze aldığımızda ve açma bilgilerinin gönderilmesini alınmasını düşündüğümüzde 15 fider için çok sayıda kablunun röleye girilmesi pekte pratik değildir. Bunun yerine bay unitlere bilgiler girilir buradan tek kablo ile dijital olarak ana röleye iletilir. Eğer fiderde bir arıza oluşmuş ve kesici

de sorunsuz olarak açmışsa devreden geçen akım 0 olacaktır. Bara koruma rölesi (bay unit) koruma panosundan arıza başladı bilgisini ve sistemden geçen akımı alır ana röleye gönderir ana röle durumu bir süre takip eder eğer akım 0 değilse problem vardır ve kontakları vasıtasıyla fiderin bay unitini uyarır bay unitte fiderin kesicisine (her iki açma bobinine ayrı ayrı) birde kendisi açma gönderir (1st stage), ana röle bir süre bekler eğer devreden geçen akım 0 olmuşsa sorun çözülmüş demektir eğer akım 0 değilse sorun devam ediyor demektir. Burada fiderin bağlı bulunduğu baradaki tüm kesicilerin açılması gerekmektedir. Bunun için ana röle (main unit) diğer röleden (bay unit) aldığı ayırıcıların konum bilgilerini karşılaştırarak bu fiderin hangi baradan beslendiğini tesbit eder diğer rölelerden de (diğer fiderlerin bay unitlerinden) bu baraya bağlı tüm fiderleri bulur ve ana röle bu baraya bağlı fiderlerin bara koruma rölesini (bay unitleri) uyarır ve röle o fiderlerin kesicilerine açma gönderir. (2nd stage) Eğer fider havai hatsa P.L.C ile karşı istasyona bilgi gönderilir o taraf açar, böylece o hat devreden çıkarılmış olur arızalı fiderde kesici açılmamasına rağmen hat zarar görmemiş olur.



Şekil 4.38 7SS522 Bara koruma rölesi. Kaynak : Siemens, (2005), “7SS522 Busbar Protection Relay Catalogue”, Germany.

Şekil 4.38’de ana (main-center unit) 7SS522 bara koruma rölesinin önden görünüşü bulunmaktadır. Bu röleye 48 adet fidere kadar (bay unit) bağlantı imkanı sağlanmaktadır. Kontaklarının çalışma süresi 15ms’nin altındadır.

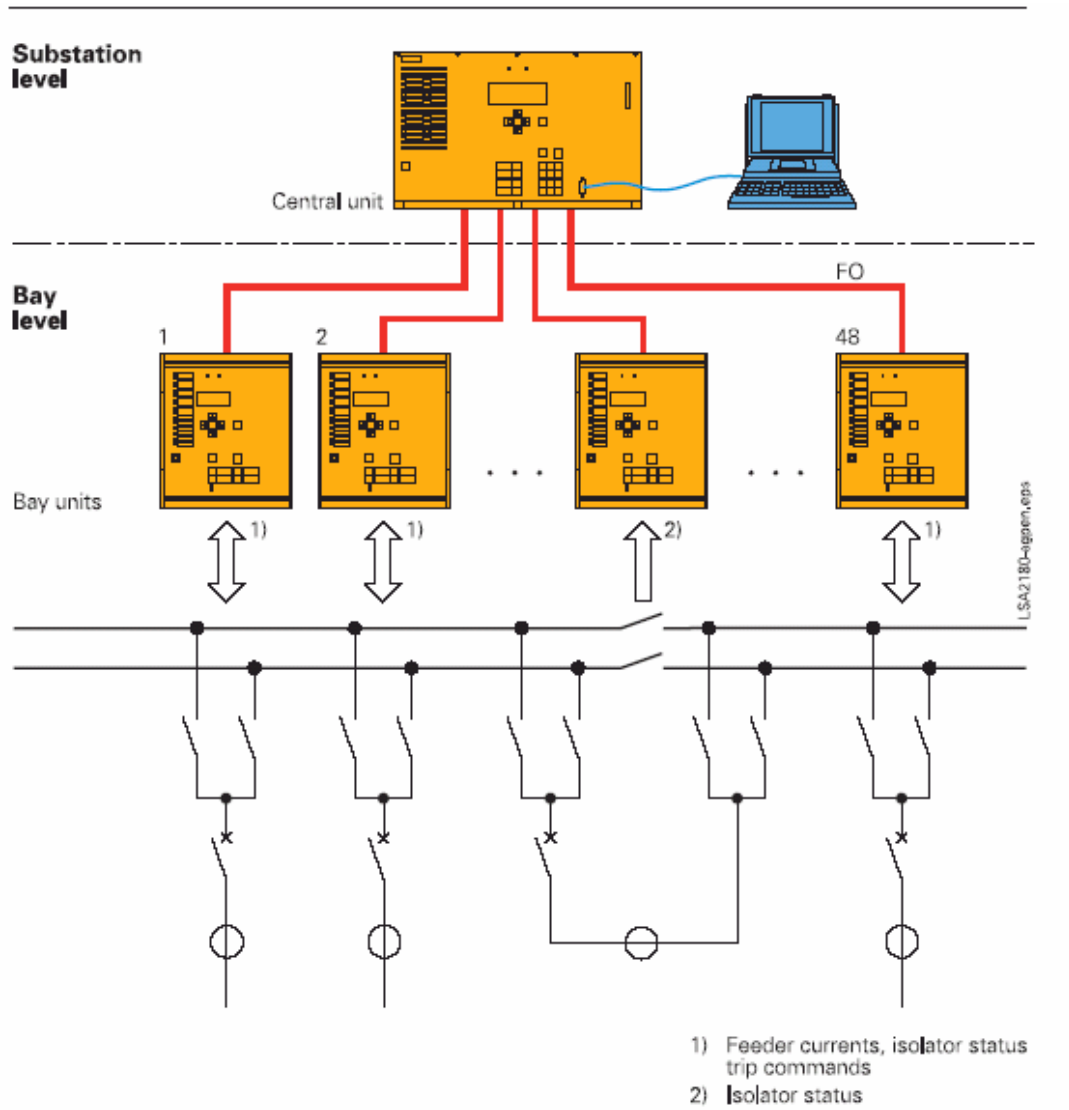


Fig. 9/18 Distributed system structure

Şekil 4.39 Bara koruma çalışma prensibi. Kaynak : Siemens, (2005), “7SS522 Busbar Protection Relay Catalogue”, Germany.

Şekil 4.39’da sistemin çalışması anlatılmıştır , bay unitler sahadan ilgili fidere ait ayırıcı konumlarını,akım bilgilerini, röle panosundan açma bilgilerini almakta durumu fiber optik kablo ile ana röleye (central-main unite) iletmekte ve ana rölede (central unittende) açma bilgilerini bay ünitlere aktarmaktadır.



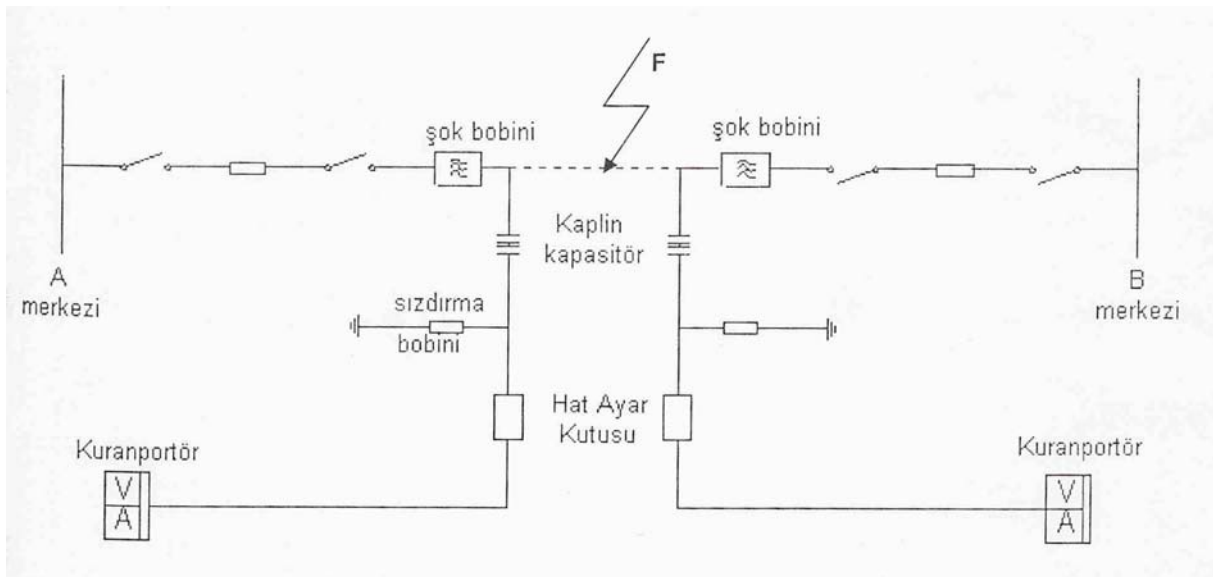
Şekil 4.40 7SS525 bay-unit bara koruma rölesi. Kaynak : Siemens, (2005), “7SS525 Busbar Protection Relay Catalogue”, Germany.

Şekil 4.40’de 7SS525 bay-unit bara koruma rölesi gösterilmiştir.

4.8 Enerji İletim Hatlarında Yaygın Haberleşme Yöntemleri

Rölelerin karşılıklı olarak haberleşmeleri, enerji iletim hattında kullanılan kuranportörler vasıtasıyla sağlanır. Enerji iletiminde güvenlik ve sürekliliği sağlamak için frekansları 50 kHz -500 kHz arasında olan iletişim sistemleri kullanılır. Bu sistemlere EİH Taşıyıcı (PLC ya da kuranportör) sistemleri denir. Bu cihazlar "Taşıyıcı "adını, her türlü bilgi ve ses işaretini radyo

frekanslı (RF) işaret üzerine bindirilerek ilgili yerlere taşıdıklarından alırlar. Bu iletişim sistemlerinde kullanılan iletişim ortamı EİH olduğundan radyo frekansı taşıyıcı işareti nasıl iletildiğinin ve EİH'daki değişikliklerin bu sistemi nasıl etkilediğinin bilinmesi gerekir. Elektrik enerjisinin taşınması amacı ile yapılan EİH'larının radyo frekanslı bir iletişim ortamı olarak kullanılması oldukça ekonomiktir. Ancak böyle bir iletişim ortamında kuranportör sisteminin çalışması için maliyeti artırıcı yönde de olsa ilave bazı elemanları kullanmak gerekir. Örneğin, şok bobini (hat tıkaçı), kaplin kapasitör, sızdırma bobini, hat ayar kutusu (tuner) vs. Güvenlik yönünden bu iletişim ortamının enerji iletimi için daima hazır durumda olması (arıza durumları hariç), iletişimin sürekliliğini sağlar. Kuranportör sisteminin iletim hattına bağlantı zinciri kısaca Şekil 4.41 deki gibidir.



Şekil 4.41 Bir kuranportör sisteminin EİH'na bağlanması. Kaynak : Aydoğdu, N., (2003), “İletim Hatlarında Arıza Modelleme ve Sayısal Rölelerle Koruma”, Fırat Üniversitesi FBE. Yüksek Lisans Tezi,Elazığ.

Şok Bobini: Ayarlandığı frekansa büyük empedans göstererek karşıdan gelen veya karşı istasyona gönderilen radyo frekanslı işaretin taşıyıcıya yönlendirilmesini sağlar.

Kaplin Kapasitör: 50 Hz lik hat gerilimine yüksek empedans göstererek 50 Hz lik akımın hat ayar kutusuna ve dolayısıyla taşıyıcı cihazına ulaşmasını engeller. Kapasite değeri 1000 pF-7500 pF değerleri arasındadır. Kullanılacağı hattın gerilim değerine göre seçilmelidir.

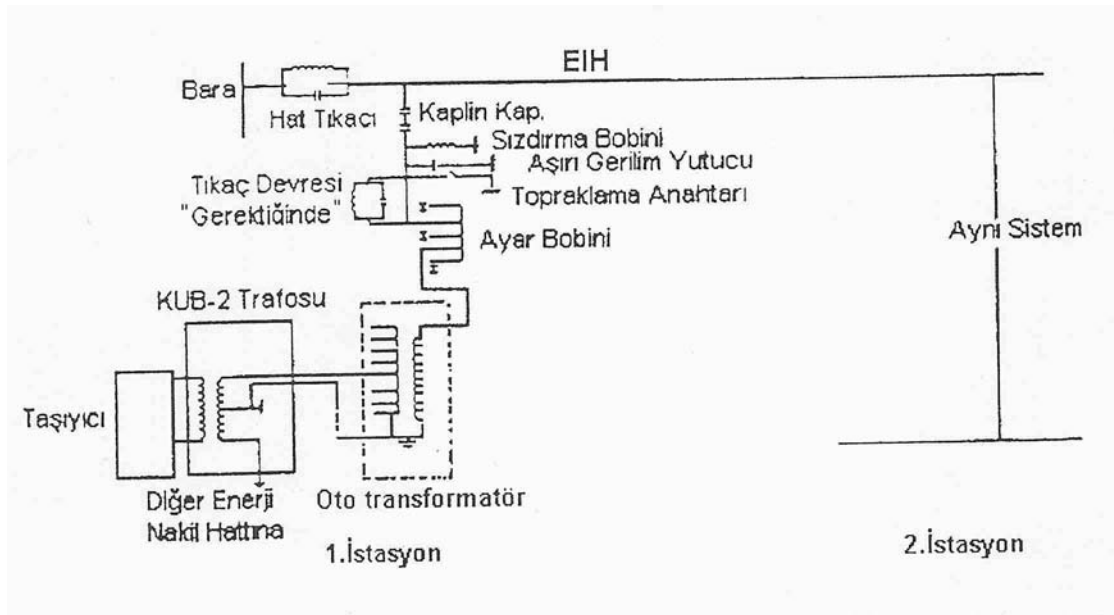
Sızdırma Bobini: Kaplin kapasitörün alt ucu ile toprak arasına bağlanır. Bu noktada oluşabilecek 50 Hz lik yüksek gerilimi topraklar, fakat radyo frekanslı işaretler için yüksek empedans göstererek taşıyıcıdan gelen işaretleri hat yönüne ve hattan gelen işaretleri

taşıyıcıya yönlendirir.

