

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

**ENERJİ SİSTEMLERİNDE GEÇİCİ OLAYLARIN
KORUMAYA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk. Müh. Ali TORUŞ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet BAYRAK

Ağustos 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİNDE GEÇİCİ OLAYLARIN
KORUMAYA ETKİSİ

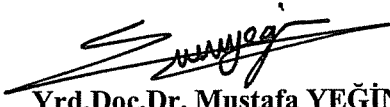
YÜKSEK LİSANS TEZİ


Eik.Müh. Ali TORUŞ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez 04/08/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd.Doç.Dr. Mehmet BAYRAK
Jüri Başkanı


Yrd.Doç.Dr. Mustafa YEĞİN
Üye


Yrd.Doç.Dr. Türker F. ÇAVUŞ
Üye

ÖNSÖZ

Hızla kentleşen ve sanayileşen ülkemizin enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Artan enerji ihtiyacı evlerde ve sanayide kullanılan birçok ileri teknoloji cihaz ve teçhizat için kaliteli enerji ve güvenilir enerji kavramını önemli hale getirmiştir. Bu bağlamda enerji sistemini korumakla yükümlü olan cihazların hızlı ve hatasız çalışması büyük önem arz etmektedir. Maalesef enerji iletim sisteminin işletilmesinde teknolojik gelişmeler hızlı bir şekilde takip ediliyor olsa da mevcut eski ve bakımsız teçhizat hatalı ölçümlere ve hatalı açmalara sebep olarak enerji kesintilerine ve enerji kalitesinde kötüleşmeye neden olmaktadır.

Bu çalışmada geçici olayların koruma cihazları üzerine etkileri incelenmiş ve EMTP programı yardımıyla Kuzey Batı Anadolu iletim sisteminin benzetimi gerçekleştirilmiştir. Modellenen sistemde geçici olayların mesafe koruma röleleri üzerine etkileri incelenmiştir. Geçici olayların özellikle KGT ler üzerinden okunan gerilimin bozulması nedeniyle mesafe koruma rölelerinin hatalı açmalara neden olduğu görülmüştür.

Çalışmalarım sırasında benden desteğini ve yardımlarını esirgemeyen hocam Yrd.Doç.Dr. Mehmet BAYRAK'a teşekkürü bir borç bilirim. Sevgili eşimin bu çalışmalar sırasında bana verdiği destek ve gösterdiği sabır için çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KORUMA SİSTEMİ.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Ölçü Trafoları.....	3
2.2.1. Akım trafoları.....	3
2.2.2. Gerilim trafoları.....	11
2.2.2.1. Endüktif gerilim trafoları.....	11
2.2.2.2. Kapasitif gerilim trafoları.....	15
2.3. Röleler.....	22
2.3.1. Yapılarına göre röleler.....	22
2.3.1.1 Elektromekanik röleler.....	22
2.3.1.2 Statik röleler.....	26
2.3.2. Kullanım amaçlarına göre röleler.....	32
2.3.2.1. Aşırı akım rölesi.....	32
2.3.2.2. Mesafe koruma rölesi.....	36

2.3.2.3 Diferansiyel koruma rölesi.....	40
BÖLÜM 3.	
GEÇİCİ OLAYLARIN KORUMAYA ETKİSİ.....	43
3.1. Giriş.....	43
3.2. Kapasitif Gerilim Trafolarına Etkisi.....	43
3.3. Akım Trafolarına Etkisi.....	46
3.4. Röleler Üzerine Etkisi.....	47
3.4.1. Mesafe koruma rölesine etkisi.....	47
3.4.2. Diferansiyel koruma rölesine etkisi.....	49
3.4.3. Aşırıakım rölesine etkisi.....	51
BÖLÜM 4.	
ÖRNEK BİR SİSTEM ÜZERİNDE İNCELEME.....	52
BÖLÜM 5	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	56
KAYNAKLAR.....	58
EKLER.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	74

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	: Çevrime oranı
a	: Manyetik eğri sabiti
b	: Manyetik eğri sabiti
C_1	: Yüksek gerilim kondansatörü
C_2	: Orta gerilim kondansatörü
C_K	: Kaçak kapasite
d	: Çekmeli röle nüve çapı
E_S	: Sekonder çekirdek gerilimi
E_P	: Primer çekirdek gerilimi
f_b	: Örneklem frekansı
F_S	: Güvenlik faktörü
F_1	: Uzak arıza nıktası
F_2	: Yakın arıza noktası
I_p	: Primer akım
I_s	: Sekonder akım
I_M	: Mıknatıslama akımı
I_E	: Uyarma akımı
I_K	: Eddy ve histerisiz akımları
I_1	: İndüksiyen rölesi akımı
I_2	: Tork uygulanması için kullanılan akım
I_{1P}	: Güç trafosu primer akımı
I_{2P}	: Güç trafosu sekonder akımı
$I_{1σ}$: Akım trafosu yüksek gerilim tarafı
$I_{2σ}$: Akım trafosu alçak gerilim tarafı
I_{sn}	: Nominal sekonder akımı
I_{TS}	: Toplam sekonder akım

K_n	: Nominal çevirme oranı
K_R	: Çevirme oranı
K_1	: Tork ve akımla ilişkili sabit
L_R	: Kompanzasyon reaktörü
m	: Atalet momenti
N_1	: Primer sarım sayısı
N_2	: Sekonder sarım sayısı
PR	: Düşük remenanslı akım trafosu
P_1	: Primer giriş ucu
P_2	: Sekonder çıkış ucu
R	: Empedans aktif bileşeni
T_F	: Ferrorezonans süresi
T1,T2,T3	: KGT lerde Ferrorezonans koruma sınıfları
\hat{U}_S	: Sekonder gerilim tepe değeri
U_p	: Primer gerilim
U_s	: Sekonder gerilim
V_S	: Sekonder gerilim
V_Y	: Primer gerilim
x	: Çekme mesafesi
X	: Empedans reaktif bileşeni
W	: Çekme enerjisi
Z	: Empedans
Δt	: Örneklem zaman farkı
θ	: Disk yolu
λ	: Manyetik akı
μ_0	: Boşluğun manyetik geçirgenliği
τ	: Tork
τ_F	: Maksimum yolda döndürme torku
τ_s	: Başlangıç döndürme torku
ω	: Açısal hız
ANSI	: Amerika Birleşik Devletleri ulusal standart enstitüsü

A/D	: Analog/Dijital
EMTP	: Electromagnetic Transition Program
G	: Generatör
GIS	: Gaz izoleli şalt
IEEE	: Uluslararası elektrik elektrik mühendisleri enstitüsü
IEC	: Uluslararası elektrik komitesi
KGT	: Kapasitif Gerilim Trafoları
OG	: Orta gerilim
P	: Koruma
R	: Röle
SDF	: Sınır değer faktörü
SIR	: Sistem empedans oranı
S/H	: Sinyal tutucu
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TES	: Termik santral
TM	: Trafo Merkezi
YG	: Yüksek gerilim

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1	Koruma sisteminin şematik gösterimi.....	3
Şekil 2.2	Epoksi izoleli akım trafosu.....	4
Şekil 2.3	154 kV harici akım trafosu.....	4
Şekil 2.4	380 kV harici akım trafoları	5
Şekil 2.5	Nüvesi altta olan (a) ve nüvesi üstte olan (b) yağlı tip akıp trafosu.....	5
Şekil 2.6	Akım trafosu eşdeğer devresi.....	6
Şekil 2.7	Yükün güç faktörü 1 olması durumunda akım trafosu fazör diyagramı.....	7
Şekil 2.8	Yükün güç faktörü 0.5 olması durumunda akım trafosu fazör diyagramı.....	7
Şekil 2.9	Akım trafosu doyma eğrisi.....	7
Şekil 2.10	Farklı sekonder çıkışlı akım trafosu.....	8
Şekil 2.11	Endüktif gerilim trafosu	11
Şekil 2.12	Epoksi izoleli 36 kV dahili gerilim trafosu.....	12
Şekil 2.13	Endüktif gerilim trafosu fazör diyagramı.....	12
Şekil 2.14	Yıldız bağlantı.....	14
Şekil 2.15	Açık üçgen bağlantı.....	14
Şekil 2.16	Kapasitif Gerilim trafosunun prensip şeması.....	15
Şekil 2.17	380kV kapasitif gerilim trafosu.....	16
Şekil 2.18	Bir gerilim trafosunun kesici üzerinden sisteme bağlanması.....	17
Şekil 2.19	a) Eşdeğer devre, b) Akım ve kaçak akı ilişkisi.....	17
Şekil 2.20	a) Pasif ferrezonans devresi b) Aktif ferrezonans devresi.....	18
Şekil 2.21	0,1-0,5-1,0 sınıfları için hata diyagramı.....	20
Şekil 2.22	0.3-06-1.2 sınıfları düzeltme faktörü diyagramı.....	22
Şekil 2.23	Röle prensip şeması.....	22

Şekil 2.24	Çekmeli röle.....	23
Şekil 2.25	Elektromekanik bir rölenin prensip şeması.....	24
Şekil 2.26	OMRON markalı elektromekanik bir aşırı akım rölesi.....	25
Şekil 2.27	Mekanik bir mesafe koruma rölesi.....	26
Şekil 2.28	Analog statik bir mesafe koruma rölesi.....	27
Şekil 2.29	Analog statik bir aşırı akım rölesi.....	27
Şekil 2.30	Dijital bir rölenin çalışması.....	28
Şekil 2.31	Antialiasing filitreyle analog sinyalin temizlenmesi.....	28
Şekil 2.32	Analog bir sinyalden 32 örnekleme alınarak tekrar oluşturulması..	29
Şekil 2.33	Analog bir sinyalden örnekleme alınması.....	29
Şekil 2.34	Dijital Röle algoritması.....	30
Şekil 2.35	Analog sinyalin dijitale çevrilmesi.....	30
Şekil 2.36	Dijital filtreleme.....	31
Şekil 2.37	Dijital bir mesafe koruma rölesi (Siemens).....	31
Şekil 2.38	Ters zaman karakteristiği.....	32
Şekil 2.39	Standart ters zaman karakteristikleri.....	33
Şekil 2.40	Ters zaman ve ani zaman karakteristikleri ile radyal bir sistemin korunması.....	34
Şekil 2.41	Yük fiderinde oluşan arıza.....	36
Şekil 2.42	Üretim fiderinde oluşan arıza.....	36
Şekil 2.43	Radyal bir sistemin mesafe koruma röleleriyle korunması.....	37
Şekil 2.44	X-R empedans diyagramı.....	37
Şekil 2.45	Empedans karakteristiği.....	38
Şekil 2.46	MHO karakteristiği.....	38
Şekil 2.47	Örnek bir sistem.....	39
Şekil 2.48	Mho karakteristiği üzerinde arıza analizi.....	39
Şekil 2.49	4 kademeli bir ofset mho karakteristiği.....	40
Şekil 2.50	Dörtgen karakteristiği ve eliptik karakteristik	40
Şekil 2.50	Diferansiyel rölenin prensip şeması.....	41
Şekil 2.52	Yüzde Diferansiyel röle karakteristikleri.....	41
Şekil 3.1	50 Hz için pasif ferrezonans filtreli KGT modeli.....	44
Şekil 3.2	50 Hz için aktif ferrezonans filtreli KGT modeli.....	44