Hat Ayar Kutusu: Taşıyıcıların çıkış empedansını hat empedansına uydurarak radyo frekansı işaret gücünün karşılıklı olarak her iki yöne maximum düzeyde iletimini sağlar.

Koaksiyel Kablo: Taşıyıcı çıkışındaki RF'li işaretin hat ayar kutusuna veya hat ayar kutusu yönünden gelen işareti taşıyıcılara bozulmadan veya az zayıflama ile taşıyan karakteristik empedansı 75 ohm veya 125 ohm olan ekranlı kablolardır.

EİH üzerinden yapılan ses ve veri iletişiminde taşıyıcı dediğimiz radyo frekanslı alıcı/verici cihazlar kullanılmaktadır. Cihazlar düşük gerilim ve akımlarda çalışan elektronik devre elemanlarından imal edilmekte ve büyük akım ve gerilimlere maruz kalmaması gerekmektedir. Bu nedenle EİH'ne bağlanan bir cihaz EİH'nın yüksek geriliminden izole edilmelidir. İzolasyonu sağlayan hat aksesuarı kısaca kaplin dediğimiz gerilim transformatörlü kaplin kapasitörler ve sızdırma bobinleri'dir. Kaplinler EİH'nın yüksek gerilimlerini bir gerilim bölücü gibi bölerek cihaz tarafında çok küçük gerilim olmasını sağlarlar, bu gerilimse toprağa verilir . İki istasyon arasındaki haberleşme sisteminin prensip şeması şekil 4.42'teki gibidir.



Şekil 4.42 Sistemin prensip şeması, Kaynak : Özdemir, E., (2003), “Enerji İletim Hatları Üzerinden Haberleşme ve Veri İletimi”, Gazi Üniversitesi FBE.Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Taşıyıcılar ile yapılan haberleşme sistemi, enerji iletim hatları üzerinden aynı anda konuşma ve teleoperasyon işaretlerini çift yönlü olarak yapabilmek amacıyla geliştirilmiştir.

1-Konuşma kanalı (telefon)

2-Bilgi Kanalları (teleoperasyon)

a)Telemetre

b)Uzaktan kumanda

c)Telex

d)Koruma-Sinyalizasyon

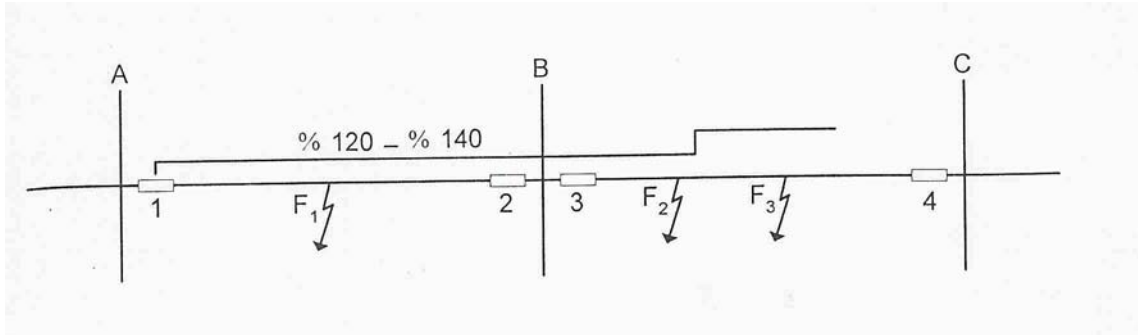
Taşıyıcılar, tek bir amaç için kullanılabileceği gibi birkaç amaç için aynı anda kullanım da mümkündür.

4.9 Mesafe Koruma Rölelerinin Telekoruma Düzenlerine Göre Çalışma Örnekleri

4.9.1 Yönlü Kilitleme Düzeni

Şekil 4.43'deki sistemde kullanılan mesafe koruma röleleri yönlü kilitleme sistemi ile çalışmaktadır. Rölenin Z1B aşırı menzil kademesi %120 -140'a ayarlanmaktadır. (Türkiyede %120'e ayarlanır) 1. kademe %85, 2. kademe %120, 3. kademe %185'e ayarlanır.

1. F_1 'deki arızada 1 ve 2 nolu röleler arızayı 1. kademe zaman gecikmesiz olarak açarlar.
2. F_2 'deki arızada 3 ve 4 nolu röleler arızayı 1. kademe zaman gecikmesiz olarak açarlar. Burada 1 rölesi de arızayı Z1B aşırı menzilden ve 2 rölesi de arızayı geri yönde görür. Fakat 2 rölesi arıza geri yönde olduğu için 1 rölesine kilitleme sinyali göndererek açmasını önler. Kilitleme sinyali alan 1 rölesi , arızanın hala geçmemesi durumunda 2. kademedan zaman gecikmeli olarak açar.
3. F_3 'deki arızada 3 ve 4 nolu röleler arızayı 1. kademe zaman gecikmesiz olarak açarlar. 3 nolu rölenin açmaması durumunda 1 rölesi 3. kademe açar.

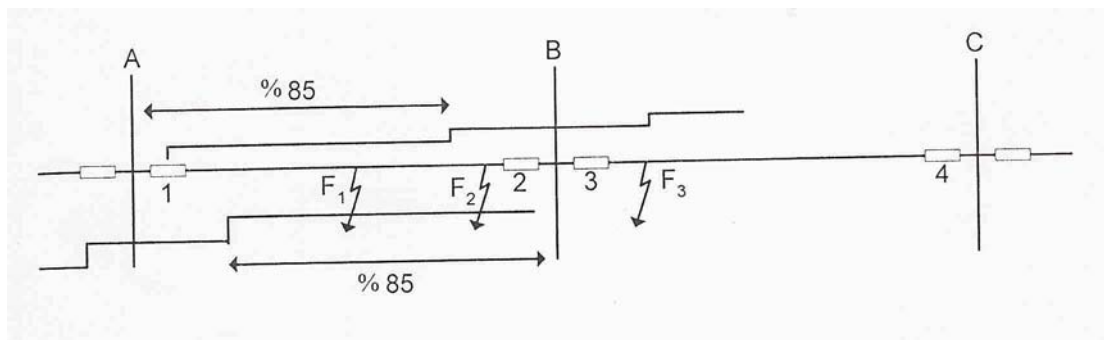


Şekil 4.43 Yönlü kilitleme düzeni örneği. Kaynak : Aydoğdu, N., (2003), “İletim Hatlarında Arıza Modelleme ve Sayısal Rölelerle Koruma”, Fırat Üniversitesi FBE. Yüksek Lisans Tezi,Elazığ.

4.9.2 Müsaadeli Aşırı Menzil Karşidan Açtırma Düzeni

Şekil 4.44'teki sistemde kullanılan mesafe koruma röleleri müsaadeli aşırı menzil karşidan açtırma sistemi ile çalışmaktadır. Rölenin Z1B aşırı menzil kademesi %120'e ayarlanmaktadır. 1. kademe %85, 2. kademe %120, 3. kademe %185'e ayarlanır.

1. F_1 'deki arızada 1 ve 2 nolu röleler arızayı müsaade sinyalinden bağımsız 1. kademede zaman gecikmesiz olarak açarlar.
2. F_2 'deki arızada 2 nolu röle arızayı 1. kademede zaman gecikmesiz olarak açar ve karşı merkeze 1 nolu röleye müsaade sinyali gönderir, 1 nolu röle arızayı Z1B aşırı menzilden görür ve karşı merkezden müsaade sinyali aldığı için 1. kademede T_s zaman gecikmesiyle (müsaade sinyali için beklediği süre) açar.
3. F_3 'deki arızada 3 nolu röle arızayı 1. kademede zaman gecikmesiz olarak açar ve karşı merkeze 4 nolu röleye müsaade sinyali gönderir, 4 nolu röle arızayı Z1B aşırı menzilden görür ve karşı merkezden müsaade sinyali aldığı için 1. kademede T_s zaman gecikmesiyle (müsaade sinyali için beklediği süre) açar. F_3 'deki arızayı 1 nolu röle de yine Z1B kademesiyle görür fakat 2 nolu röle arızayı geri yönde olduğu için göremez ve müsaade sinyalini 1 nolu röleye gönderemez eğer arıza temizlenmezse 1 nolu röle tarafından 2. kademede zaman gecikmesiyle temizlenir.

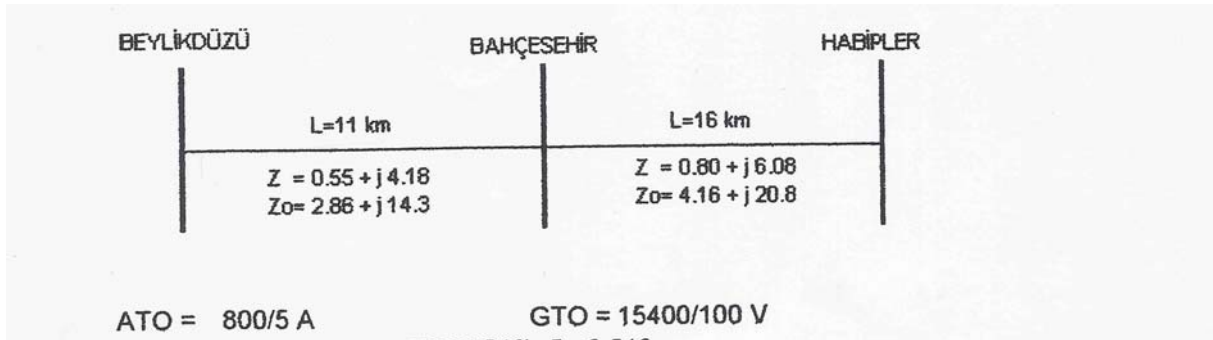


Şekil 4.44 Müsaadeli aşırı menzil karşidan açtırma örneği. Kaynak : Aydoğdu, N., (2003), “İletim Hatlarında Arıza Modelleme ve Sayısal Rölelerle Koruma”, Fırat Üniversitesi FBE. Yüksek Lisans Tezi,Elazığ.

5. SAYISAL UYGULAMA

5.1 Genel Bilgiler

Sayısal uygulamada aşağıda da tek hat şeması görünen İstanbul'da bulunan Beylikdüzü-Bahçeşehir-Habipler arasındaki 154 kV nominal gerilimli 477MCM enerji iletim hattının, üçüncü bölümde de ayrıntılı olarak incelenen 7SA611 nümerik mesafe koruma rölesi ile korunması için gerekli ayar değerleri hesaplanmıştır. Siemens firması tarafından geliştirilen SINCAL paket programı kullanılarak bilgisayar ortamında iletim hattı modellenmiş, hat üzerindeki çeşitli arıza durumları için sistemin üç fazlı simülasyonu gerçekleştirilmiş, nümerik mesafe rölelerinin her arıza için davranışı incelenmiştir.



Şekil 5.1 Korunacak sistemin tek hat şeması

5.2 Sistem Bilgileri

Korumada kullanılacak olan ölçü trafoları, korunacak hat ve komşu hat ile ilgili değerler sırasıyla Çizelge 5.1, Çizelge 5.2, Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.1 Hat ölçü trafoları bilgileri

Açıklama	Sembol	Primer değer	Sekonder değer	Oran
Hattın akım trafo oranı	ATO	800 A	5 A	160
Hattın ger. trafo oranı	GTO	154000 V	100 V	1540
Dönüştür. fak. = ATO/GTO	Uz			0,1038

Çizelge 5.2 Korunan hattın bilgileri

Açıklama	Sembol	Primer değer	Sekonder değer	Birimi
Pozitif bileşen rezistansı	$R1_{bey-bah}$	0,55	0,057	Ohm
Pozitif bileşen reaktansı	$X1_{bey-bah}$	4,18	0,434	Ohm
Sıfır bileşen rezistansı	$R0_{bey-bah}$	2,86	0,297	Ohm
Sıfır bileşen reaktansı	$X0_{bey-bah}$	14,3	1,484	Ohm
Max faz-top. ark direnci	R_{ark-FT}	16	1,66	Ohm
Max faz-faz. ark direnci	R_{ark-FF}	12	1,246	Ohm
Max direk toprak direnci	R_D	20	2,076	Ohm
Pozitif bileşen hat açısı	$\varphi 1$	$\text{Arctg}(X1/R1)$	83	Derece
Sıfır bileşen hat açısı	$\varphi 0$	$\text{Arctg}(X0/R0)$	79	Derece

Çizelge 5.3 Komşu hattın bilgileri

Açıklama	Sembol	Primer değer	Sekonder değer	Birimi
Pozitif bileşen rezistansı	$R1_{bah-hab}$	0,8	0,083	Ohm
Pozitif bileşen reaktansı	$X1_{bah-hab}$	6,08	0,631	Ohm
Sıfır bileşen rezistansı	$R0_{bah-hab}$	4,16	0,431	Ohm
Sıfır bileşen reaktansı	$X0_{bah-hab}$	20,8	2,159	Ohm

5.3 Mesafe Koruma Rölesi Kademe Ayarları

1. kademe katsayısı $k_1 = 0,85$ korunan hattın uzunluğu
2. kademe katsayısı $k_2 = 0,2$ komşu hattın uzunluğu
3. kademe katsayısı $k_3 = 0,85$ komşu hattın uzunluğu

a) 1. Kademe Empedans Ayarları

Mesafe rölesi birinci kademedeki korunan hattın %85'lik bölümüne ayarlanır:

$$X_1 = k_1 \cdot U_z \cdot X_{bey-bah} \quad (5.1)$$

$$X_1 = 0,85 \cdot 0,1038 \cdot 4,18$$

$$X_1 = 0,368 \text{ ohm}$$

$$R_1 = U_z \cdot (k_1 \cdot R_{\text{bey-bah}} + 0,5 \cdot R_{\text{ark-FF}}) \quad (5.2)$$

$$R_1 = 0,1038 \cdot (0,85 \cdot 0,55 + 0,5 \cdot 12)$$

$$R_1 = 0,671 \text{ ohm}$$

$$R_{1E} = U_z \cdot (k_1 \cdot R_{\text{bey-bah}} + R_{\text{ark-FT}} + R_D) \quad (5.3)$$

$$R_{1E} = 0,1038 \cdot (0,85 \cdot 0,55 + 16 + 20)$$

$$R_{1E} = 3,785 \text{ ohm}$$

1. kademe açma zamanı $t_1 = 0 \text{ sn}$

b) 2. Kademe Empedans Ayarları

Mesafe rölesi ikinci kademedeki komşu hattın %20'lik bölümüne ayarlanır:

$$X_2 = U_z \cdot (X_{\text{bey-bah}} + k_2 \cdot X_{\text{bah-hab}}) \quad (5.4)$$

$$X_2 = 0,1038 \cdot (4,18 + 0,2 \cdot 6,08)$$

$$X_2 = 0,560 \text{ ohm}$$

$$R_2 = U_z \cdot [(R_{\text{bey-bah}} + k_2 \cdot R_{\text{bah-hab}}) + 0,5 \cdot R_{\text{ark-FF}}] \quad (5.5)$$

$$R_2 = 0,1038 \cdot [(0,55 + 0,2 \cdot 0,8) + 0,5 \cdot 12]$$

$$R_2 = 0,696 \text{ ohm}$$

$$R_{2E} = U_z \cdot [(R_{\text{bey-bah}} + k_2 \cdot R_{\text{bah-hab}}) + R_{\text{ark-FT}} + R_D] \quad (5.6)$$

$$R_{2E} = 0,1038 \cdot [(0,55 + 0,2 \cdot 0,8) + 16 + 20]$$

$$R_{2E} = 3,810 \text{ ohm}$$

2. kademe açma zamanı $t_2 = 0,5 \text{ sn}$

c) 3. Kademe Empedans Ayarları

Mesafe rölesi üçüncü kademedeki komşu hattın %85'lik bölümüne ayarlanır:

$$X_3 = U_z \cdot (X_{\text{bey-bah}} + k_3 \cdot X_{\text{bah-hab}}) \quad (5.4)$$

$$X_3 = 0,1038 \cdot (4,18 + 0,85 \cdot 6,08)$$

$$X_3 = 0,970 \text{ ohm}$$

$$R_3 = U_z \cdot [(R_{bey-bah} + k_3 \cdot R_{bah-hab}) + 0,5 \cdot R_{ark-FF}] \quad (5.5)$$

$$R_3 = 0,1038 \cdot [(0,55 + 0,85 \cdot 0,8) + 0,5 \cdot 12]$$

$$R_3 = 0,750 \text{ ohm}$$

$$R_{3E} = U_z \cdot [(R_{bey-bah} + k_3 \cdot R_{bah-hab}) + R_{ark-FT} + R_D] \quad (5.6)$$

$$R_{3E} = 0,1038 \cdot [(0,55 + 0,85 \cdot 0,8) + 16 + 20]$$

$$R_{3E} = 3,864 \text{ ohm}$$

3. kademe açma zamanı $t_3 = 1,0 \text{ sn}$

d) Aşırı Menzil Empedans Ayarları

Mesafe rölesinde Z_{1B} ve Z_{1L} olmak üzere iki aşırı menzil kademesi vardır. Z_{1B} kademesi korunan hattın %120'sine ayarlanır:

$$X_{1B} = 1,2 \cdot U_z \cdot X_{bey-bah} \quad (5.7)$$

$$X_{1B} = 1,2 \cdot 0,1038 \cdot 4,18$$

$$X_{1B} = 0,520 \text{ ohm}$$

$$R_{1B} = U_z \cdot (1,2 \cdot R_{bey-bah} + 0,5 \cdot R_{ark-FF}) \quad (5.8)$$

$$R_{1B} = 0,1038 \cdot (1,2 \cdot 0,55 + 0,5 \cdot 12)$$

$$R_{1B} = 0,691 \text{ ohm}$$

$$R_{1BE} = U_z \cdot (1,2 \cdot R_{bey-bah} + R_{ark-FT} + R_D) \quad (5.9)$$

$$R_{1BE} = 0,1038 \cdot (1,2 \cdot 0,55 + 16 + 20)$$

$$R_{1BE} = 3,805 \text{ ohm}$$

Z_{1L} denetimli kademesi Z_{1B} 'nin %130'na ayarlanır:

$$X_{1L} = 1,3 \cdot X_{1B} \quad (5.10)$$

$$X_{1L} = 1,3 \cdot 0,520$$

$$X_{1L} = 0,676 \text{ ohm}$$

$$R_{1L} = 1,3 \cdot R_{1B} \quad (5.11)$$

$$R_{1L} = 1,3 \cdot 0,691$$

$$R_{1L} = 0,898 \text{ ohm}$$

$$R_{1LE} = 1,3 \cdot R_{1BE} \quad (5.12)$$

$$R_{1LE} = 1,3 \cdot 3,805$$

$$R_{1LE} = 4,946 \text{ ohm}$$

e) Denkleştirme Ayarları

Empedans denkleştirme katsayıları ;

$$R_E / R_L = (R_0 - R_{\text{bey-bah}}) / (3 \cdot R_{\text{bey-bah}}) \quad (5.13)$$

$$R_E / R_L = (2,86 - 0,55) / (3 \cdot 0,55)$$

$$R_E / R_L = 1,4$$

$$X_E / X_L = (X_0 - X_{\text{bey-bah}}) / (3 \cdot X_{\text{bey-bah}}) \quad (5.14)$$

$$X_E / X_L = (14,3 - 4,18) / (3 \cdot 4,18)$$

$$X_E / X_L = 0,807$$

Bu ayar değerleri çizelge 5.4 ve 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.4 Kademe ayar değerleri

Kademe	X (ohm)	R (ohm)	R _E (ohm)	t (sn)
1.kademe	0,368	0,671	3,785	0
2.kademe	0,560	0,696	3,810	0,5
3.kademe	0,970	0,750	3,864	1
Z _{1B}	0,520	0,691	3,805	0
Z _{1L}	0,676	0,898	4,946	0

Çizelge 5.5 Denkleştirme ayar değerleri

R_E / R_L	1,4
X_E / X_L	0,807

f) Diğer ayarlar

Arıza yeri tesbiti için kullanılacak, hattın birim uzunluktaki reaktansı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$X_{\text{birim}} = (X_{\text{hat}} \cdot U_z) / (\text{Hat uzunluğu}) \quad (5.15)$$

$$X_{\text{birim}} = (4,15 \cdot 0,1038) / (11)$$

$$X_{\text{birim}} = 0,039 \text{ ohm / km}$$

Minimum yük empedansı, maksimum yük akımı ve minimum işletme gerilimi koşullarında aşağıdaki gibi hesaplanır ve %10 altında ayarlanır;

I_{max} , hattın taşıyabileceği max akım seçilmiştir, 670A

Minimum işletme gerilimi ise nominal işletme gerilimin %90'nı seçilmiştir. $0,9 \cdot U_N$

$$R_{\text{yük}} = (U_{\text{min}}) / (\sqrt{3} \cdot I_{\text{max}}) \quad (5.16)$$

$$R_{\text{yük}} = (0,9 \cdot 154000) / (\sqrt{3} \cdot 670)$$

$$R_{\text{yük}} = 119,43 \text{ ohm (primer)}$$

$$R_{\text{yük}} = 119,43 \cdot U_z$$

$$R_{\text{yük}} = 119,43 \cdot 0,1038$$

$$R_{\text{yük}} = 12,39 \text{ ohm (sekonder)}$$

%10 emniyet payı verildiğinde, $R_{\text{yük}} = 11,15 \text{ ohm}$, değerine ayarlanır.

Tüm bu ayarlar bilgisayar ortamında DIGSI programında, rölenin ilgili adreslerine girilerek röleye yüklenir. Örnek olması bakımından DIGSI programında hazırlanmış röle parametreleri ekler bölümünde bulunmaktadır.

5.4 Uygulamanın Bilgisayar Ortamında Analizi

Yukarıdaki ayar değerleri kullanarak SINCAL şebeke planlama programında hat modellenmiş , mesafe koruma rölesi ayarları girilmiş ve programda kısa devre arızaları oluşturularak, mesafe koruma rölesinin arızalara karşı davranışı ayrı ayrı incelenmiştir. Bir sonraki sayfalarda SINCAL programına yüklenen hat değerleri ve koruma rölesinde kullanılan ayar değerleri bulunmaktadır.

Lines

I	[km]	Length
r	[Ohm/km]	Resistance
x	[Ohm/km]	Reactance
c	[nF/km]	Capacitance
va	[kW/km]	Leakage Losses to Ground
Un	[kV]	Rated Voltage
p	[1]	Number of Parallel Systems
lth	[kA]	Thermal Limit Current
l1s	[kA]	Admissible Short Circuit Power (1 Second)

Network Level: 154kV (154,00 kV)

Start Node	End Node	Name	Type Name	I	r	x	c	va	Un	p	lth	l1s
				[km]	[Ohm/km]	[Ohm/km]	[nF/km]	[kW/km]	[kV]	[1]	[kA]	[kA]
N4	N5	L3		16,000	0,050	0,380	8,210	0,000	154,000	1	0,000	0,000
N1	N4	L5		11,000	0,050	0,380	8,210	0,000	154,000	1	0,000	0,000

All Settings (Distance Protection)

Protection Device: 1

Network Level	154kV (154,00 kV)
Node	N1
Element	L5
Current Transformer (Phase)	800,00 / 5,00 A
Voltage Transformer (Phase)	154,00 / 0,10 kV

Settings (7SA611)

Measurement Type	Impedance polygon
Type of Input Data	Manual
Sel. Grad. - Radial Line	120,000 %
Angle	82,000 °

Predefined	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Auto-Reclosure	Tele Prot.	Unit
	St	St	St	St Zmax	St Zmax	
Selective Distance	85,000	120,000	185,000	120,000	120,000	[%]
Boundary Resistance						[Ohm]
Boundary Reactance						[Ohm]
Selective Time	0,010	0,500	1,000			[s]
Resistance	0,671	0,696	0,750	0,691	0,691	[Ohm]
Reactance	0,368	0,560	0,970	0,520	0,520	[Ohm]

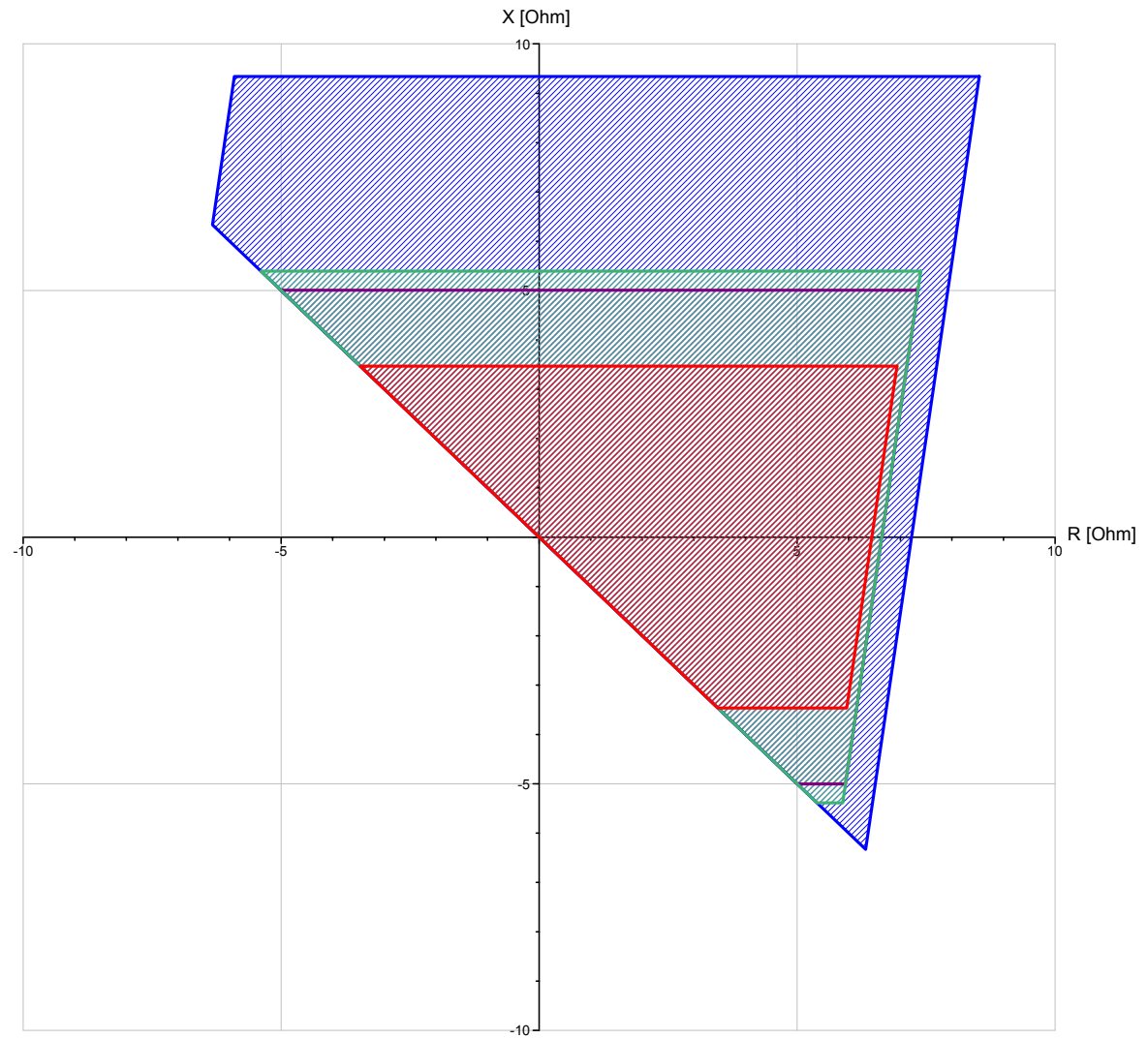
Calculated	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Auto-Reclosure	Tele Prot.	Unit
	St	St	St	St	St	
Selective Distance	85,000	120,000	185,000	120,000	120,000	[%]
Selective Time	0,010	0,500	1,000			[s]
Resistance	0,671	0,696	0,750	0,691	0,691	[Ohm]
Reactance	0,368	0,560	0,970	0,520	0,520	[Ohm]
Reached Sel. Distance	85,712	120,940	185,920	120,430	120,430	[%]
Evaluated Impedance	7,366	8,598	11,802	8,324	8,324	[Ohm]
R-Boundary	0,468	0,660	2,498	0,660	0,660	[Ohm]
X-Boundary	3,573	5,044	9,025	5,044	5,044	[Ohm]
Z-Boundary	3,604	5,087	9,188	5,087	5,087	[Ohm]
Phi-Boundary	82,546	82,546	82,521	82,546	82,546	[°]

Protection Route	Length	Resistance	Reactance	Impedance
	[km]	[Ohm]	[Ohm]	[Ohm]
	11,000	0,550	4,180	4,216

Pickup Phase (Secondary)

Bir sonraki sayfadaki grafikte mesafe koruma rölesinin açma bölgeleri görülmektedir.