Şekil 3.3	EMTP Yardımıyla benzetimi yapılan iletim sistemi.....	45
Şekil 3.4	Aktif ve pasif ferrerezonans filtreli KGT lerin dalga şekli cevabı	45
Şekil 3.5	Aktif ve pasif ferrerezonans filtreli KGT lerin etkin değer cevabı	45
Şekil 3.6	Arıza akımının bileşenleri.....	46
Şekil 3.7	Dört baralı örnek bir system.....	48
Şekil 3.8	Mho karakteristiği üzerinde hatalı empedans.....	48
Şekil 3.9	EK-F'deki benzetimde gösterilen mesafe koruma rölelerinin hesapladıkları empedans eğrileri.....	49
Şekil 3.10	Güç trafosu diferansiyel koruması.....	50
Şekil 3.11	Fark akımındaki yükselme ve düşüş.....	50
Şekil 3.12	Doyma anında aşırı akım rölesinin çalışması.....	51
Şekil 4.1	Benzetimi yapılan iletim sistemi.....	52
Şekil 4.2	Arıza sırasında Zonguldak barasındaki gerilimlerin değişimi.....	54
Şekil 4.3	Arıza sırasında Zonguldak barasından Ereğli 2 barasına gerilimlerin değişimi.....	54
Şekil 4.4	Paralel hatta arıza olması durumunda Zonguldak TM de KGT üzerinden ölçülen empedans.....	54
Şekil 4.5	Paralel hatta arıza olması durumunda Zonguldak TM de KGT üzerinden ölçülen empedansın aktif ve reaktif kısımları	56
Şekil 5.1	Mesafe koruma rölesinin kademe ayarı.....	57
Şekil A.1	Sembolik gösterimi.....	61
Şekil A.2	EMTP de arıza modeli	61
Şekil B.1	EMTP'de aktif ferrerezonans filtreli KGT modeli.....	62
Şekil C.1	EMTP'de aktif ferrerezonans filtreli KGT modeli.....	63
Şekil D.1	EMTP'de iletim sisteminden KGT ile gerilim ölçülmesi.....	64
Şekil E.1	EMTP'de oluşturulan mesafe koruma rölesi sembolü.....	65
Şekil E.2	EMTP'de modellenen mesafe koruma rölesi.....	65
Şekil F.1	EMTP'de oluşturulan iletim sisteminde mesafe koruma uygulaması	66
Şekil G.1	EMTP'de oluşturulan diferansiyel röle uygulaması.....	67
Şekil H.1	154 kV Yeniçates-Ereğli2 iletim sistemi.....	68

Şekil I.1	EPTM Programında 154kV Yeniçates-Ereğli 2 İletim Sistemi Modeli.....	69
Şekil J.1	477 MCM hat data sembolü.....	70
Şekil J.2	Tek devre 477 MCM İletim hattı veri giriş penceresi.....	70
Şekil J.3	1272 MCM iletkenli hat sembolü.....	71
Şekil J.4	Tek devre 1272 MCM İletim hattı veri giriş penceresi.....	71
Şekil J.5	İletkenlerin direk üzerindeki konumları.....	72
Şekil J.6	İletkenin kalınlık çap oranı.....	72
Şekil J.7	Demet iletkenlerin düzenlenmesi.....	73

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	IEC 60044-1'e göre ölçüm akım trafolarının hata sınırları (0.1 ile 1 sınıfları arası).....	9
Tablo 2.2.	3 ve 5 sınıflarına göre hata sınırları.....	9
Tablo 2.3	IEC 60044-1'e göre özel uygulamalar için üretilen ölçüm akım trafolarının hata sınırları.....	10
Tablo2.4	60044-1 e göre koruma akım trafolarının hata sınırları.....	10
Tablo 2.5	60044-1 e göre PR tipi akım trafolarının hata sınırları.....	11
Tablo 2.6	Ölçüm Endüktif gerilim trafolarının hata sınırları.....	13
Tablo 2.7	Koruma endüktif gerilim trafolarının hata sınırları.....	13
Tablo 2.8	Etkin topraklı bir sistemde ferroresonans sınırları.....	18
Tablo 2.9	Etkin topraklı olmayan veya izole sistemler için ferroresonans sınırları.....	19
Tablo2.10	Ölçme gerilim trafoları için gerilim ve faz kayma sınırları.....	20
Tablo 2.11	Koruma gerilim trafolarının hata sınırları.....	21
Tablo 2.11	Geçici durumlarda cevap oranlarının sınır değerleri.....	21
Tablo 2.12	Amerikan standartlarına göre koruma gerilim trafolarının hata sınırları	22

ÖZET

Anahtar kelimeler: KGT, EMTP, SIR,doyma, mesafe koruma, ferreazonans

Enerji iletim sistemlerinde kullanılan KGT'ler (kapasitif gerilim trafoları) enerjilendirildiklerinde nüvelerindeki endüktif etki ile trafoya bağlı kapasitif elemanlar seri rezonansa girebilmektedir. Bu olaya ferreazonans olayı adı verilir. Bu olay sırasında aşırı akımlar oluşmaktadır. Bu durumun ölçüm sistemini etkilememesi amacıyla KGT'lerin içinde ferreazonans baskılama devreleri bulunmaktadır. Ferreazonans filtre devreleri geçici olaylar sırasında KGT'lerin geriliminin etkin değerinin düşük okunmasına yol açar. Bu durum da mesafe koruma rölelerinin aşırı menzil görmelerine sebep olarak hatların gereksiz olarak açmasına neden olur. Bununla birlikte geçici durumlar akım trafolarının doymasına sebep olabilmektedir. Doymaya giden akım trafoları akım değerlerini doğru yansıtamazlar. Doğru ölçülemeyen akım değerleri aşırı akım röleleri ve diferansiyel rölelerin hatalı çalışmasına sebep olur.

Çalışmamızda KGT ler ve akım trafolarının geçici durulmadan nasıl etkilendikleri incelendi. EMTP programı yardımıyla çeşitli KGT modeli oluşturularak hatalı çalışma durumları incelendi. Bununla birlikte Kuzeybatı Anadolu İletim sistemindeki mesafe koruma rölelerinin hatalı çalışma durumu EMTP programı yardımıyla modellenerek incelendi. Rölelerin hatalı çalışma sorununun çözümü için çeşitli öneriler geliştirildi.

EFFECT OF TRANSIENTS ON POWER SYSTEM PROTECTION

SUMMARY

Key Words: CCVT, SIR, EMTP, distance protection, ferroresonance, saturation

When CCVT's(Coupling Capacitor Voltage Transformers) are energized, Voltage may increase extremely. It is called ferroresonans effect which has nonlinear character. For preventing voltage increasing, ferroresonans filter is used. However, ferroresonans filter circuits cause voltage reducing when transient occurs on power system. So this affects distance protection relays. They made overreach. Although there is no fault , relay produce trip signal. In addition that; Transients forced current transformers to saturate. So current is mismeasured. In these circumstances, Over-current relays and differential relays may mis-operate. In this study, we try to show how CCVT's behave on transient case. A CCVT model with active and passive ferroresonance suppression circuits is prepared on EMTP. In addition that; A part of North West Anatolian power transmission system is modeled on EMTP. And different bus voltages are measured by CCVT's modeled before.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Ülkemizde her yıl yaklaşık 190 milyar kWh elektrik enerjisi üretilmekte ve bu enerji uzunluğu 47000km'yi bulan iletim hatları ile santrallerden trafo merkezlerine taşımaktadır[1]. Son bir yılı saymazsak elektrik üretimi hükümetlerin politikaları ve sanayinin büyümesi ile orantılı olarak her yıl %8 artmaktadır. Buna karşıt olarak enerji iletim sisteminde bazı teknik konularda yeni yatırımlar (röle alımları gibi) yapılırsa da kentlerin büyümesi neticesinde kamulaştırma sorunları ortaya çıkmakta ve yeni havai hatların yapımında büyük sorunlar yaşanmaktadır. Keza 154kV ve 380 kV yer altı kablolarının yapımı çok büyük maliyetler getirmektedir. Bu gelişmeler neticesinde her geçen gün mevcut enerji iletim hatları daha yüksek kapasite kullanım oranları ile çalıştırılmaktadır.

Bu temel verilerin yanı sıra enterkonnekte sistemin temel işlevi elektrik enerjisini taşımakla birlikte kaliteli ve kesintisiz bir biçimde bunu gerçekleştirmektir. Enerji güvenilirliği hem sanayide hem evsel tüketim için büyük önem arz etmektedir. Günümüzde sanayide çok gelişmiş proseslerle üretim yapılmaktadır. Enerji kesintileri fabrikalarda önemli hammadde veya yarı mamül kaybına neden olmaktadır. Aynı biçimde hastaneler gibi yoğun teknoloji kullanan hizmet sektörü tesislerinin de kalitesiz ve güvenilir olmayan enerjiye tahammülü bulunmamaktadır. Buna karşın hala bazı trafo merkezleri tek bir hat ile beslenerek bir arıza anında enerjisiz kalması muhakkak bir şekilde işletilmektedir [2].

Enterkonnekte sistemin planlanması ve işletilmesi ile ilgili bu gibi temel hatalarla birlikte, birçok trafo merkezinde eski ve yetersiz teçhizat kullanılarak arızalara ve sonucu olarak kalitesiz enerjiye davetiye çıkartılmaktadır. Örn: Havalı kesiciler, eski klemensler. 01/08/2006 tarihinde Bursa Organize Sanayi Bölgesi TM'deki eski bir klemensin neden olduğu arıza tüm Batı Anadolu'ya yayılmış ve 12 saat boyunca 8 şehir enerjisiz kalmıştır[3].

En son olarak sistemin bu kronik sorunlarının yanı sıra bazı teçhizatın ve rölelerin hatalı çalışması da arz güvenliği açısından çok önemlidir. Yukarıda bahsedilen sorunların hiç birisi bulunmasa bile bazı durumlarda röleler gelen sinyalleri hatalı değerlendirmekte veya hatalı ölçüm yapan akım ve gerilim trafolarından alınan sinyaller rölelerin hatları arıza olmasa dahi açtırmasına neden olmaktadır.

Çalışmamızda Enerji İletiminde kullanılan teçhizatların geçici durumlardaki çalışma performansları incelenmiştir. Özellikle kapasitif gerilim trafolarının geçici olaylar sırasındaki hatalı ölçümleri ile bunun mesafe koruma rölelerinin hatalı çalışmasına neden olması durumu incelenmiştir.

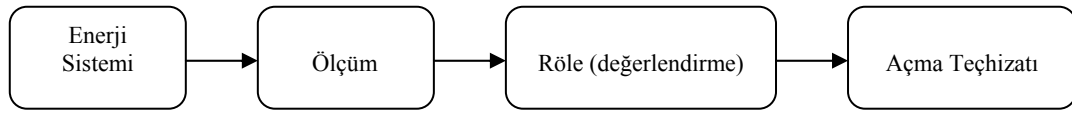
Daha önceki çalışmalarla kapasitif gerilim trafolarında gerilimin geçici olaylar sırasında hatalı ölçülmesinin nedeni olarak ferroresonans filtreleri olduğu tespit edilmiş [4] ve ferroresonans olayının da nonlineer bir özellik taşıdığı anlaşılmıştır [5]. Ferroresonans olayının hızlı bir şekilde bastırılması için farklı önerilerde bulunulmasına karşın [6] ferrozonans filtreleri sistemde sıkça kullanılmaktadırlar. Bilimsel araştırmalarda KGT lerin modellenebilmesi için birçok çalışma yapılmıştır [7, 8, 9]. bu çalışmalarla birlikte hatalı gerilim ölçümünün röleler üzerine etkileri de incelenmiştir [10]. Mesafe koruma röleleri üzerinde aşırı menzil sorununa neden olduğu tespit edilerek konu ile ilgili öneriler geliştirilmiştir [4, 10].