Input Data - Protection Area (Phase): 1

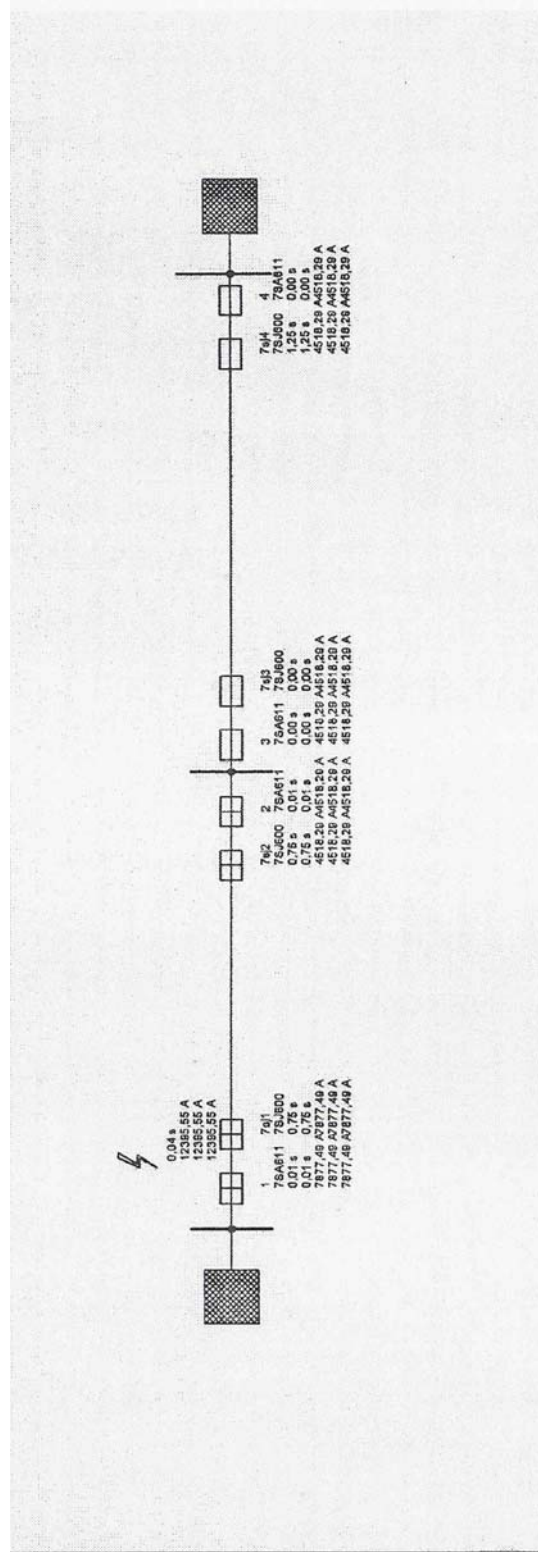


Legend

- 1 (1st zone, Tripping, Phase)
- 1 (2nd zone, Tripping, Phase)
- 1 (3rd zone, Tripping, Phase)
- 1 (Pilot Prot., Tripping, Phase)

Buna göre:

1. durum,

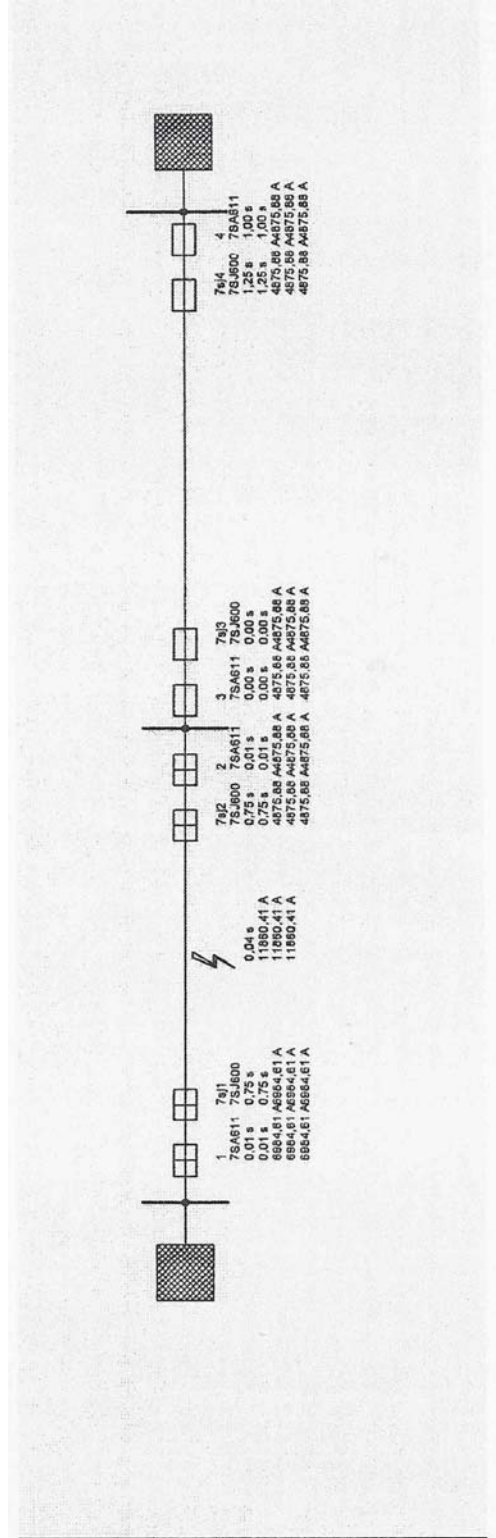


Şekil 5.2 Arıza durumu 1

Şekil 5.2’de 1,2,3,4 numaraları ile gösterilen koruma röleleri 7SA611 mesafe röleleridir. 7SJ1,7SJ2,7SJ3,7SJ4 ile gösterilen röleler ise sistemin yedek korumaları olan 7SJ600 aşırı akım-toprak koruma röleleridir. Koruma rölelerinin arızayı tesbit edip açması durumunda sembolünün üzerinde artı işareti belirlemektedir. Sembolünün altında ise açma zamanları görülmektedir.

Beylikdüzü merkezi ile Bahçeşehir merkezi arasında Beylikdüzü merkezinden %13 uzaktaki bir 3 fazlı arızada, 1 nolu mesafe koruma rölesi, arızayı %85 birinci kademe içinde gördüğü için zaman gecikmesiz olarak açar (0,01 sn) ve karşı merkeze yani 2 nolu mesafe koruma rölesine müsaade sinyali gönderir, bu arıza 2 nolu mesafe koruma rölesinin %85’lik birinci kademe menzili içinde olmamasına rağmen aşırı menzil kademesi ile görülür ve karşıdan müsaade sinyali alındığı için 2. kademe beklemeksizin zaman gecikmesiz olarak (0,01 sn) açılır. 7SJ1 ve 7SJ2 aşırı akım röleleri de 0,75 saniyede açılmıştır. 3 nolu mesafe koruma rölesi arıza geri yönde olduğu için arızayı görmemiştir. 4 nolu mesafe koruma rölesi arıza kendisine %187 uzakta olduğu ve menzili en fazla %185’e ayarlandığı için arızayı görmemiştir.

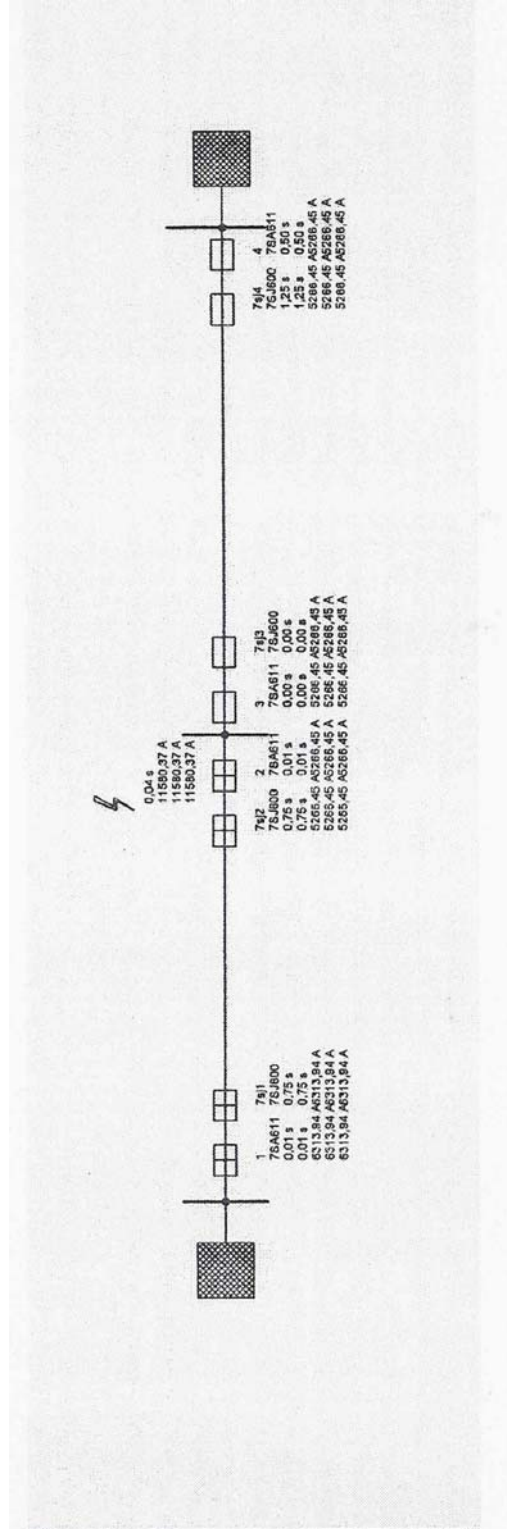
2. durum,



Şekil 5.3 Arıza durumu 2

Şekil 5.3'te Beylikdüzü merkezi ile Bahçeşehir merkezi arasında Beylikdüzü merkezinden %50 uzaktaki bir 3 fazlı arızada, 1 ve 2 nolu mesafe koruma rölesi, arızayı %85 birinci kademe içinde gördüğü için herhangi bir müsaade sinyalinden bağımsız zaman gecikmesiz olarak açar (0,01 sn). 7SJ1 ve 7SJ2 aşırı akım röleleri de 0,75 saniyede açılmıştır. 3 nolu mesafe koruma rölesi arıza geri yönde olduğu için arızayı görmemiştir. 4 nolu mesafe koruma rölesi arıza kendisine %150 uzakta olduğu ve menzili en fazla %185'e ayarlandığı için arızayı görmüş ve arıza 2 nolu mesafe koruma rölesi tarafından temizlenmemesi durumunda 3. kademedede zaman gecikmeli olarak 1 sn'de temizlenecektir.