Çalışmamızda bu gibi durumunla sık sık karşılaşılan Kuzeybatı Anadolu İletim sistemi üzerinde EreğliII TM ile Yeniçates TM arasındaki iletim bölümü incelenmiştir. EMTP programı yardımıyla bu bölümün benzetimi yapılmış ve hatların geçici olaylar sonucu gereksiz olarak açtığı burada da görülmüştür. Sorunun çözümü için TEİAŞ yetkilileri ile görüşülmüş ve öneriler geliştirilmiştir.

BÖLÜM 2. KORUMA SİSTEMİ

2.1. Giriş

Koruma sistemleri akım ve gerilim trafolarından alınan değerleri röle yardımıyla değerlendirerek açma sinyali üreten sistemlerdir (Şekil 2.1). Çeşitli röleler giriş sinyallerini doğrudan bir değerle kıyaslayabileceği gibi (Aşırı akım röleleri), giriş sinyallerinden türetilen değerleri de kullanabilirler (Mesafe koruma röleleri). Koruma sistemlerinin doğru olarak çalışabilmesi için enerji sistemindeki gerçek değerlere uygun olarak ölçüm yapılması, yapılan ölçüm değerlerin röle tarafından uygun bir algoritma ile doğru olarak değerlendirilmesi ve uygun sinyalin üretilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.1 Koruma sisteminin şematik gösterimi

2.2. Ölçü Trafoları

2.2.1. Akım trafoları

Akım trafoları gerilim yüksek olduğu primer bölüm ile ölçüm yapılan sekonder bölümü birbirinden ayırarak; akımı belli bir oranda düşüren ve bu sayede akımın ölçülmesini sağlayan trafolardır. Akım trafoları kullanıldıkları mekana göre harici ve dahili olmak üzere iki tiptir. Dahili akım trafoları genellikle orta ve düşük gerilimde kullanılırken harici akım trafoları yüksek ve çok yüksek gerilimlerde kullanılırlar. Akım trafoları izolasyon açısından izolasyon yağlı, epoksi izoleli ve SF6 gaz izoleli olarak üretilirler. Dahili akım trafoları genellikle epoksi izolelidir (Şekil2.2).



Şekil 2.2 Epoksi izoleli akım trafosu

Harici akım trafolarında soğutma açısından da etkili olan izolasyon yağı kullanılır. SF6 gazlı akım trafoları ise gaz izoleli şalt (GIS) larda kullanılırlar. Güç trafolarında buşinglerin içine yerleştirilen akım trafoları da sistemde bulunmaktadır.

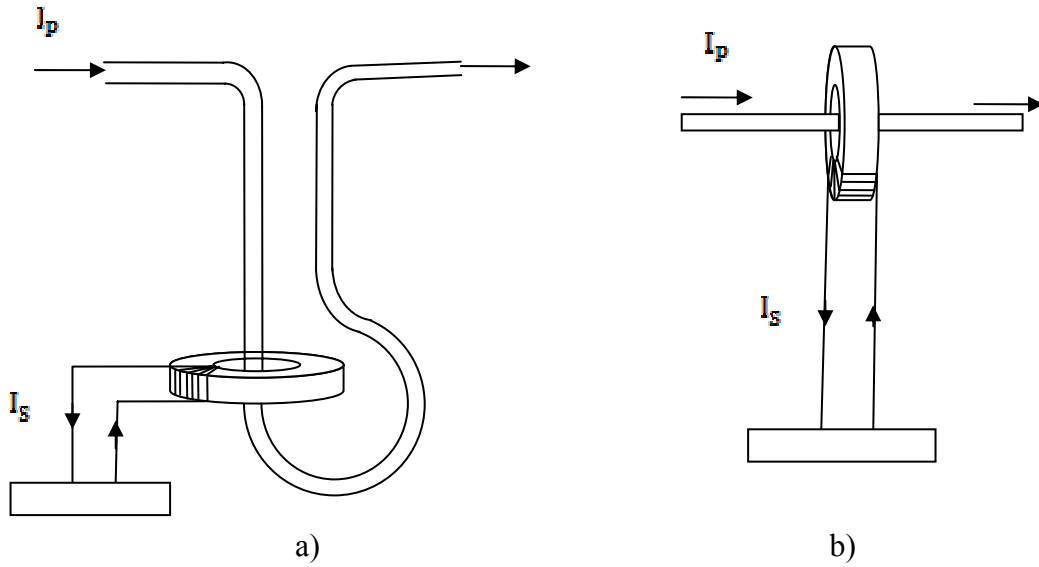
Bunların arasında Türkiye iletim sisteminde en çok kullanılan akım trafoları harici tip yağlı akım trafolarıdır. Bu akım trafoları 66, 154 ve 380 kV gerilim seviyesine göre üretilirler(Şekil 2.3, Şekil2.4). Bu trafoların tasarımına göre bazılarının nüveleri üst kısımda bazılarının ise alt kısımda izolatörün içinde bulunur [11] (Şekil 2.5).



Şekil 2.3 154 kV harici akım trafosu

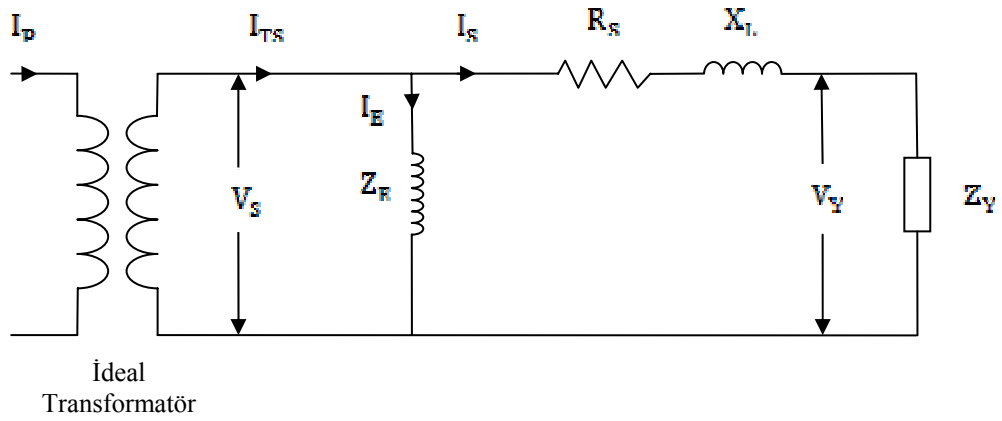


Şekil 2.4 380 kV harici akım trafoları



Şekil 2.5 nüvesi altta olan (a) ve nüvesi üstte olan (b) yağlı tip akım trafosu

Elektriksel olarak akım trafoları diğer trafolardan farklıdır. Primer empedansın ihmal edilmesi durumunda Şekil2.6'daki eşdeğer devre ile ifade edilebilirler[11].



Şekil 2.6 akım trafosu eşdeğer devresi

akımı mıknatıslama akımı ve histerisis ve eddy akımlarının toplamına eşittir(denklem2.1). akımı ise akımlarının toplamına eşittir (Denklem2.2).

$$I_M + I_K = I_E \quad (2.1)$$

$$I_{TS} = I_s + I_E$$

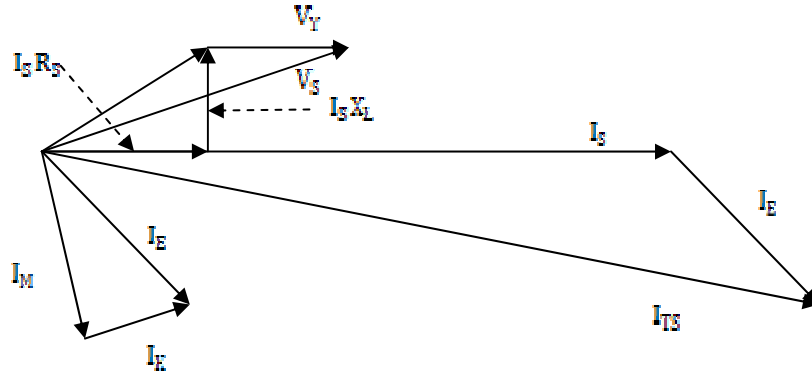
Çevirme oranı denklem 2.3' deki gibi ifade edilir.

$$\frac{N_2}{N_1} = a \quad (2.3)$$

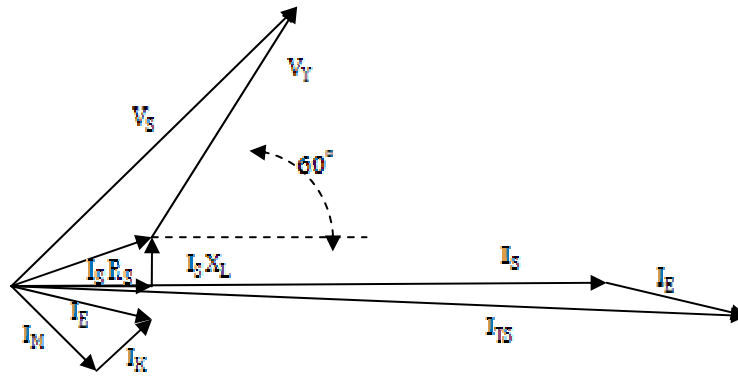
akımı ise buradan yola çıkıldığında;

$$I_p = a(I_s + I_E) \quad (2.4)$$

olarak hesaplanır. Yukarıdaki denklemler kullanılarak Şekil 2.7 ve Şekil 2.8 deki fazör diyagramlar elde edilmiştir.

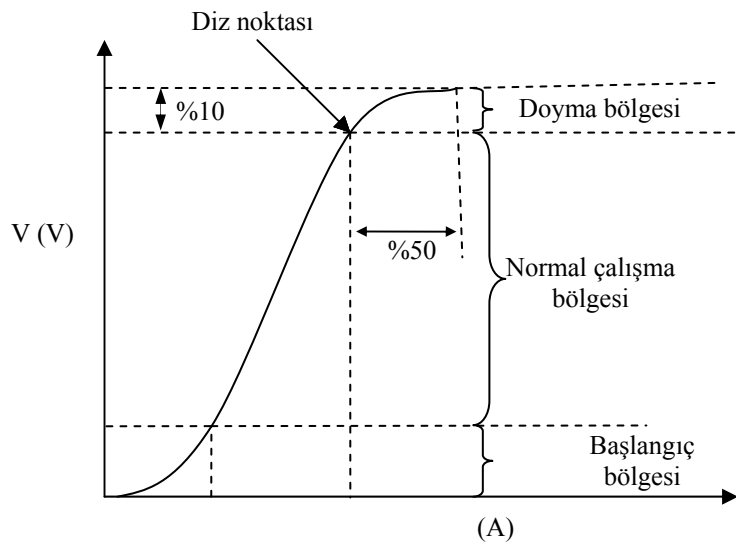


Şekil 2.7 Yükün güç faktörü 1 olması durumunda akım trafosu fazör diyagramı



Şekil 2.8 Yükün güç faktörü 0.5 olması durumunda akım trafosu fazör diyagramı

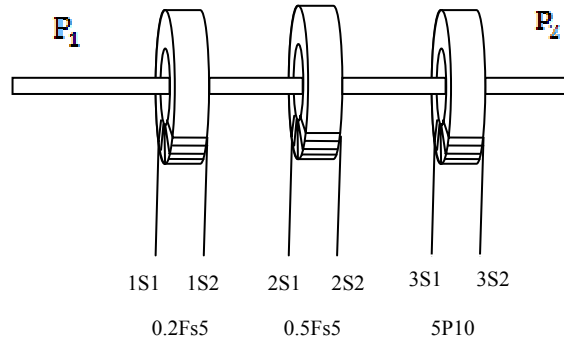
Akım trafoları kayıplar, manyetik nüvenin doyması gibi sebeplerle ölçüm sırasında hata yaparlar. Akım trafolarının hata sınıflarının belirlenmesi için en önemli etken doyma eğrisidir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Akım trafosu doyma eğrisi

Sekonder akımın %50 artmasına karşın sekonder gerilimin %10 artış gösterdiği bölüm doyma bölgesidir. Bu bölgenin başlangıç noktası ise diz noktası olarak tanımlanır. Akım-gerilim ilişkisi bu noktaya kadar lineer olarak kabul edilir.

Akım trafoları ölçüm ve koruma olarak işlevine göre ikiye ayrılır. Ölçüm akım trafoları daha küçük hata sınırına sahip ve ölçü aletlerinin zarar görmemesi için erken doyan nüveler kullanılarak imal edilirler. Bunun aksine koruma akım trafolarında ise arıza akımları yüksek olduğu için geç doyan nüveler kullanılır. Bunlarla birlikte akım trafoları genellikle çok sekonderlidir. Hem ölçüm için hem koruma için ayrı sekonder uçları vardır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Farklı sekonder çıkışlı akım trafosu

Akım trafolarının hataları denklem 2.5'deki ile hesaplanır[12].

$$\% \text{ akım hatası} = \frac{(K_n I_s - I_p) \times 100}{I_p} \quad (2.5)$$

: Nominal çevirme oranı

: Sekonder akım

: Primer akım

Akım trafolarının hata sınıfları için ANSI ve IEC farklı yöntemler ve işaretlemeler kullanmaktadır.

IEC'ye göre ölçüm akım trafolarında standart hata sınıfları 0.1-0.2-0.5-1-3-5 olarak belirlenmiştir. Bu sınıftaki akım trafoları nominal yükün %25 ile % 100 ü arasında Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'de verilen değerleri aşmazlar. Özel uygulamalarda kullanılmak üzere imal edilen daha hassas ölçüm yapılmasını sağlayan 0.2S ve 0.5S akım trafoları ise Tablo 2.3'de verilen hata sınırlarını aşmazlar. Bunların dışında akım trafolarının hata sınırlarının tespitini kolaylaştıran güvenlik değeri FS (Security Factor) kullanılır[12].

$$\frac{I_{Uyarma}}{I_{sn} FS} \times 100 \geq 10 \quad (2.6)$$

IEC standardında açıklanan yöntem kullanılarak ölçülen akımının nominal akımın FS katına oranının %10 dan büyük olması istenir. Yani nominal akımın FS katından önce trafonun doymaya gitmesi istenir. Örneğin 0.2 FS 5 olarak işaretli bir trafo 0.2 doğruluk sınıfında ve 800/5 bir akım trafosu ise nominal sekonder akımı olan 5A'ın 5 katından önce trafo doyar.

Tablo 2.1 IEC 60044-1'e göre ölçüm akım trafolarının hata sınırları (0.1 ile 1 sınıfları arası)

Hata Sınıfı	Üst satırda nominal akıma göre yüzde olarak verilen akımların yüzde olarak oran hataları (\pm)				Nominal akıma göre yüzde olarak faz kayması (\pm)							
					Dakika				Santiradyan			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0.1	0.4	0.2	0.1	0.1	15	8	5	5	0.45	0.24	0.15	0.15
0.2	0.75	0.35	0.2	0.2	30	15	10	10	0.9	0.45	0.3	0.3
0.5	1.5	0.75	0.5	0.5	90	45	30	30	2.7	1.35	0.9	0.9
1	3.0	1.5	1.0	1.0	180	90	60	60	5.4	2.7	1.8	1.8

Tablo 2.2 3 ve 5 sınıflarına göre hata sınırları

Sınıf	Üstte belirtilen nominal akımın yüzdesine göre trafonun yüzde olarak oran hatası (\pm)	
	50	120
3	3	3
5	5	5

Tablo 2.3 IEC 60044-1'e göre özel uygulamalar için üretilen ölçüm akım trafolarının hata sınırları

Hata Sınıfı	Üst satırda nominal akıma göre yüzde olarak verilen akımların yüzde olarak oran hataları (\pm)					Nominal akıma göre yüzde olarak faz kayması (\pm)									
						Dakika					Santiradyan				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0.2	0.75	0.35	0.2	0.2	0.2	30	15	10	10	10	0.9	0.45	0.3	0.3	0.3
0.5	1.5	0.75	0.5	0.5	0.5	90	15	45	30	30	2.7	1.35	0.9	0.9	0.9

IEC 60044-1'e göre koruma akım trafosu sınıfları 5 ve 10'dur. İşaretleme sırasında sınıfın yanına koruma (protection) anlamında P harfi getirilir. P'nin ardından sınır değeri yazılır. Standart sınır değeri faktörü (SDF) 5-10-15-20-30'dur. Örneğin 5P10 şeklinde işaretlenen bir akım trafosu için nominal akımın 10 katına kadar bileşke hatanın %5'i geçemeyeceği anlaşılır.

$$\frac{I_{Uyarma}}{I_{SN} SDF} \times 100 \leq \text{Bileşke Hata} \quad (2.7)$$

Denklem 2.7' tip testlerde koruma akım trafolarının hata sınıfının doğrulanması için kullanılır.

Tablo2.4 60044-1 e göre koruma akım trafolarının hata sınırları

Hata sınıfı	Nominal primer akıma göre akım hatası %	Nominal primer akımın faz kayması		Primer akımın bileşke hatası %
		Dakika	Santiradyan	
5P	± 1	± 60	± 1.8	5
10P	± 3	—	—	10

IEC'nin tanımladığı bir diğer tip akım trafosu da PR tipi akım trafolarıdır. Düşük remenanslı akım trafolarıdır (Tablo 2.5).

Tablo 2.5 60044-1 e göre PR tipi akım trafolarının hata sınırları

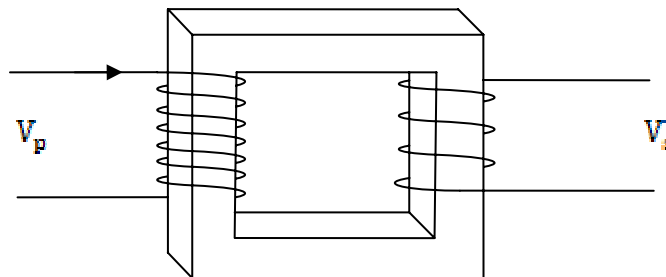
Hata sınıfı	Nominal primer akıma göre akım hatası %	Nominal primer akımın faz kayması		Primer akımın bileşke hatası %
		Dakika	Santiradyan	
5PR	± 1	± 60	± 1.8	5
10PR	± 3	—	—	10

2.2.2 Gerilim trafoları

Gerilim trafoları da akım trafoları gibi yüksek gerilim ve akım bulunan primer kısımla sekonder kısmı birbirinden ayırarak; gerilimin ölçülmesini sağlayan teçhizatlardır. Gerilim trafoları gerilimi etiket değerlerine göre belli bir oranda düşürerek gerilimin ölçülmesini sağlar. Kullanım mekanlarına göre dahili ve harici olarak iki tiptir. Dahili tip gerilim trafoları daha çok orta ve alçak gerilimlerde kullanılır. Epoksi izolelidirler. Harici tip gerilim trafoları açık şaltlarda yüksek gerilimde kullanılırlar. Sargıların bulunduğu bir tank ve yüksek gerilim porselen izolatörden oluşurlar. Türkiye’de çok yaygın olmamakla birlikte kompozit izolatörler de kullanılır. Gerilim trafoları bunların dışında elektriksel yapılarına göre iki tiptir: endüktif gerilim trafoları ve kapasitif gerilim trafoları.

2.2.2.1 Endüktif gerilim trafoları

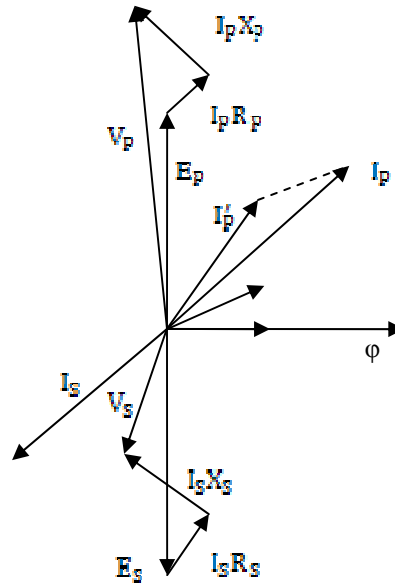
Sadece manyetik bir devre ile gerilimi düşüren gerilim trafosudur (Şekil 2.11). Genellikle orta gerilim ve alçak gerilimde kullanılırlar[11].



Şekil 2.11 Endüktif gerilim trafosu



Şekil 2.12 Epoksi izoleli 36 kV dahili gerilim trafosu



Şekil 2.13 Endüktif gerilim trafosu fazör diyagramı

Endüktif gerilim trafoları da akım trafolarındaki gibi ölçüm için korumaya göre daha hassas sonuçlar verecek şekilde üretilirler. Gerilim trafolarının hatası denklem 2.8 deki gibi hesaplanır[13].

$$\% \text{ gerilim hatası} = \frac{(K_n V_s - V_p) \times 100}{V_p} \quad (2.8)$$

: Nominal çevirme oranı

- : Sekonder gerilim
- : Primer akım

Ölçüm gerilim trafolarının hata sınıfları 0,1-0,2-0,5-1,0-3,0.(IEC 60044-2)

Tablo 2.6 Ölçüm Endüktif gerilim trafolarının hata sınırları

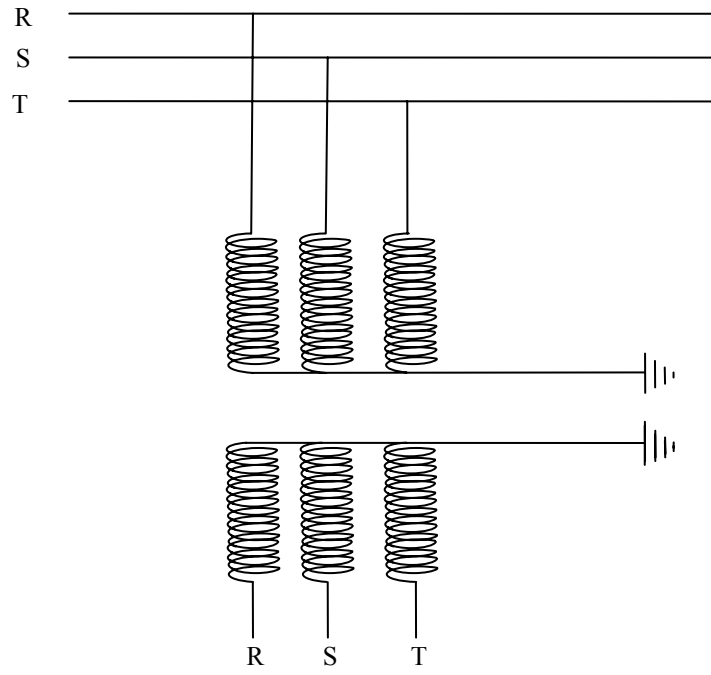
Sınıf	Yüzde olarak oran hatası \pm	Faz kayması \pm	
		Dakika	Santiradyan
0,1	0,1	5	0,15
0,2	0,2	10	0,3
0,5	0,5	20	0,6
1,0	1,0	40	1,2
3,0	3,0	Belirlenmemiştir	Belirlenmemiştir