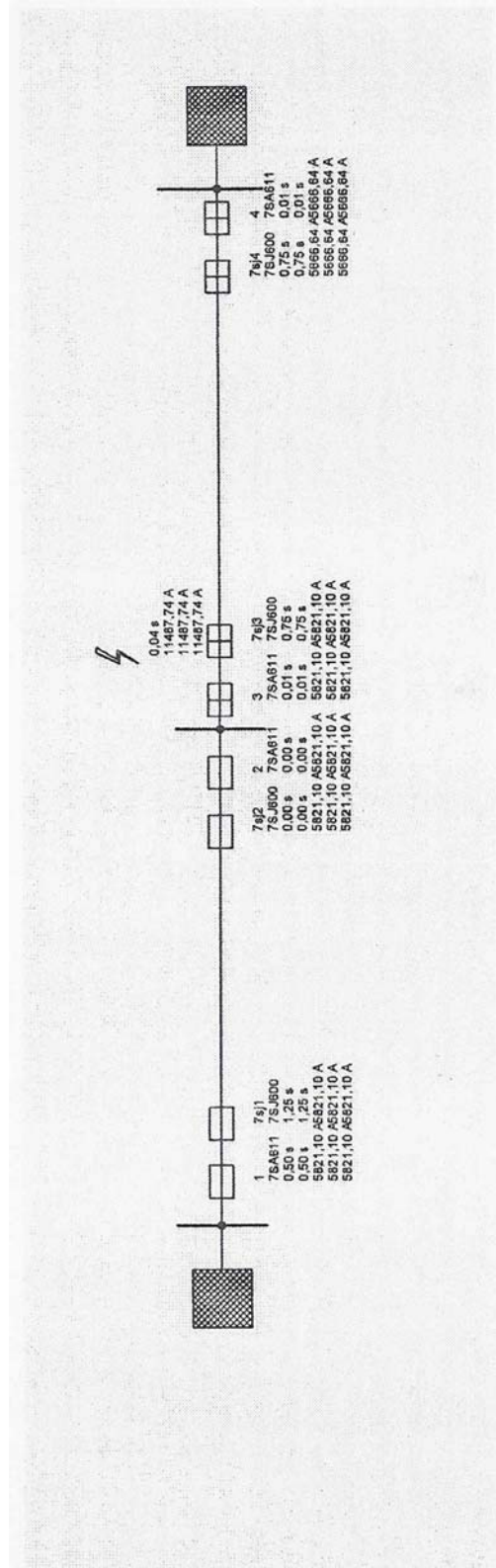
3. durum,



Şekil 5.4 Arıza durumu 3

Şekil 5.4’de Beylikdüzü merkezi ile Bahçeşehir merkezi arasında Beylikdüzü merkezinden %90 uzakdaki bir 3 fazlı arızada, 2 nolu mesafe koruma rölesi, arızayı %85 birinci kademe içinde gördüğü için zaman gecikmesiz olarak açar (0,01 sn) ve karşı merkeze yani 1 nolu mesafe koruma rölesine müsaade sinyali gönderir, bu arıza 1 nolu mesafe koruma rölesinin %85’lik birinci kademe menzili içinde olmamasına rağmen aşırı menzil kademesi ile görülür ve karşıdan müsaade sinyali alındığı için 2. kademe beklemeksizin zaman gecikmesiz olarak (0,01 sn) açılır. 7SJ1 ve 7SJ2 aşırı akım röleleri de 0,75 saniyede açılmıştır. 3 nolu mesafe koruma rölesi arıza geri yönde olduğu için arızayı görmemiştir. 4 nolu mesafe koruma rölesi arıza kendisine %110 uzakta olduğu ve 2. kademe menzili %120’e ayarlandığı için arızayı görür ve arıza 2 nolu mesafe koruma rölesi tarafından temizlenmemesi durumunda 4 nolu röle tarafından 2. kademe zaman gecikmeli olarak 0,5 sn’de temizlenecektir.

4. durum,

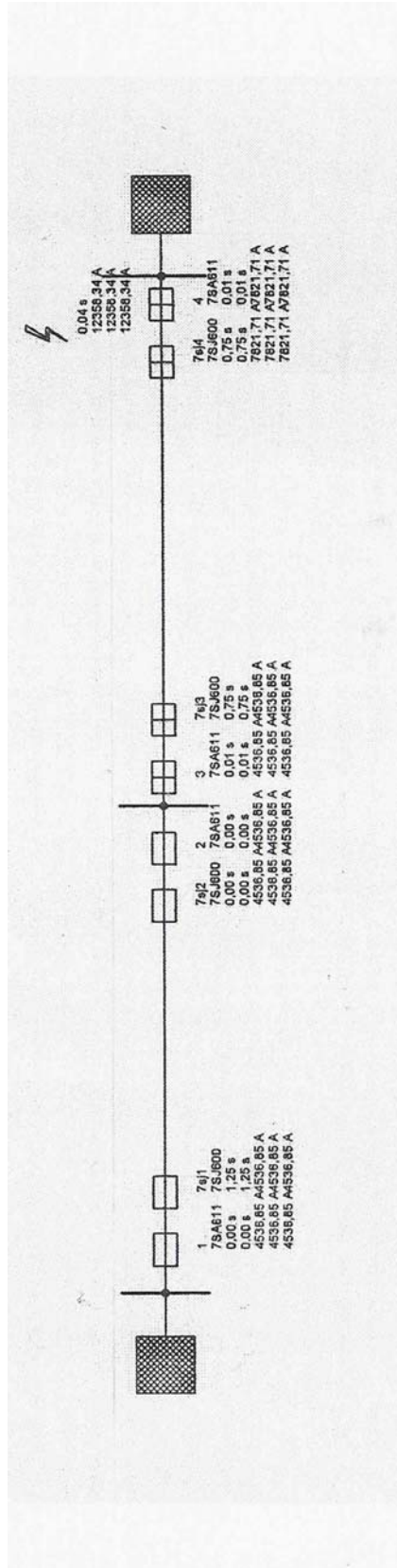


Şekil 5.5 Arıza durumu 4

Şekil 5.5'te Bahçeşehir merkezi ile Habipler merkezi arasında Bahçeşehir merkezinden %12 uzaktaki bir 3 fazlı arızada, 3 nolu mesafe koruma rölesi, arızayı %85 birinci kademe içinde gördüğü için zaman gecikmesiz olarak açar (0,01 sn) ve karşı merkeze yani 4 nolu mesafe koruma rölesine müsaade sinyali gönderir, bu arıza 4 nolu mesafe koruma rölesinin %85'lik birinci kademe menzili içinde olmamasına rağmen aşırı menzil kademesi ile görülür ve karşıdan müsaade sinyali alındığı için 2. kademe beklemeksizin zaman gecikmesiz olarak (0,01 sn) açılır. 7SJ3 ve 7SJ4 aşırı akım röleleri de 0,75 saniyede açılmıştır. 2 nolu mesafe koruma rölesi arıza geri yönde olduğu için arızayı görmemiştir. 1 nolu mesafe koruma rölesi arıza kendisine %112 uzakta olduğu ve 2. kademe menzili %120'e ayarlandığı için arızayı görür ve arıza 3 nolu mesafe koruma rölesi tarafından temizlenmemesi durumunda 1 nolu röle tarafından 2. kademe zaman gecikmeli olarak 0,5 sn'de temizlenecektir.

Şekil 5.6’da Bahçeşehir merkezi ile Habipler merkezi arasında Habipler merkezinden %45 uzaktaki bir 3 fazlı arızada, 3 ve 4 nolu mesafe koruma rölesi, arızayı %85 birinci kademe içinde gördüğü için herhangi bir müsaade sinyalinden bağımsız zaman gecikmesiz olarak açar (0,01 sn). 7SJ3 ve 7SJ4 aşırı akım röleleri de 0,75 saniyede açılmıştır. 2 nolu mesafe koruma rölesi arıza geri yönde olduğu için arızayı görmemiştir. 1 nolu mesafe koruma rölesi arıza kendisine %145 uzakta olduğu ve menzili en fazla %185’e ayarlandığı için arızayı görmüş ve arıza 3 nolu mesafe koruma rölesi tarafından temizlenmemesi durumunda 1 nolu röle tarafından 3. kademe zaman gecikmeli olarak 1 sn’de temizlenecektir.

6. durum,



Şekil 5.7 Arıza durumu 6

Şekil 5.7’de Bahçeşehir merkezi ile Habipler merkezi arasında Bahçeşehir merkezinden %90 uzaktaki bir 3 fazlı arızada, 4 nolu mesafe koruma rölesi, arızayı %85 birinci kademe içinde gördüğü için zaman gecikmesiz olarak açar (0,01 sn) ve karşı merkeze yani 3 nolu mesafe koruma rölesine müsaade sinyali gönderir, bu arıza 3 nolu mesafe koruma rölesinin %85’lik birinci kademe menzili içinde olmamasına rağmen aşırı menzil kademesi ile görülür ve karşıdan müsaade sinyali alındığı için 2. kademe beklemezsizin zaman gecikmesiz olarak (0,01 sn) açılır. 7SJ3 ve 7SJ4 aşırı akım röleleri de 0,75 saniyede açılmıştır. 2 nolu mesafe koruma rölesi arıza geri yönde olduğu için arızayı görmemiştir. 1 nolu mesafe koruma rölesi arıza kendisine %190 uzakta olduğu ve 3. kademe menzili %185’e ayarlandığı için arızayı göremez.

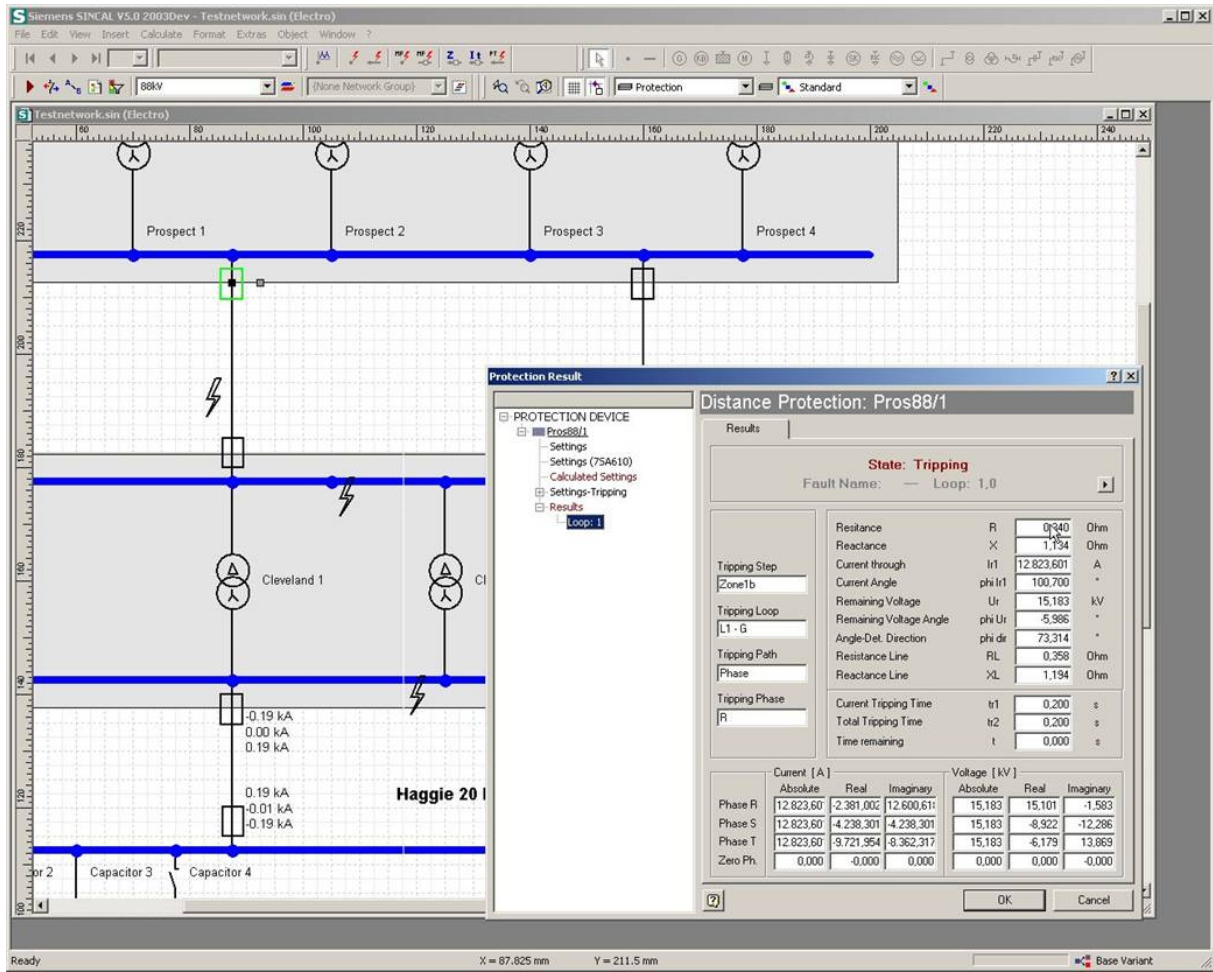
5.5 SINCAL Şebeke Planlama Programı

SINCAL şebeke planlama programı , Windows tabanlı bir programdır; x86 işlemcili 256 MB hafızalı, en az 250 MB harddisk olan Windows 2000 , XP işlemcili bir masaüstü veya notebook bilgisayarda çalışmakla beraber, 2GHz işlemci ve 512 MB hafızalı bilgisayarda çalıştırılması tavsiye edilmektedir. SINCAL programı çeşitli modüllerden oluşmaktadır ve buna göre ücretlendirilmektedir. İstenildiği zaman diğer modüller satın alınarak kullanıma açılabilir. Genel olarak tüm elektriksel hesaplamalar yapılmaktadır:

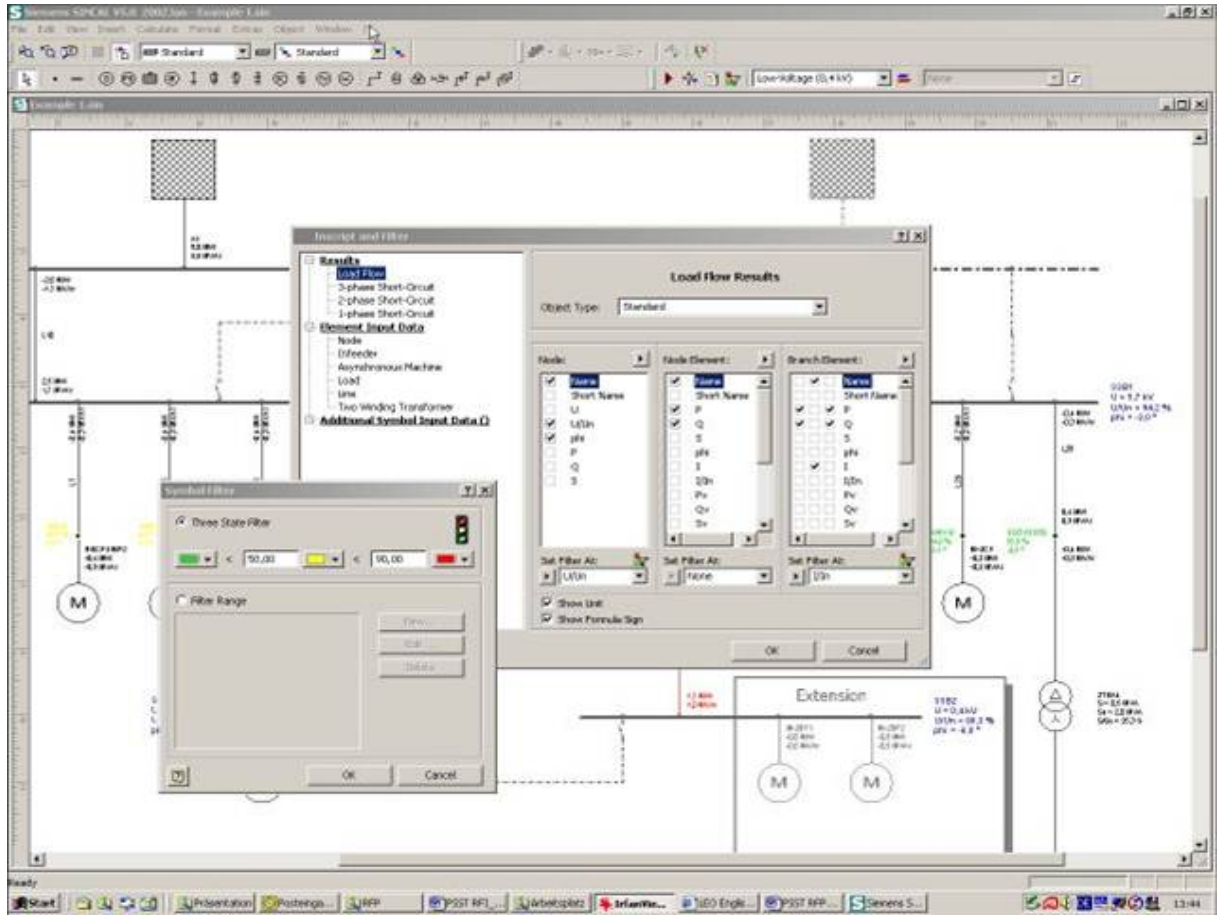
- Kısa devre analizi
- Yük akışı
- Yük profili
- Stabilité
- Güvenilirlik
- Arıza simülasyonları
- Enerji ekonomisi
- Harmonik analizi
- Selektivite ve röle parametreleme