Koruma gerilim trafosu sınıfları ise 3P ve 6P'dir. (IEC 60044-2)

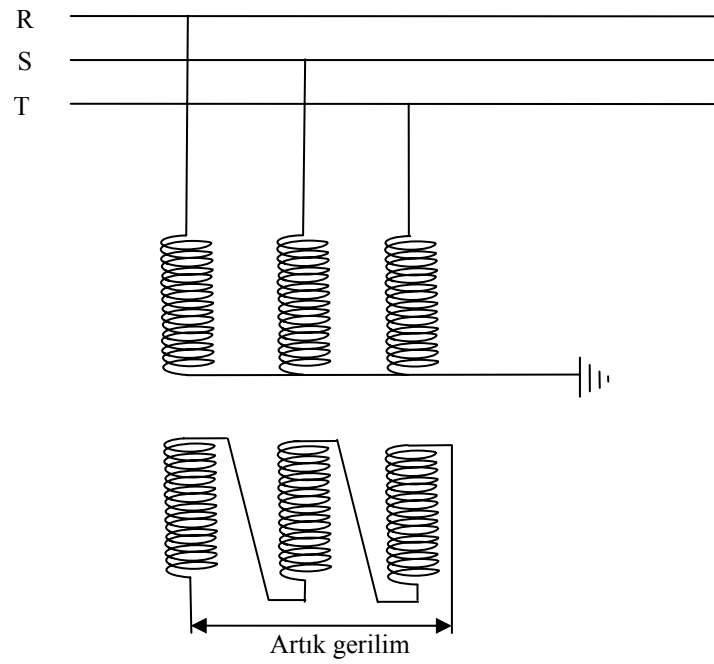
Tablo 2.7 Koruma endüktif gerilim trafolarının hata sınırları

Sınıf	Yüzde olarak oran hatası \pm	Faz kayması \pm	
		Dakika	Santiradyan
3P	3,0	120	3,5
6P	6,0	240	7,0

Bazı durumlar için endüktif gerilim trafoları faz-faz bağlantıları kullanılmakla birlikte genellikle yıldız – yıldız bağlantı kullanılır (Şekil 2.14). Gerilim trafolarında faz toprak arızalarının anlaşılması için açık üçgen sargıları bulunur (Şekil 2.15). Bu sargılar primer yıldız bağlı iken faz-faz gerilimini verecek şekilde sarılır fakat kullanılırken açık üçgen olarak kullanılır. Normal çalışma durumunda üç fazın toplam gerilimi, sıfırdır. Faz-toprak arızası anında nötr noktasının kayması açık üçgen bağlantıda bir gerilim endüklenmesine sebep olur. Bu yolla faz toprak arızası tespit edilir[11].



Şekil 2.14 Yıldız bağlantı



Şekil 2.15 Açık üçgen bağlantı

$$\frac{36}{\sqrt{3}} \text{ kV} / \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V} / \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V} / \frac{100}{1} \text{ V} \quad (2.9)$$

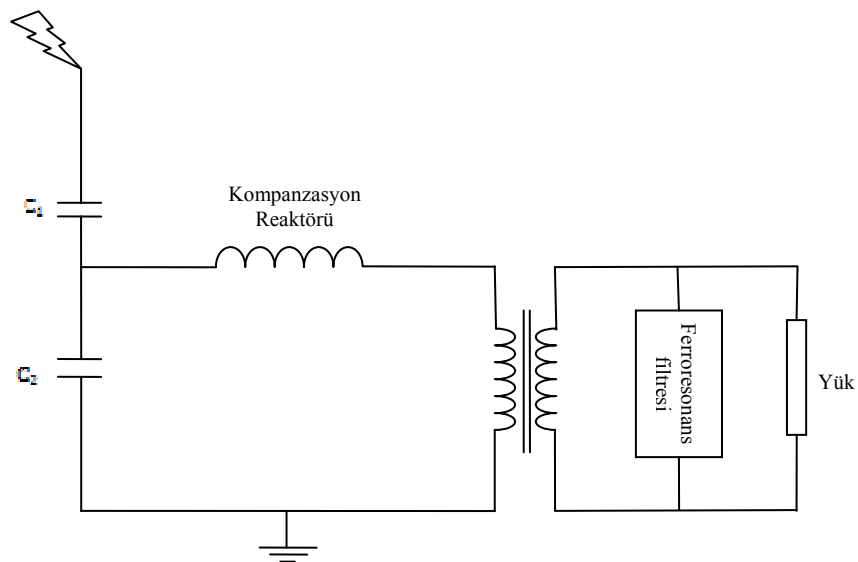
Yukarıdaki ifade primer gerilimi 36 kV sekonder gerilimi 100V olan primeri faz toprak bağı sekonderi ise ikisi ölçü veya koruma son olarak da biri açık uçgen sargılı üç sekonderli bir gerilim trafosunu ifade etmektedir.

2.2.2.2 Kapasitif gerilim trafoları

Enerji İletim sisteminde gerilimin ölçülmesi için genellikle kapasitif gerilim trafoları (KGT) kullanılır. Kapasitif gerilim bölücü kullanılarak gerilim orta gerilim seviyesine indirilir (Şekil2.16). Kullanılan kondansatörler faz kaymasına sebep olur. Faz kaymasını engellemek için bir kompanzasyon reaktörü kullanılır[14]. Denklem2.9'daki ifade ile reaktörün değeri hesaplanabilir.

$$L_K = \frac{1}{\omega^2(C_1 + C_2)} \quad (2.10)$$

Bundan sonrası endüktif gerilim trafolarında olduğu gibidir. Manyetik bir devre ile gerilim düşürülür.



Şekil 2.16 Kapasitif Gerilim trafosunun prensip şeması

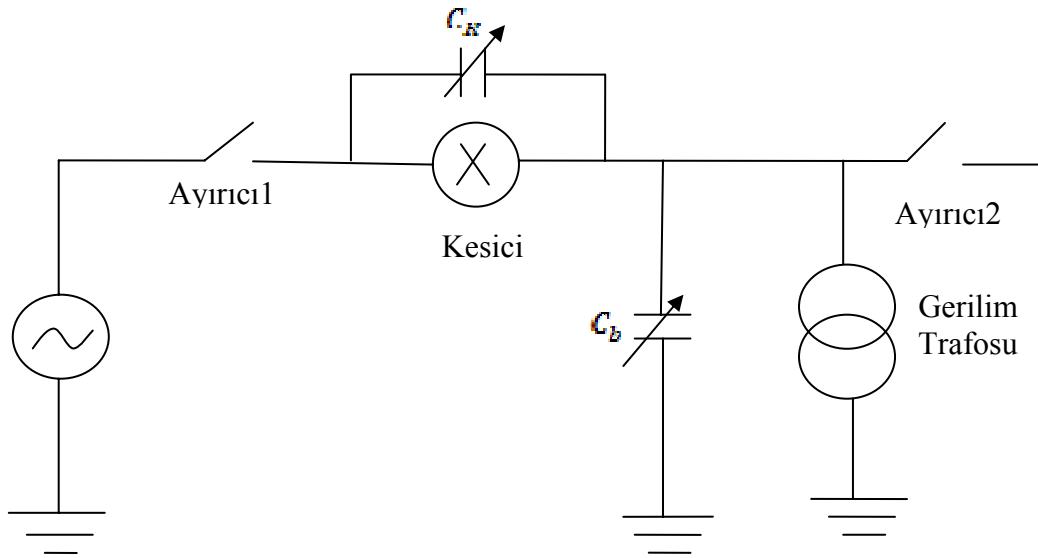
Gerilim trafolarında açma kapama olayları sırasında nüve ile trafoya bağlı kapasitif etkili bölümler (kablolar gibi) beklenmedik biçimde seri rezonansa girebilmektedir. Bu olay ferresonans olayı olarak isimlendirilir[6]. Bu aşırı gerilimleri engellemek için ferresonans filtreleri kullanılır.



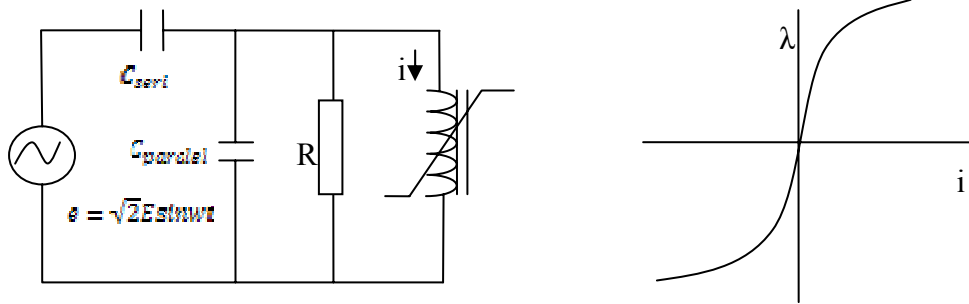
Şekil 2.17 380kV kapasitif gerilim trafosu

Ferrorezonans olayı

Ferrorezonans olayı sistemde demir nüveli elemanlarla onlara bağlı kapasitif elemanların rezonansa girmesi sonucu oluşmaktadır. Sisteme yeni alınan demir nüveli elemanda aşırı gerilim ve akım oluşmasıyla anlaşılır. Üç çeşit ferrorezonans olayı ile karşılaşılmaktadır. Temel frekans ferrorezonansı, subharmonik ferrorezonans ve kaotik ferrorezonans[5].



Şekil 2.18 Bir gerilim trafosunun kesici üzerinden sisteme bağlanması



Şekil 2.19 a) Eşdeğer devre, b) Akım ve kaçak akı ilişkisi

Transformatörün manyetik eğrisi yedinci dereceden bir denklemle ifade edilir[5].

$$i = a\lambda + b\lambda^7$$

Her trafo için ayrı değerler olan a ve b ,a=3.42 ve b=0.41 alınması durumunda; i ve λ bu cinsinden olmak üzere Şekil 2.19'daki devre aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{1}{\omega} \frac{dV}{dt} + \frac{1}{R\omega(C_{\text{seri}} + C_{\text{paralel}})} + \frac{1}{\omega(C_{\text{seri}} + C_{\text{paralel}})} (a\lambda + b\lambda^7)$$

0

(2.12)

$$\frac{d\lambda}{dt} = V \quad \frac{d\theta}{dt} = \omega \quad (2.13)$$

Denklem 2.9 şu şekilde de ifade edilebilir.

$$g = \sqrt{2} E \frac{C_{\text{seri}}}{C_{\text{seri}} + C_{\text{paralel}}}$$

$$q = R\omega(C_{\text{seri}} + C_{\text{paralel}}) \quad (2.15)$$

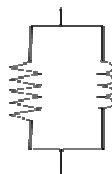
$$\frac{1}{\omega} \frac{dV}{dt} + \frac{1}{q} V + \frac{1}{\omega(C_{\text{seri}} + C_{\text{paralel}})} (a\lambda + b\lambda^7)$$

$$= g \cdot \cos\theta \quad (2.16)$$

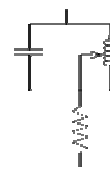
50 Hz temel frekansında $R=225\Omega$, $E=1\mu$, ve seçildiğinde $q=123.7$ ve $g=0.4$ hesaplanır[5]. Bu değerler sistemi temel frekansta ferrezonansa götürür.

Yine aynı sistem için seçilmesi durumunda sistem temel frekansın katlarında da rezonansa gider.

Sistemde ve $R=1900\Omega$ olması durumunda ise kaotik ferrezonans olayı oluşur. Kaotik ferrezonans olayı rastgele oluşur ne zaman oluşacağı kestirilemez. Kapasitif gerilim trafolarında ölçüm ve koruma cihazlarının ferrezonans olayından zarar görmemesi için ferrezonans filtreleri kullanılmaktadır. Bu filtreler aktif ve pasif olmak üzere iki tiptir (Şekil 2.20).



a)



b)

Şekil2.20 a) Pasif ferrezonans devresi. b) Aktif ferrezonans devresi

İletim sisteminde her iki tipte ferrorezonans filtresi bulunan gerilim trafoları kullanılmaktadır.

Gerilim trafolarının ferrorezonans kaynaklanan hatalarının belirlenmesi için ani hata kavramı geliştirilmiştir[15].

$$\hat{\epsilon}_F = \frac{\frac{\hat{U}_s(T_F) - \frac{\sqrt{2}U_F}{K_R}}{\frac{\sqrt{2}U_F}{K_R}}}{\frac{\sqrt{2}U_F}{K_R}} = \frac{K_R \hat{U}_s(T_F) - \sqrt{2}U_F}{\sqrt{2}U_F} \quad (2.17)$$

- : Maksimum ani hata
- : Sekonder gerilimin tepe değeri
- : Primer gerilimin etkin değeri
- : Primer gerilimin nominal etkin değeri
- : Çevirme oranı
- : Ferrorezonans süresi

Tablo 2.8 Etkin topraklı bir sistemde ferrorezonans sınırları.(IEC 60044-5)

Primer Gerilim (Etkin)	Ferrorezonans geçiş süresi (s)	Ferrorezonans sonrası % hata
0,8.	≤0,5	≤10
1,0.	≤0,5	≤10
1,2.	≤0,5	≤10
1,5.	≤2	≤10

Tablo 2.9 Etkin topraklı olmayan veya izole sistemler için ferrorezonans sınırları (IEC 60044-5)

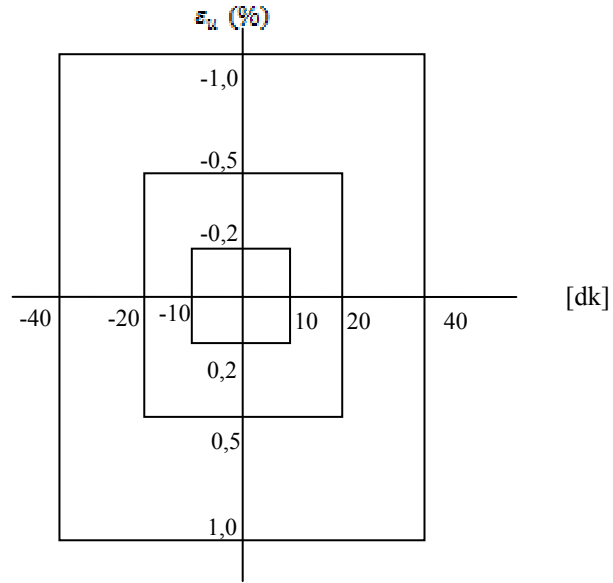
Primer Gerilim (Etkin)	Ferrorezonans geçiş süresi (s)	Ferrorezonans sonrası % hata
0,8.	≤0,5	≤10
1,0.	≤0,5	≤10
1,2.	≤0,5	≤10
1,9.	≤2	≤10

Ölçüm için kullanılan kapasitif gerilim trafolarının standart hata sınıfları 0,2-0,5-1,0-

3,0 olarak belirlenmiştir.

Tablo2.10 Ölçme gerilim trafoları için gerilim ve faz kayma sınırları (IEC 60044-5)

Hata sınıfı	Gerilimin yüzde olarak oran hatası	Faz kayması	
		Dakika	Santiradyan
0,2	0,2	10	0,3
0,5	0,5	20	0,6
1,0	1,0	40	1,2
3,0	3,0	Belirlenmemiştir	Belirlenmemiştir



Şekil2.21 0,1-0,5-1,0 sınıfları için hata diyagramı (IEC 60044-5)

Koruma gerilim trafolarında ise sınıflar 3P ve 6P olarak belirlenmiştir.

Tablo 2.11 Koruma gerilim trafolarının hata sınırları (IEC 60044-5)

	Nominal gerilimin yüzdesine göre yüzde olarak oran hatası				Nominal gerilimin yüzdesine göre faz kayması								
					Dakika				Santiradyan				
Nominal akımın yüzdesi	2	5	100	X	2	5	100	X	2	5	100	X	
Koruma sınıfı													
3P	6,0	3,0	3,0	3,0	240	120	120	120	7,0	3,5	3,5	3,5	
6P	12,0	6,0	6,0	6,0	480	240	240	240	14,0	7,0	7,0	7,0	

Not: X= x100 (nominal gerilim faktörünün 100 katı)

IEC geçici rejim durumundaki cevaba göre de koruma gerilim trafolarını sınıflandırmıştır. Buna göre T1, T2, T3 sınıfı koruma gerilim trafosu sınıfları mevcuttur. süresince primerde oluşan kısa devre sırasında oluşan sekonder gerilimin nominal gerilimin tepe değerine yüzde olarak oranı geçici rejim cevap oranı olarak belirlenmiştir(Tablo2.12).

Tablo 2.12 Geçici durumlarda cevap oranlarının sınır değerleri (IEC 60044-5)

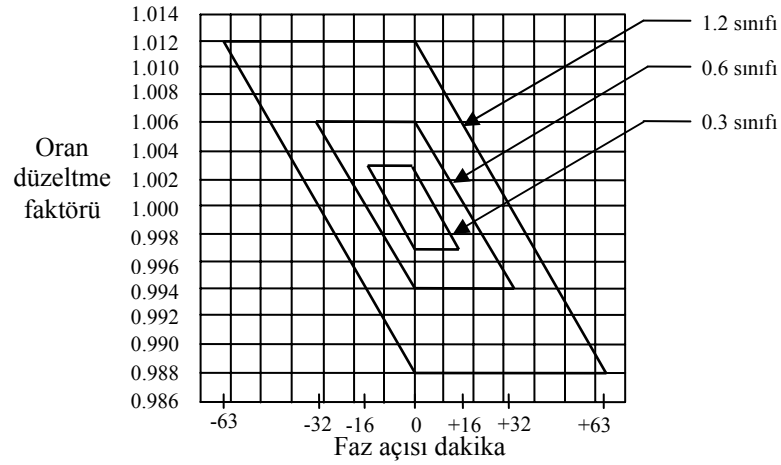
Zaman s	Oran $\frac{ U_2(t) }{\sqrt{2}U_3} \cdot 100$		
	Sınıflar		
	3PT1 6PT1	3PT2 6PT2	3PT3 6PT3
$10 \cdot 10^{-3}$	-	≤ 25	≤ 4
$20 \cdot 10^{-3}$	≤ 10	≤ 10	≤ 2
$40 \cdot 10^{-3}$	< 10	≤ 2	≤ 2
$60 \cdot 10^{-3}$	< 10	≤ 0.6	≤ 2
$90 \cdot 10^{-3}$	< 10	$\leq 0,2$	≤ 2

ANSI standartlarına göre koruma kapasitif gerilim trafoları 1.2R(relaying) sınıfı ve ölçüm kapasitif gerilim trafolar için 0,3-0,6-1,2 sınıfları belirlenmiştir. (ANSİ/NEMA C93.1-1999) Bu standartlar belirlenirken IEC'den farklı olarak oran düzeltme faktörü tanımlanmaktadır(Denklem 2.18) (Tablo2.13).

$$\text{oran düzeltme faktörü} = \frac{\text{ölçülen çevirme oranı}}{\text{nominal çevirme oranı}} \quad (2.18)$$

Tablo 2.13 Amerikan standartlarına göre koruma gerilim trafolarının hata sınırları (ANSİ/NEMA C93.1-1999)

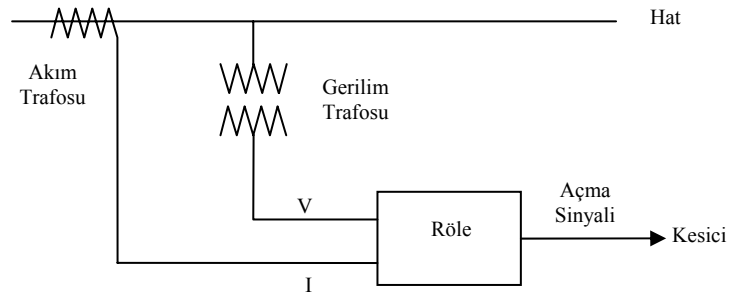
Hata sınıfı	Oran düzeltme faktörü sınır değerleri		Faz açısı sınırları
	En küçük	En büyük	
1.2R	0.998	1.012	dakika miliradyan



Şekil 2.22 0.3-06-1.2 sınıfları düzeltme faktörü diyagramı (ANSİ/NEMA C93.1-1999)

2.3. Röleler

Röleler; sistemde normal olmayan durumları akım ve gerilim trafolarından alınan sinyalleri takip ederek tespit eden ve bu gibi durumların sistem elemanlarına zarar vermesini önlemek amacıyla enerjinin kesilmesi için sinyal üreten cihazlardır (Şekil 2.23).



Şekil 2.23 Röle prensip şeması

2.3.1. Yapılarına göre röleler

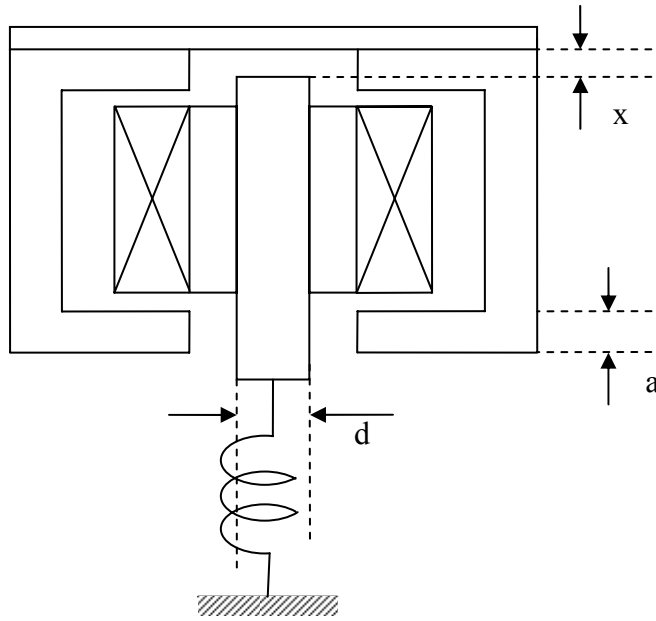
Röleler yapılarına göre iki tiptir: elektromekanik ve statik röleler.

2.3.1.1 Elektromekanik röleler

Elektriksel ve mekanik bileşenler içermesi nedeniyle bu adı almışlardır. Elektromekanik röleler yarı iletken uygulamalar gelişene kadar sistem korumasında

yoğun olarak kullanılmışlardır. Bu tip röleler yapılarına iki çeşittirler: çekmeli röleler ve indüksiyon röleleri.[11,14]

Çekmeli rölelerde bir nüvenin etrafına sarılı bir bobin bulunur. Nüve Şekil2.24 de görüldüğü gibi bir yayla sabitlenmiştir. Bobin enerjilendirildiğinde İçteki nüve yayı gererek içeriye doğru hareket eder. Bu hareket sırasında bir kontağı açar veya kapatır. Bu yolla kesiciye açma sinyali gönderilir.