Programda ilgili semboller yardımı ile sistemin tek hat şeması çizilir, çizildikten sonra tüm elektriksel ekipmanların (hat, transformatör, generatör,baralar, koruma ekipmanları...vs.) değerleri girilerek ilgili hesaplamalar yapılır. Program tablolar halinde sonuçları verdiği gibi (kısa devre), grafiksel olarakta sonuçları verebilir. (röle selektivite)

Şekil 5.8 ve 5.9’da SINCAL programına ait örnekler verilmiştir.



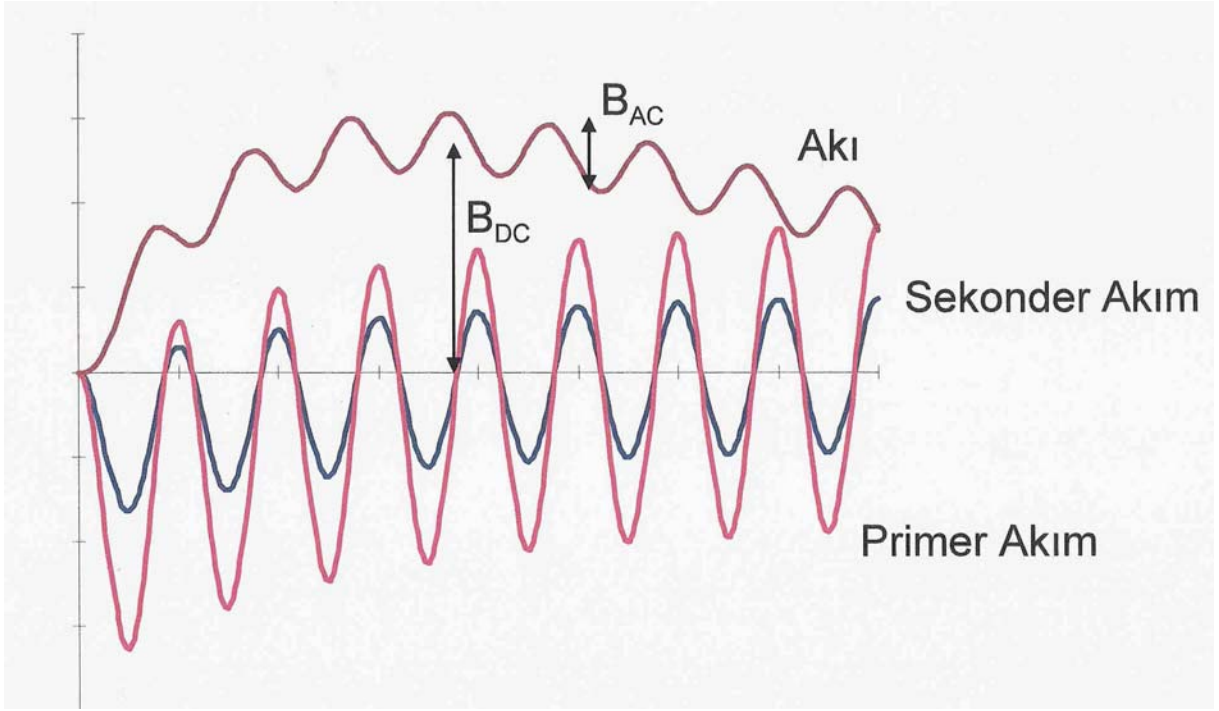
Şekil 5.8 SINCAL şebeke planlama programı. Kaynak : Siemens, (2006), “SINCAL Network V5.4 Manual”, Germany.



Şekil 5.9 SINCAL şebeke planlama programı. Kaynak : Siemens, (2006), “SINCAL Network V5.4 Manual”, Germany.

5.6 Akım Trafosu Seçim Analizi

Kısa devre akımındaki DC bileşen, akım trafosunun akısında büyük bir artışa neden olur. Kararlı akımlar sebebi ile doymaya girmeyen akım trafoları DC bileşenin etkisi ile kolaylıkla doymaya girebilir. Şekil 5.10’da DC bileşenin etkisi görülmektedir.



Şekil 5.10 DC bileşenin etkisi.

Bunun için mesafe koruma rölesinin, empedans hesaplamalarında kullanılan akım trafosunun bir kısa devre anında doğru ölçüm yapması çok önemlidir. Doğru seçilmeyen akım trafosu, kısa devre anında doymaya gidip mevcut akımı daha küçük görmesi , yanlış empedans hesaplamalarına yolaçması ve hatalı açmalara sebep olması sonuçlarını doğuracaktır.

Bunun için akım trafosunun kısa devre anında davranışını inceleyen programlar mevcuttur. Siemens firmasının ürettiği CTDIM programı kullanılarak sisteme ait akım trafosu incelenmiştir. Programa, sistem gerilimi, kısa devre akımı , akım trafosu nominal gücü, primer-sekonder akım değeri, kullanılacak rölenin tipi, akım trafosu koruma rölesi arasındaki mesafe ve iletkenin kesiti, ortam sıcaklığı, mesafe koruma rölesinin birinci açma bölgesinin yüzde değeri (%85) girilir. Program bu değerleri kullanarak sonucu yani akım trafosunun doğru seçilip seçilmediğini otomatik olarak söylemektedir. Bu sistemde 800/5A, 5P20, 60VA akım trafosu kullanılmıştır kısa devre akımı 12,8kA dir. Örnek olması bakımından sisteme ait akım trafosu seçimi ile ilgili kontrol yapılmış ve sonraki sayfalarda ayrıntılı hesaplar program tarafından verilmiştir.

Hesaplara göre kısa devre sırasında aşağıdaki şartların sağlanması gerekmektedir:

$$K_{oalf} \geq 4.I_k / I_{pn} \quad (5.17)$$

$$K_{oalf} \geq 5.I_{k,lim} / I_{pn} \quad (5.18)$$

Eğer bu şartlar sağlanırsa kısa devre akımında DC bileşen bulunsa bile trafo T_p zaman sabiti süresince doymaya girmez

I_k : koruma rölesinin bağlı olduğu akım trafosu üzerinden geçen max simetrik kısa devre akımı, 12,8kA

I_{pn} : hatta bağlı olan akım trafosunun primer akım değeri, 800A

$I_{k, \lim}$: hattın birinci koruma bölgesindeki (%85) max simetrik limit kısa devre akımı, 8,723kA

K_{oalf} : akım trafosunun sınır faktörü olup aşağıdaki gibi hesaplanır

$$K_{oalf} = K_{nalf} \cdot \frac{P_n + P_{CT}}{P_{total} + P_{CT}} \quad (5.19)$$

K_{nalf} : akım trafosunun aşırı akım faktörü, 5P20, 20

P_n : akım trafosunun nominal gücü, 60 VA

P_{CT} : akım trafosu içinde harcanan güç, 12,5 VA

P_{total} : akım trafosundan rölenin çektiği güç (P_{relay} : 0,3 VA) ve akım trafosuyla röle arasındaki kabloda kaybolan güç (P_{wire} : 8,317 VA) toplam, 8,617 VA

Buna göre,

$$K_{oalf} = 20 \cdot \frac{60+12,5}{8,617+12,5} = 68,666$$

$$4. I_k / I_{pn} = 64$$

$$5. I_{k, \lim} / I_{pn} = 54,517$$

$K_{oalf} = 68,666$ olduğu için akım trafosu doğru seçilmiştir.

Bu değerlerin sağlanamaması durumunda,

Akım trafosunun karakteristiği iyileştirilir.

- Aşırı akım faktörü yükseltilir, 5P20 yerine 5P40
- Nominal gücü yükseltilir, 60VA yerine 80VA

Dış ortam kayıpları azaltılır.

- Akım trafosu ile röle arasındaki kablo kesiti büyütülür, 6mm2 yerine 10mm2

- Akım trafosunun sekonder akımı 5A yerine 1A kullanılabilir.

CT-Core Dimensioning for Protection Relay 7SA6

GENERAL PROJECT DATA:

Customer: Tez
Project: Mesafe
Station:
Feeder:

Issued by: Mr. Cokugras
Our reference:
Remark:

Date: 05.05.2006

GENERAL SYSTEM AND SUBSTATION DATA:

Nominal voltage: 154 kV
Power system time constant: 100 ms
Rated short-circuit current of station: 40 kA
Max. short-circuit current for CT dimensioning: 12.8 kA
Remark:

Nominal frequency: 50 Hz

DATA OF CT ON SIDE 1 ACCORDING TO IEC:

CT type: IEC Class 5P
Transformation ratio: 800 A/5 A
nominal accuracy limiting factor: 20
 K_{nalf} :
CT nominal burden P_n : 60 VA
Internal burden P_{ct} : 12.5 VA
Remark:

RELAY DATA:

Manufacturer: SIEMENS
Type: 7SA6
Relay burden: 0.3 VA
Remark:

Nominal Current: 5 A

CT REQUIREMENTS FOR 7SA6 :

To ensure correct operating of connected relay in case of close-up faults, the CT must be able to transform the 4-times max. symmetrical short-circuit current by power system time constant of 100 ms.

$$K_{oalf} \geq 4 I_k / I_{pn} \quad T_p = 100 \text{ ms} \quad (\text{Requirement 1})$$

For faults at zone 1 limit the CT must be able to transform the 5-times max. symmetrical short-circuit current without saturation.

$$K_{oalf} \geq 5 I_{k,lim} / I_{pn} \quad (\text{Requirement 2})$$

where:

I_{pn} : CT primary nominal current

I_k : max. symmetrical short-circuit current for close-up faults
 $I_{k,lim}$: max. symmetrical short-circuit current for faults at zone 1 limit
 K_{oalf} : operating accuracy limiting factor

CALCULATION OF TOTAL CT CONNECTED BURDENS:

The performance of the current transformer depends on the connected burdens at the secondary terminals. The total burden includes the relay burden and additional burdens, the burden of cables and the burden of an eventually connected matching transformer.

CT SIDE 1:

	Burden		Transformation ratio
Relay burden:	$P_{relay} = 0.3 \text{ VA}$	---	---
Additional relay burdens:	$P_{add} = 0 \text{ VA}$	---	---
Burden of matching transformer 1:	$P_{mat,1} = 0 \text{ VA}$	$tr_{mat,1}$	$= 1$
Burden of matching transformer 2:	$P_{mat,2} = 0 \text{ VA}$	$tr_{mat,2}$	$= 1$

The cable burden is calculated by the single length, the cross section, the specific resistivity for copper and an effective factor for the wire length.

This factor k_{wire} is 2 if the return wire is to be considered.

Cable burden:

Length:	$l_{wire} = 50 \text{ m}$
Cross section:	$A_{wire} = 6 \text{ mm}^2$
Spec. resistivity (Cu):	$\rho_{Cu} = 0.02 \Omega \text{ mm}^2/\text{m at } 50^\circ \text{C}$
Sec. wire current:	$I_{sn,wire} = 5 \text{ A}$
Eff. wire length in p.u.:	$k_{wire} = 2$

$$P_{wire} = \frac{k_{wire} \cdot \rho_{Cu} \cdot l_{wire}}{a_{wire}} \cdot I_{sn,wire}^2 = 8.317 \text{ VA}$$

The total effective burden is given by the sum of all connected burdens:

$$\text{Total burden: } P_{total} = P_{relay} + P_{add} + P_{wire} + P_{mat,1} + P_{mat,2} = 8.617 \text{ VA}$$

CHECK OF CT REQUIREMENTS:

Operating accuracy limiting factor K_{oalf} :

The CT behaviour acc. to IEC-P will be described by the operating accuracy limiting factor K_{oalf} . It depends on the nominal accuracy limiting factor K_{nalf} , the nominal burden P_n , the internal CT burden P_{ct} and the total effective connected burden P_{total} .

CT SIDE 1:

$$K_{olf} = K_{nalf} \frac{P_n + P_{ct}}{P_{total} + P_{ct}} = 68.666$$

where

Knalf:	operating accuracy limiting factor	= 20
Pn:	nominal burden	= 60 VA
Pct:	internal CT burden	= 12.5 VA
Ptotal:	total effective connected burden	= 8.617 VA

Max. symmetrical short-circuit current $I_{k,lim}$ for faults at zone 1 limit:

For ct dimensioning, the short-circuit current and system time constant at set zone 1 limit of 85 % has to be taken into consideration. With a max. sym. short-circuit current of 12.8 kA and a nominal system voltage of 154 kV, the equivalent source impedance can be calculated:

$$Z_Q = \frac{1.1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{kQ}} = 7.641 \Omega$$

Taking into account the system time-constant of 100 ms the resistive and reactive part of the source impedance can be calculated:

$$R_Q = \frac{Z_Q}{\sqrt{1 + (2\pi f T_p)^2}} = 0.243 \Omega$$

$$X_Q = \sqrt{Z_Q^2 - R_Q^2} = 7.637 \Omega$$

With the ohmic and reactive per line length values R' and X' the set zone 1 limit K_{lim} , and the line length, the short-circuit current at zone 1 limit $I_{k,lim}$ and the corresponding time-constant T_{lim} can be calculated:

$$R_L = K_{lim} \cdot l_L \cdot R'_L = 0.468 \Omega$$

$$X_L = K_{lim} \cdot l_L \cdot X'_L = 3.553 \Omega$$

$$R_k = R_Q + R_L = 0.711 \Omega$$

$$X_k = X_Q + X_L = 11.19 \Omega$$

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} = 11.213 \Omega$$

$$I_{k,lim} = \frac{1.1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = 8.723 \text{ kA}$$

$$T_{lim} = \frac{X_k}{2\pi f \cdot R_k} = 50.126 \text{ ms}$$

where

K_{lim} :	set zone 1 limit	= 85 %
l_L :	line length	= 11 km
R'_L :	resistance per unit length	= 0.05 Ω/km
X'_L :	reactance per unit length	= 0.38 Ω/km

CT-DIMENSIONING CHECK:

For the protection relay 7SA6 the requirements for close-up faults and faults at zone 1 limit have to be fulfilled.

Check of Requirement 1:

$$K_{alf} \geq 4 I_k / I_{pn}$$

$$T_p = 100 \text{ ms}$$

$$K_{alf} = 68.666$$

$$4 I_k / I_{pn} = 64$$

Meets requirement 1

Check of Requirement 2:

$$K_{alf} \geq 5 I_{k,lim} / I_{pn}$$

$$K_{alf} = 68.666$$

$$5 I_{k,lim} / I_{pn} = 54.517$$

Meets requirement 2

The current transformer is correctly dimensioned!

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bir güç sisteminin sürekliliği arızaların hızlı, doğru bir şekilde tesbit edilmesi ve selektif bir şekilde giderilmesi ile mümkündür. Güç sisteminin bel kemiğini oluşturan enerji iletim hatlarının kullanılabilirliği ise arıza yerinin hızlı olarak tesbit edilerek arızanın kısa sürede temizlenmesi ile artırılabilir. Bunun için mikroişlemci altyapısıyla donatılmış, hızlı, selektif, güvenilir çalışan, arıza yeri tesbit özelliğine sahip, hattan aldığı ölçüm değerlerini kullanarak devamlı güncel olarak sayısal olarak hesap yapan ve bunları gerektiğinde kullanmak üzere hafızasında saklayan nümerik mesafe koruma röleleri günümüzde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Nümerik koruma röleleri sahip oldukları seri haberleşme terminalleri vasıtasıyla sayısal haberleşme hatları üzerinden diğer sayısal cihazlara ve uzak merkezlere bağlanma özelliğine sahiptir. Önümüzdeki yıllarda TEİAŞ insansız şalt merkezleri yapmak için altyapı oluşturmaktadır. Örneğin Ankara merkezden haberleşme hatları üzerinden X şehrindeki şalt merkezinde bulunan mesafe koruma rölesine müdahale edilmesi mümkün olacaktır. Bunun için nümerik röleleri kullanmak kaçınılmazdır.

Bu çalışmada ortaya konulduğu ve yukarıda da açıklandığı üzere günümüzde enerji iletim hatlarının korunmasında kullanım kolaylığı açısından ve birçok üstün özellikleri nedeniyle nümerik mesafe röleleri elektromekanik mesafe rölelerinin yerini almıştır. TEİAŞ şartnamelerinde de nümerik röle kullanımı zorunlu hale getirilmiştir.

Kısa havai hatlar ve kablolar için çokgen (dörtgen) karakteristikli nümerik mesafe koruma röleleri kullanılmalıdır. Dairesel karakteristiğe göre daha geniş direnç toleransı ve ark kompanzasyonu sağlamaktadır.

Açık şalt merkezlerinde akım-gerilim trafosundan mesafe koruma rölesinine alınan akım-gerilim sinyallerinin elektromagnetik etkilerden korunması için kabloların ekranlı seçilmesinde fayda vardır.

Koruma rölesinin direnç ayarları yapılırken arıza ark direnci ve direk temel direnci hesaba katılmalıdır.

Mesafe koruma ölçümüne etki eden faktörler dikkate alınmalıdır. Aradaki beslemeler, topraklanmış trafolar, sıfır bileşen kuplajı, paralel hatlar ...vs. Örneğin aradaki beslemeler ve topraklanmış trafolar koruma rölesinin ölçtüğü empedans değerini yükselterek arızanın bir alt erişimde görülmesini sağlarlar.

Sayısal uygulama bölümünde de gösterildiği gibi enerji iletim hatlarının korunmasında sadece mesafe koruma rölesi kullanımı yeterli değildir. Herhangi bir sebeple mesafe rölesinin çalışmaması halinde, korumayı gerçekleştirmek, güvenilirliği yüksek tutmak amacıyla artçı koruma rölesi olarak aşırı akım-toprak röleleri kullanılmalıdır. 380 kV enerji iletim hatlarında bir mesafe koruma rölesinin yedeklenmesi amacıyla ikinci bir mesafe koruma rölesi daha kullanılmalıdır. Koruma röleleri için hattan akım bilgisi aldığımız akım trafolarının çekirdekleri, güvenilirliği yüksek tutmak amacıyla her röle için ayrı olmalıdır. Akım trafolarının bir kısa devre anında dc bileşen nedeniyle doymaya girmesine engel olmak için , ilgili hesaplamalar önceden yapıp gerekli önlemler alınmalıdır.

KAYNAKLAR

AIEEE/PES T&D Committee Working Group Report, (1963), “Arc Deionization Times On High Speed Three Pole Reclosing”, IEEE Transactions on PAS, Vol. 82, 236-253.

Aras, F., (1996) “Enerji İletim Hatlarının Bilgisayar Destekli Dijital Koruması ve Bolu-Gerkosan Hattına Uygulanması ”, Kocaeli Üniversitesi FBE. Yüksek Lisans Tezi, 58-60, Kocaeli.

Aydoğdu, N., (2003), “İletim Hatlarında Arıza Modelleme ve Sayısal Rölelerle Koruma”, Fırat Üniversitesi FBE. Yüksek Lisans Tezi, 31-50, Elazığ.

CIGRE Working Group Report, (1987), “Protection Systems Using Telecommunication”, Technical Brochure 13, Paris.

Claus, M., Lemmer, S. ve Ziegler, G. (1997), “Proceedings in Distance Relaying”, IEE Conference on Developments in Power System Protection, IEE Conference publication No. 434, 28-31 , Nottingham/UK.

IEEE Committee Report, (1991), “Single Phase Tripping and Reclosing of Transmission Lines”, IEEE Paper

IEEE Tutorial Course, (1979), “Computer Relaying”, Course Text 79

Koch, G., ve Renz, K. (1985), “Fully Microprocessor Based Feeder Protection”, Siemens Power Energy & Automation, Vol. 7, 174-187

Marttila, R. J., (1981), “Directional Characteristics of Distance Relay MHO Elements”, IEEE Transactions on Pow. App. And Syst., Vol. PAS-100, 96-113

Moral, K., (1998), “Elektrik Güç Sistemlerinde Kullanılan Analog ve Dijital Mesafe Rölelerinin Karşılaştırılması”, Yıldız Teknik Üniversitesi FBE. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Özkardeş, S. , (2004), “Korumada Akım Trafolarının Boyutlandırılması”, Siemens A.Ş. PTD-E Bölümü Grup İçer Eğitimler Ders Notu, 1-6 , İstanbul.

Özdemir, E., (2003), “Enerji İletim Hatları Üzerinden Haberleşme ve Veri İletimi”, Gazi Üniversitesi FBE. Yüksek Lisans Tezi, 24-28, Ankara.

Phadke, A.G. ve LU Jiuang (1985), “A Computer Based Integrated Distance Relay for Parallel Transmission Lines”, IEEE Transactions on Pow. App. And Syst., Vol 104, 445-452.

Siemens, (2005), “7SS522 Busbar Protection Relay Catalogue”, Germany.

Siemens, (2005), “7SS525 Busbar Protection Relay Catalogue”, Germany.

Siemens, (2005), “7SA6 Distance Protection Relay Catalogue”, Germany.

Siemens, (2003), “7SA6 Distance Protection Relay Manual”, Germany.

Siemens, (2006), “Sincal Network V5.4 Manual”, Germany.

Warrington, A. R. Van C. (1996), “Application of the OHM and MHO Principles to Protective Relays”, Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Volume 65, 46-48.

Wedepohl, L. M., (1965), “Polarized MHO Distance Relay”, Proc. IEE, Vol. 112, 525.

Yumurtacı, R., (1995), “Elektrik Güç Sistemlerinde Hatların Mesafe Röleleri ile Korunması”, Yıldız Teknik Üniversitesi FBE. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Ziegler, G., (1999), “Numerical Distance Protection”, Publicis MCD, Siemens AG, Munich and Erlangen

EKLER

Ek 1 7SA611 mesafe koruma rölesine ait ayarların DIGSI programında hazırlanıp koruma rölesinin ilgili adreslerine girilmiş hali

**Ek 1 7SA611 Mesafe Koruma Rölesine Ait Ayarların DIGSI Programında Hazırlanıp
Koruma Rölesinin İlgili Adreslerine Girilmiş Hali**

Sonraki sayfalarda 7SA611 mesafe koruma rölesine ait ayarların DIGSI programında hazırlanmış hali bulunmaktadır.

P R I N T - C O N T E N T S**7SA611 V4.4**

Author:

Creation date: 30.04.06 14:42:40

Last modified: 30.04.06 14:51:41

Comment:

Device Configuration

General Device Settings

Power System Data 1

Settings groups

Setting Group A

Functional Scope

No.	Function	Scope
0103	Setting Group Change Option	Disabled
0110	Trip mode	1-/3pole
0114	21 Distance protection pickup program	Z< (quadrilateral)
0120	68 Power Swing detection	Enabled
0121	85-21 Pilot Protection for Distance prot	POTT
0122	DTT Direct Transfer Trip	Disabled
0124	50HS Instantaneous High Speed SOTF	Disabled
0125	Weak Infeed (Trip and/or Echo)	Disabled
0126	50(N)/51(N) Backup OverCurrent	Time Overcurrent Curve IEC
0133	79 Auto-Reclose Function	1 AR-cycle
0134	Auto-Reclose control mode	with Trip and Action time
0135	25 Synchronism and Voltage Check	Enabled
0136	81 Over/Underfrequency Protection	Disabled
0137	27, 59 Under/Overvoltage Protection	Disabled
0138	Fault Locator	Enabled
0139	50BF Breaker Failure Protection	Disabled
0140	74TC Trip Circuit Supervision	Disabled
0142	49 Thermal Overload Protection	Disabled

Group Device, General Settings; Group

No.	Settings	Value	Group
0610	Fault Display on LED / LCD	Display Targets on every Pickup	All
0640	Start image Default Display	image 1	All

Group Power System Data 1; Group Transformers

No.	Settings	Value	Group
0201	CT Starpoint	towards Line	All
0203	Rated Primary Voltage	154,0 kV	All
0204	Rated Secondary Voltage (Ph-Ph)	100 V	All
0205	CT Rated Primary Current	800 A	All
0206	CT Rated Secondary Current	5A	All
0210	V4 voltage transformer is	Vsync transformer	All
0211	Matching ratio Phase-VT To Open-Delta-VT	1,73	All
0212	VT connection for sync. voltage	A-G	All
0214A	Angle adjustment Vsync-Vline	0 °	All
0215	Matching ratio U-line / Usync	1,00	All
0220	I4 current transformer is	Neutral Current (of the protected line)	All
0221	Matching ratio I4/Iph for CT's	1,000	All

Group Power System Data 1; Group Power System

No.	Settings	Value	Group
0207	System Starpoint is	Solid Grounded	All
0230	Rated Frequency	50 Hz	All
0235	Phase Sequence	A B C	All
0236	Distance measurement unit	km	All
0237	Setting format for zero seq.comp. format	Zero seq. comp. factors RG/RL and XG/XL	All

Group Power System Data 1; Group Breaker

No.	Settings	Value	Group
0239	Closing (operating) time of 52 (CB)	0,06 sec	All
0240A	Minimum TRIP Command Duration	0,10 sec	All
0241A	Maximum Close Command Duration	0,10 sec	All
0242	Dead Time for CB test-autoreclosure	0,10 sec	All

Group Power System Data 2; Group Power System

No.	Settings	Value	Group
1103	Measurement: Full Scale Voltage (100%)	154,0 kV	A
1104	Measurement: Full Scale Current (100%)	800 A	A
1105	Line Angle	83 °	A
1211	Angle of inclination, distance charact.	83 °	A
1107	P,Q operational measured values sign	not reversed	A
1110	x' - Line Reactance per length unit	0,0390 Ohm / km	A
1111	Line Length	11,0 km	A
1116	Zero seq. comp. factor RG/RL for Z1	1,40	A
1117	Zero seq. comp. factor XG/XL for Z1	0,81	A
1118	Zero seq. comp.factor RG/RL for Z1B...Z5	1,40	A
1119	Zero seq. comp.factor XG/XL for Z1B...Z5	0,81	A

Group Power System Data 2; Group Line Status

No.	Settings	Value	Group
1130A	Pole Open Current Threshold	0,50 A	A
1131A	Pole Open Voltage Threshold	30 V	A
1132A	Seal-in Time after ALL closures	0,05 sec	A
1134	Recognition of Line Closures with	Manual Close BI only	A
1135	RESET of Trip Command	with Pole Open Current Threshold only	A
1140A	CT Saturation Threshold	100,0 A	A
1150A	Seal-in Time after MANUAL closures	0,30 sec	A
1151	Manual CLOSE COMMAND generation	NO	A