Şekil 2.24 Çekmeli röle [14]

Hareketli nüve etrafına içeriye doru hareketi esnasında bağlı olduğu yayda enerji depolar (Şekil 2.24)(Denklem2.19).

$$W(\lambda, i) = W'(i, x) = \frac{1}{2} Li^2 \quad (2.19)$$

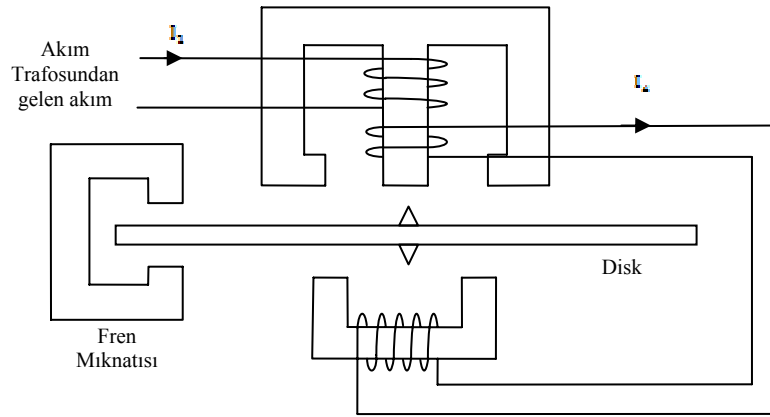
$$L = \frac{\mu_0 \pi d^2 N^2}{4(x + gd/4a)} \quad (2.20)$$

$$F = \frac{\partial}{\partial x} W'(i, x) = K \frac{i^2}{\left(x + \frac{gd}{4a}\right)^2} \quad (2.21)$$

$$I_p = \sqrt{F/K} \times (x_0 + gd/4a)$$

Yukarıdaki denklemler yardımıyla çekme hareketini sağlayan akım değeri tespit edilmiş olur[14].

İndüksiyon röleleri ise tek fazlı indüksiyon motorlarına benzer şekilde çalışır. Disk veya bardak şeklindeki dönen kısma gelen akım bir tork uygular (Şekil 2.25). Bu torkun oluşabilmesi için ise iki farklı fazda manyetik akının dönen kısımlar üzerinden geçmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için ölçü trafosundan alınan akım bobinden farklı bir açıya sahip paralel bir empedans üzerinden geçirilir. Bu da akımlar arasında faz farkı oluşturur. Oluşan faz farkı dönen kısma tork uygular ve dönmesini sağlar. Normal çalışma durumunda fren mıknatısının ters yönde uyguladığı tork nedeniyle hareket etmeyen disk arıza akımlarında hareket ederek mile bağlı olan kontağı kapatır [14].



Şekil 2.25 Elektromekanik bir rölenin prensip şeması [11]

$$i_1(t) = I_{m1} \cos(\omega t) \quad (2.23)$$

$$i_2(t) = I_{m2} \cos(\omega t + \theta) \quad (2.24)$$

$$\lambda_1(t) = I_{m1} \cos(\omega t) \quad (2.25)$$

$$\lambda_2(t) = L_m I_{m2} \cos(\omega t + \theta) \quad (2.26)$$

$$i_{r1}(t) = \frac{1}{R_r} \frac{d\lambda_1}{dt} = -\frac{\omega L_m I_{m1}}{R_r} \sin \omega t \quad (2.27)$$

$$i_{r2}(t) = \frac{1}{R_r} \frac{d\lambda_2}{dt} = -\frac{\omega L_m I_{m2}}{R_r} \sin(\omega t + \theta) \quad (2.28)$$

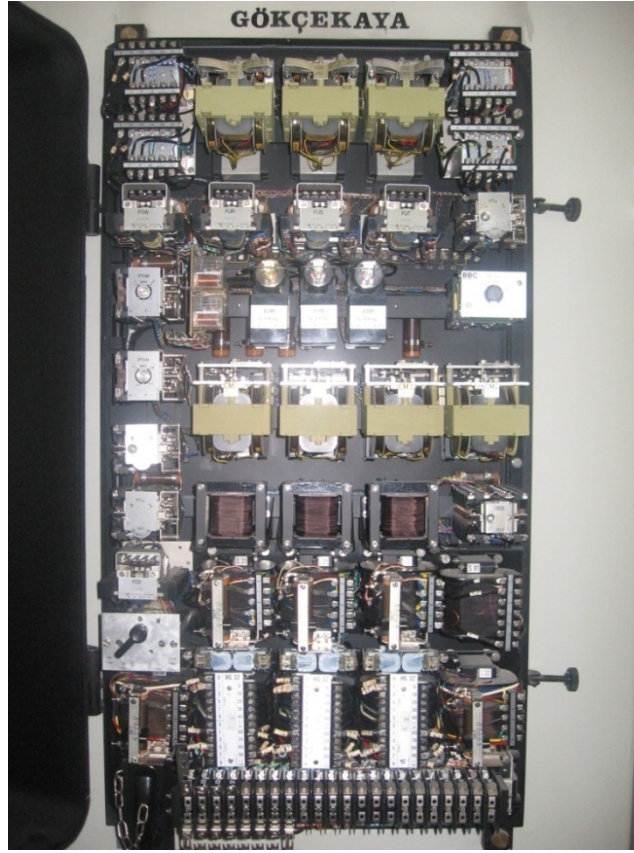
$$\tau = KI_{m1}I_{m2} [\cos \omega t \sin(\omega t + \theta) - \cos(\omega t + \theta) \sin \omega t] \quad (2.29)$$

$$\tau = KI_{m1}I_{m2} \sin \theta$$



Şekil 2.26 OMRON markalı elektromekanik bir aşırı akım rölesi

Elektromekanik röleler iletim sistem korumasında ana ünite olarak (mesafe koruma diferansiyel koruma) kullanımı azalmıştır. Fakat farklı uygulamalarda (örn. yardımcı röle olarak) kullanılmaktadır.



Şekil 2.27 Mekanik bir mesafe koruma rölesi

2.3.1.2 Statik röleler

Mekanik bölümler içermeyen sadece elektronik devreler içeren rölelerdir (Şekil 2.28). Elektromekanik rölelere göre daha az yer kaplamaları, hafif olmaları gibi sebeplerle elektromekanik rölelerin yerini almışlardır. Statik röleler analog ve dijital olmak üzere iki çeşittir. İlk kullanıldıkları dönemde elektronik bileşenlerin yeterince güvenilir olmaması nedeniyle kabul görmemiştir. Buna karşın mikroişlemci teknolojisinin gelişmesiyle statik rölelerde yeni bir dönem başlamıştır. İletim sisteminde eski analog statik ve elektromekanik rölelerin koruma görevini hızla dijital röleler almaktadır.

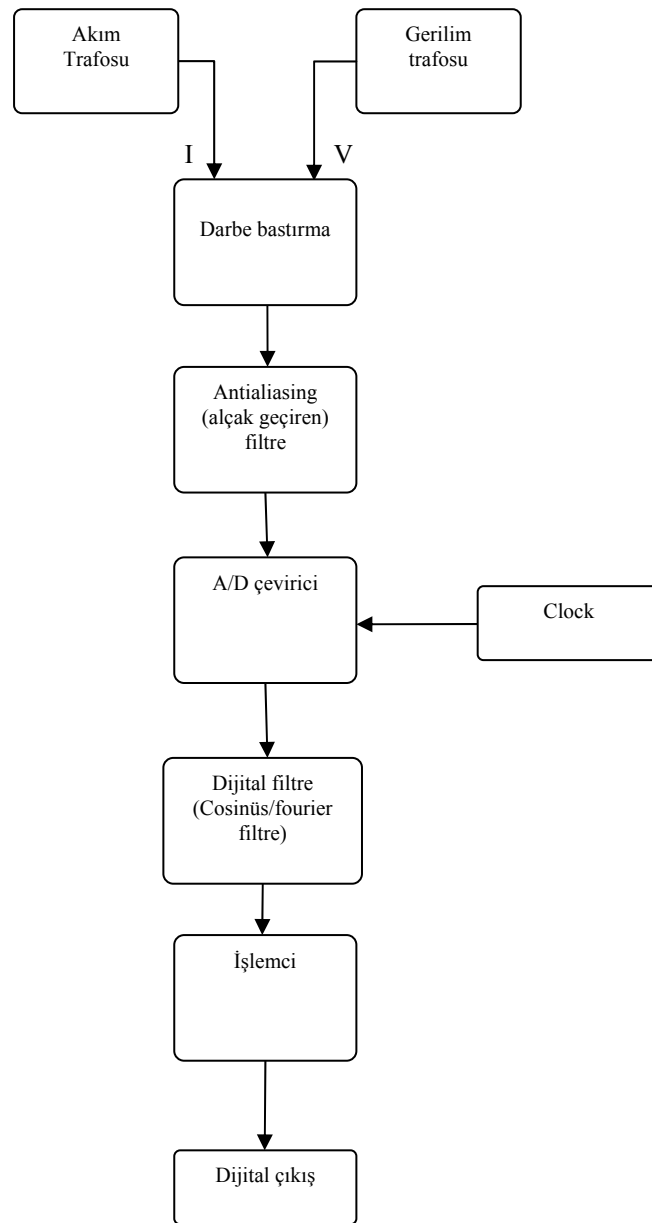


Şekil 2.28 Analog statik bir mesafe koruma rölesi

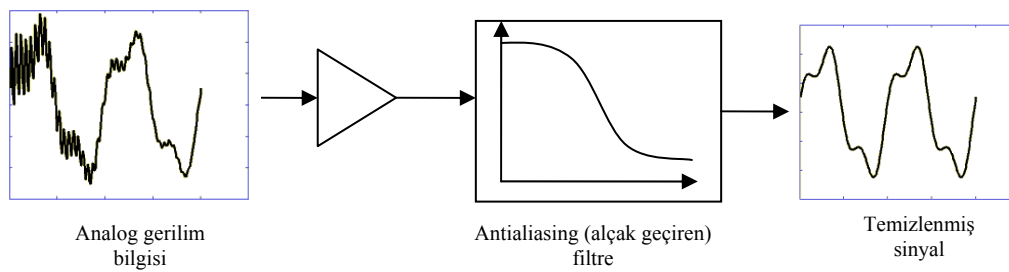


Şekil 2.29 Analog statik bir aşırı akım rölesi

Dijital röleler mikroişlemci temelli elektronik cihazlardır. Akım ve gerilim trafosundan alınan analog bilgiler yüksek gerilimlere ve akımlara karşı koruyan bir filtreden geçirilir bunun ardından antialiasing filtreden geçirilir. Bu filtre analog sinyaldeki yüksek frekansları filtre ederek daha düzgün bir dalga şekli elde edilmesini sağlar (Şekil 2.30).