Group Power System Data 2; Group Line Status

No.	Settings	Value	Group
1152	MANUAL Closure Impulse after CONTROL	<none>	All

Group Power System Data 2; Group Trip 1-/3-pole

No.	Settings	Value	Group
1155	3 pole coupling	with Trip	A
1156A	Trip type with 2phase faults	3pole	A

Group 21 Distance protection, general settings; Group General

No.	Settings	Value	Group
1201	21 Distance protection is	ON	A
1202	Phase Current threshold for dist. meas.	0,50 A	A
1211	Angle of inclination, distance charact.	83 °	A
1208	Series compensated line	NO	A
1232	Instantaneous trip after SwitchOnToFault	Inactive	A
1241	R load, minimum Load Impedance (ph-g)	∞ Ohm	A
1242	PHI load, maximum Load Angle (ph-g)	45 °	A
1243	R load, minimum Load Impedance (ph-ph)	∞ Ohm	A
1244	PHI load, maximum Load Angle (ph-ph)	45 °	A
1317A	Single pole trip for faults in Z2	NO	A
1357	Z1B enabled before 1st AR (int. or ext.)	YES	A

Group 21 Distance protection, general settings; Group Ground faults

No.	Settings	Value	Group
1203	3I0 threshold for neutral current pickup	0,50 A	A
1204	3V0 threshold zero seq. voltage pickup	5 V	A
1207A	3I0>-pickup-stabilisation (3I0>/ Iphmax)	0,10	A
1209A	Criterion of ground fault recognition	3I0> OR 3V0>	A
1221A	Loop selection with 2Ph-G faults	block leading ph-g loop	A

Group 21 Distance protection, general settings; Group Time Delays

No.	Settings	Value	Group
1210	21 Condition for zone timer start	with distance pickup	A
1305	T1-1phase, delay for single phase faults	0,00 sec	A
1306	T1multi-ph, delay for multi phase faults	0,00 sec	A
1315	T2-1phase, delay for single phase faults	0,50 sec	A
1316	T2multi-ph, delay for multi phase faults	0,50 sec	A
1325	T3 delay	1,00 sec	A
1335	T4 delay	2,00 sec	A
1345	T5 delay	2,00 sec	A
1355	T1B-1phase, delay for single ph. faults	0,01 sec	A
1356	T1B-multi-ph, delay for multi ph. faults	0,01 sec	A

Group 21 Distance zones (quadrilateral); Group Zone Z1

No.	Settings	Value	Group
1301	Operating mode Z1	Forward	A
1302	R(Z1), Resistance for ph-ph-faults	0,671 Ohm	A
1303	X(Z1), Reactance	0,368 Ohm	A
1304	RG(Z1), Resistance for ph-gnd faults	3,785 Ohm	A
1305	T1-1phase, delay for single phase faults	0,00 sec	A
1306	T1multi-ph, delay for multi phase faults	0,00 sec	A
1307	Zone Reduction Angle (load compensation)	0 °	A

Group 21 Distance zones (quadrilateral); Group Zone Z1B-exten.

No.	Settings	Value	Group
1351	Operating mode Z1B (overreach zone)	Forward	A
1352	R(Z1B), Resistance for ph-ph-faults	0,691 Ohm	A
1353	X(Z1B), Reactance	0,520 Ohm	A
1354	RG(Z1B), Resistance for ph-gnd faults	3,805 Ohm	A
1355	T1B-1phase, delay for single ph. faults	0,01 sec	A
1356	T1B-multi-ph, delay for multi ph. faults	0,01 sec	A

Group 21 Distance zones (quadrilateral); Group Zone Z1B-exten.

No.	Settings	Value	Group
1357	Z1B enabled before 1st AR (int. or ext.)	YES	A

Group 21 Distance zones (quadrilateral); Group Zone Z2

No.	Settings	Value	Group
1311	Operating mode Z2	Forward	A
1312	R(Z2), Resistance for ph-ph-faults	0,696 Ohm	A
1313	X(Z2), Reactance	0,560 Ohm	A
1314	RG(Z2), Resistance for ph-gnd faults	3,810 Ohm	A
1315	T2-1phase, delay for single phase faults	0,50 sec	A
1316	T2multi-ph, delay for multi phase faults	0,50 sec	A
1317A	Single pole trip for faults in Z2	NO	A

Group 21 Distance zones (quadrilateral); Group Zone Z3

No.	Settings	Value	Group
1321	Operating mode Z3	Forward	A
1322	R(Z3), Resistance for ph-ph-faults	0,750 Ohm	A
1323	X(Z3), Reactance	0,970 Ohm	A
1324	RG(Z3), Resistance for ph-gnd faults	3,864 Ohm	A
1325	T3 delay	1,00 sec	A

Group 21 Distance zones (quadrilateral); Group Zone Z4

No.	Settings	Value	Group
1331	Operating mode Z4	Reverse	A
1332	R(Z4), Resistance for ph-ph-faults	0,671 Ohm	A
1333	X(Z4), Reactance	0,368 Ohm	A
1334	RG(Z4), Resistance for ph-gnd faults	3,785 Ohm	A
1335	T4 delay	2,00 sec	A

Group 21 Distance zones (quadrilateral); Group Zone Z5

No.	Settings	Value	Group
1341	Operating mode Z5	Inactive	A
1342	R(Z5), Resistance for ph-ph-faults	2,400 Ohm	A
1343	X(Z5)+, Reactance for Forward direction	2,400 Ohm	A
1344	RG(Z5), Resistance for ph-gnd faults	2,400 Ohm	A
1345	T5 delay	2,00 sec	A
1346	X(Z5)-, Reactance for Reverse direction	0,800 Ohm	A

Group 68 Power Swing detection; Group

No.	Settings	Value	Group
2002	Power Swing Operating mode	all zones blocked	A
2006	68T Power swing trip	NO	A
2007	68 Trip delay after Power Swing Blocking	0,08 sec	A

Group 85-21 Pilot Prot. for Distance prot.; Group

No.	Settings	Value	Group
2101	85-21 Pilot Prot. for Distance prot.	ON	A
2102	Type of Line	Two Terminals	A
2103A	Time for send signal prolongation	0,05 sec	A
2109A	Transient Block.: Duration external flt.	0,04 sec	A
2110A	Transient Block.: Blk.T. after ext. flt.	0,05 sec	A

Group 50 (N) /51 (N) Backup OverCurrent; Group General

No.	Settings	Value	Group
2601	Operating mode	ON:only active with Loss of VT sec. cir.	A
2680	Trip time delay after SOTF	0,00 sec	A

Group 50 (N) /51 (N) Backup OverCurrent; Group 50 (N) -B1

Group 50 (N)/51 (N) Backup OverCurrent; Group 50 (N) -B1

No.	Settings	Value	Group
2610	50-B1 Pickup	10,00 A	A
2611	50-B1 Delay	0,30 sec	A
2612	50N-B1 Pickup	2,50 A	A
2613	50N-B1 Delay	2,00 sec	A
2614	Instantaneous trip via Pilot Prot./BI	YES	A
2615	Instantaneous trip after SwitchOnToFault	NO	A

Group 50 (N)/51 (N) Backup OverCurrent; Group 50 (N) -B2

No.	Settings	Value	Group
2620	50-B2 Pickup	7,50 A	A
2621	50-B2 Delay	0,50 sec	A
2622	50N-B2 Pickup	1,00 A	A
2623	50N-B2 Delay	2,00 sec	A
2624	Instantaneous trip via Pilot Prot./BI	NO	A
2625	Instantaneous trip after SwitchOnToFault	NO	A

Group 50 (N)/51 (N) Backup OverCurrent; Group 51 (N) -B

No.	Settings	Value	Group
2640	51-B Pickup	∞ A	A
2642	51-B Time Dial	0,50 sec	A
2646	51-B Additional Time Delay	0,00 sec	A
2650	51N-B Pickup	∞ A	A
2652	51N-B Time Dial	0,50 sec	A
2656	51N-B Additional Time Delay	0,00 sec	A
2660	IEC Curve	Normal Inverse	A
2670	Instantaneous trip via Pilot Prot./BI	NO	A
2671	Instantaneous trip after SwitchOnToFault	NO	A

Group 50 (N)/51 (N) Backup OverCurrent; Group 50 (N) -STUB

No.	Settings	Value	Group
2630	50-STUB Pickup	7,50 A	A
2631	50-STUB Delay	0,30 sec	A
2632	50N-STUB Pickup	1,00 A	A
2633	50N-STUB Delay	2,00 sec	A
2634	Instantaneous trip via Pilot Prot./BI	NO	A
2635	Instantaneous trip after SwitchOnToFault	NO	A

Group Measurement Supervision; Group Balance / Summ.

No.	Settings	Value	Group
2901	Measurement Supervision	ON	A
2902A	Voltage Threshold for Balance Monitoring	50 V	A
2903A	Balance Factor for Voltage Monitor	0,75	A
2904A	Current Threshold for Balance Monitoring	2,50 A	A
2905A	Balance Factor for Current Monitor	0,50	A
2906A	Summated Current Monitoring Threshold	0,50 A	A
2907A	Summated Current Monitoring Factor	0,10	A
2908A	T Balance Factor for Voltage Monitor	5 sec	A
2909A	T Current Balance Monitor	5 sec	A

Group Measurement Supervision; Group Meas.Volt.Fail

No.	Settings	Value	Group
2910	Fuse Failure Monitor	ON	A
2911A	Minimum Voltage Threshold V>	30 V	A
2912A	Maximum Current Threshold I<	0,50 A	A
2913A	Maximum Voltage Threshold V< (3phase)	5 V	A
2914A	Differential Current Threshold (3phase)	0,50 A	A
2915	Voltage Failure Supervision	with current supervision	A
2916A	Delay Voltage Failure Supervision	3,00 sec	A

Group Measurement Supervision; Group VT mcb

Group Measurement Supervision; Group VT mcb

No.	Settings	Value	Group
2921	VT mcb operating time	0 ms	A

Group 79 Auto Reclosing; Group General

No.	Settings	Value	Group
3401	79 Auto-Reclose Function	ON	A
3402	52-ready interrogation at 1st trip	NO	A
3403	Reclaim time after successful AR cycle	5,00 sec	A
3404	AR blocking duration after manual close	5,00 sec	A
3406	Evolving fault recognition	with Trip	A
3407	Evolving fault (during the dead time)	Stops 79	A
3408	AR start-signal monitoring time	0,20 sec	A
3409	Circuit Breaker (CB) Supervision Time	3,00 sec	A
3410	Send delay for remote close command	oo sec	A
3411A	Maximum dead time extension	oo sec	A

Group 79 Auto Reclosing; Group 1st AR-cycle

No.	Settings	Value	Group
3450	Start of AR allowed in this cycle	YES	A
3451	Action time	0,20 sec	A
3456	Dead time after 1pole trip	0,60 sec	A
3457	Dead time after 3pole trip	0,01 sec	A
3458	Dead time after evolving fault	1,20 sec	A
3459	52-ready interrogation before reclosing	NO	A
3460	Request for synchro-check after 3pole AR	NO	A

Group 79 Auto Reclosing; Group 3pTRIP/DLC/RDT

No.	Settings	Value	Group
3430	3pole TRIP by AR	YES	A
3431	Dead Line Check or Reduced Dead Time	Without	A
3438	Supervision time for dead/ live voltage	0,10 sec	A
3440	Voltage threshold for live line or bus	48 V	A
3441	Voltage threshold for dead line or bus	30 V	A

Group 79 Auto Reclosing; Group Start AR with..

No.	Settings	Value	Group
3420	AR with 21 (distance protection)	YES	A
3425	AR with 50 (N) -B (back-up overcurrent)	NO	A

Group 25 Synchronism and Voltage Check; Group General

No.	Settings	Value	Group
3501	25 Synchronism and Voltage Check	ON	A
3502	Voltage threshold dead line / bus	5 V	A
3503	Voltage threshold live line / bus	50 V	A
3504	Maximum permissible voltage	110 V	A
3507	Maximum duration of synchronism-check	1,00 sec	A
3508	Synchronous condition stability timer	0,00 sec	A
3509	Synchronizable circuit breaker	<none>	All

Group 25 Synchronism and Voltage Check; Group with AR

No.	Settings	Value	Group
3510	Operating mode with AR	without consideration of 52 closing time	A
3511	Maximum voltage difference	2,0 V	A
3512	Maximum frequency difference	0,10 Hz	A
3513	Maximum angle difference	10 °	A
3515A	Live bus / live line and Sync before 79	YES	A
3516	Live bus / dead line check before 79	YES	A
3517	Dead bus / live line check before 79	NO	A
3518	Dead bus / dead line check before 79	YES	A
3519	Override of any check before 79	NO	A

Group 25 Synchronism and Voltage Check; Group Man.Close+CNTRL

No.	Settings	Value	Group
3530	Operating mode with Man.Cl	without consideration of 52 closing time	A
3531	Maximum voltage difference	2,0 V	A
3532	Maximum frequency difference	0,10 Hz	A
3533	Maximum angle difference	10 °	A
3535A	Live bus / live line and Sync before MC	YES	A
3536	Live bus / dead line check before Man.Cl	YES	A
3537	Dead bus / live line check before Man.Cl	YES	A
3538	Dead bus / dead line check before Man.Cl	YES	A
3539	Override of any check before Man.Cl	NO	A

Group Fault Locator; Group

No.	Settings	Value	Group
3802	Start fault locator with	TRIP	A
3806	Load Compensation	NO	A

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 07.11.1978

Doğum yeri Ş.Urfa

Lise 1992-1995 Fenerbahçe Lisesi

Lisans 1997-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fak.
Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2003-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Müh. Anabilim Dalı, Elektrik Tesisleri
Programı

Çalıştığı kurum

2001-Devam ediyor Siemens Sanayi ve Ticaret A.Ş.