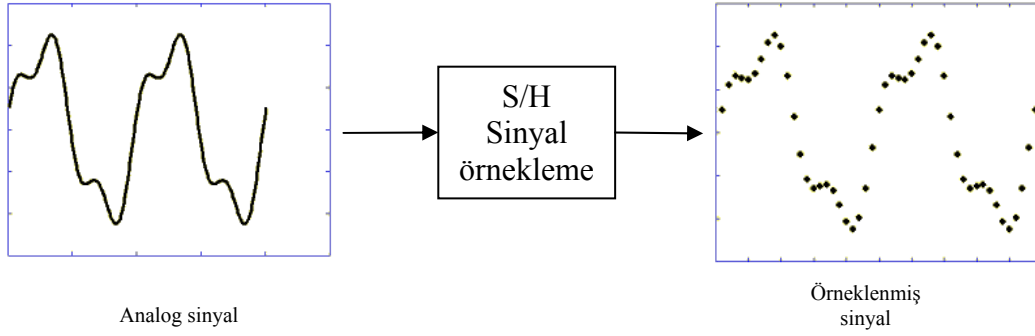


Şekil 2.30 Dijital bir rölenin çalışması

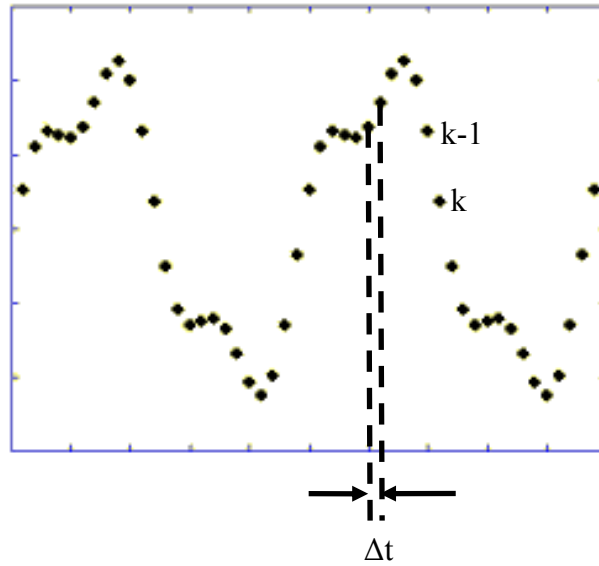


Şekil 2.31 Antialiasing filitleyle analog sinyalin temizlenmesi

Anitialiasing filtrenin ardından analog sinyal analog/dijital çeviriciye gelir. Üretici ve teknolojiye göre örnekleme sayısı değişmekle birlikte bir periyotta genellikle 4 ila 64 örnekleme alınarak dijitale çevrilir (Şekil 2.31).



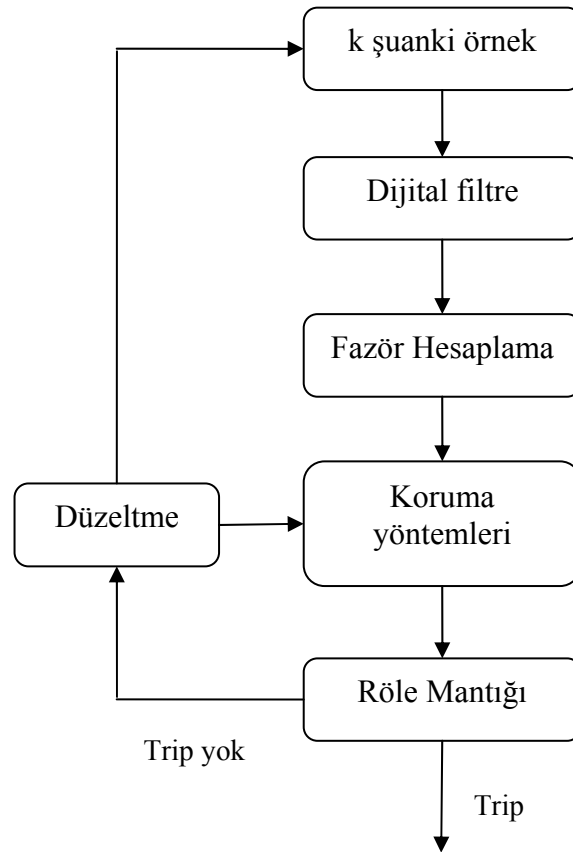
Şekil 2.32 Analog bir sinyalden 32 örnekleme alınarak tekrar oluşturulması



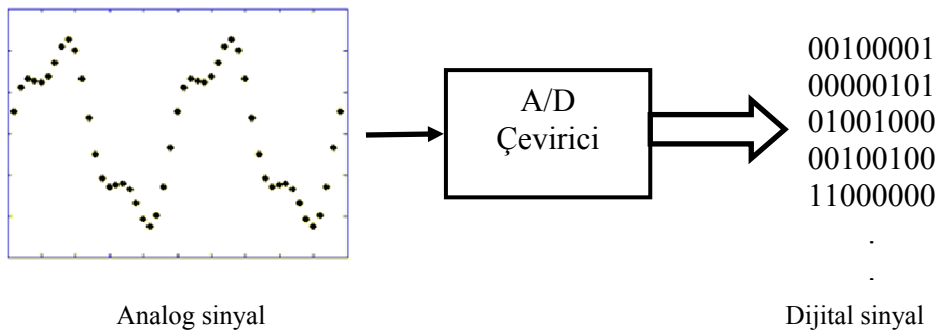
Şekil 2.33 analog bir sinyalden örnekleme alınması

Örnekleme frekansı denklem 2.25’de gösterilmiştir.

$$f_s = \frac{1}{\Delta t} \quad (2.31)$$

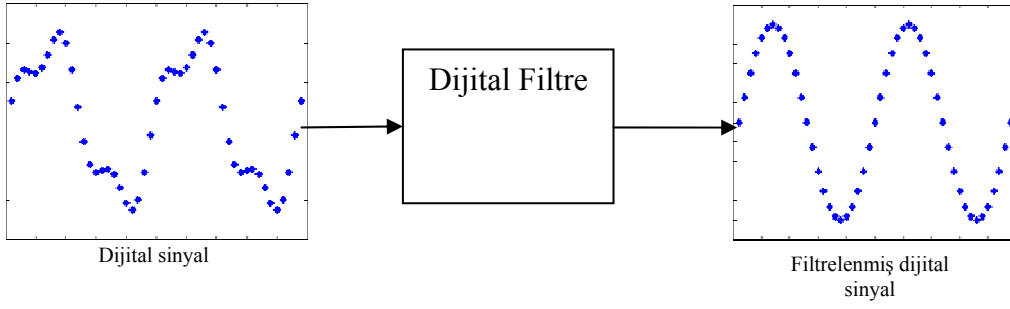


Şekil 2.34 Dijital Röle algoritması



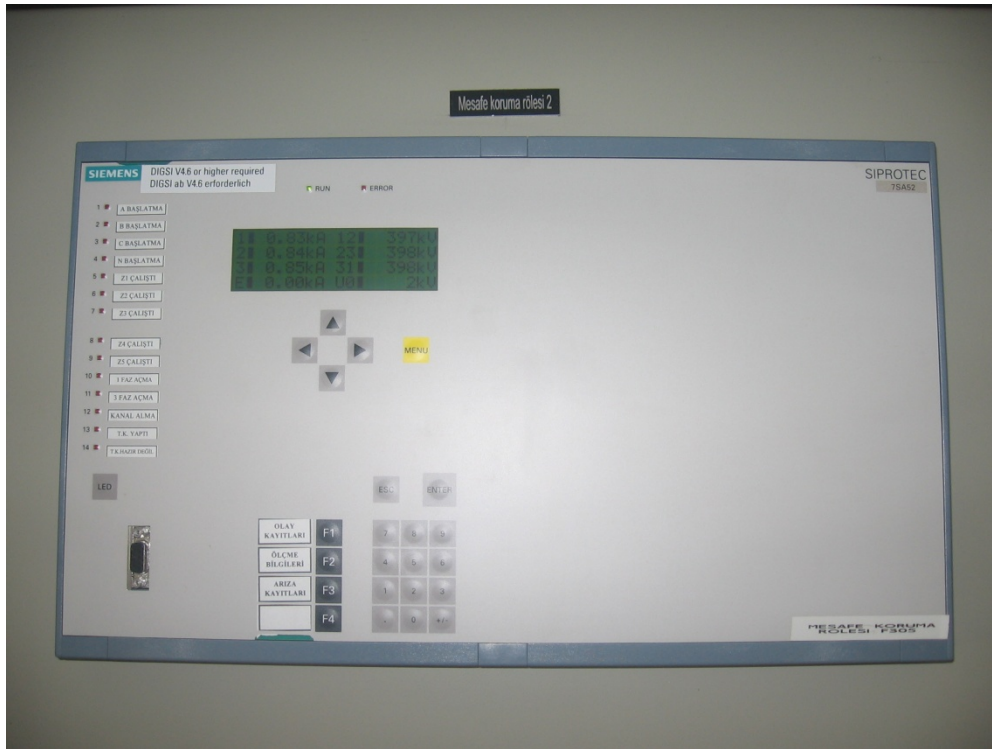
Şekil 2.35 Analog sinyalin dijitalleştirilmesi

Alınan örneklemler analog dijital çevirici ile dijital bilgiye dönüştürülür (Şekil 2.34). Elde edilen bu dijital sinyal harmoniklerden ve DC bileşenden ayrılması için dijital filtrelemeye tabi tutulur (Şekil 2.35). Üretici firmalara göre değişiklik gösteren dijital filtrelemede CAL filtresi, IRR filtresi, Kalman filtresi, cosinüs filtresi(SEL) veya fourier filtresi(GE) kullanılır.



Şekil 2.36 Dijital filtreleme

Dijital filtrelemenin ardından röle dijital sinyalin fazör değerlerini hesaplar. Rölenin yapısına göre hesaplanan değerler (örneğin mesafe koruma rölesi için empedans hesaplanması) röle karakteristiğine göre değerlendirilir. Gerekliyse açma sinyali üretilir.

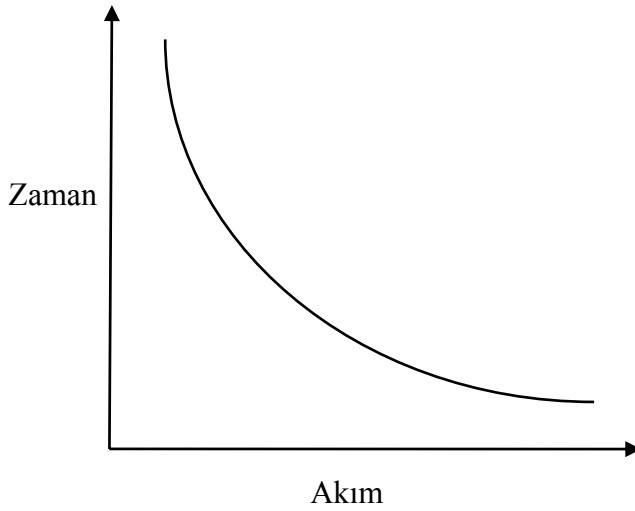


Şekil 2.37 Dijital bir mesafe koruma rölesi (Siemens)

2.3.2. Kullanım amaçlarına göre röleler

2.3.2.1. Aşırı akım rölesi

Sistemde çeşitli sebeplerle oluşan aşırı akımlara karşı enerji sistemini korumak için kullanılırlar. OG sistemde hatların arızalara karşı korumasını üstlenirken YG sistemde hatların aşırı yüklenmesini önlemek için görev yapar. Bununla birlikte trafoların nötr toprak koruma röleleri, hatların toprak röleleri bir tür aşırı akım rölesidir. Yapılarına göre elektromekanik, analog statik ve dijital statik aşırı akım röleleri mevcuttur (Bkz. Bölüm 2.3.1). Aşırı akım rölelerinin ters zaman (Şekil 2.38), ani açma gibi karakteristikleri bulunur. Bu karakteristiklere göre sistem durumunu değerlendirirler. Birçok kaynaktan beslenen bir ağ sisteminde açma koordinasyonun sağlanması için sadece kendi yönündeki arızaları gören yönlü aşırı akım röleleri kullanılır.



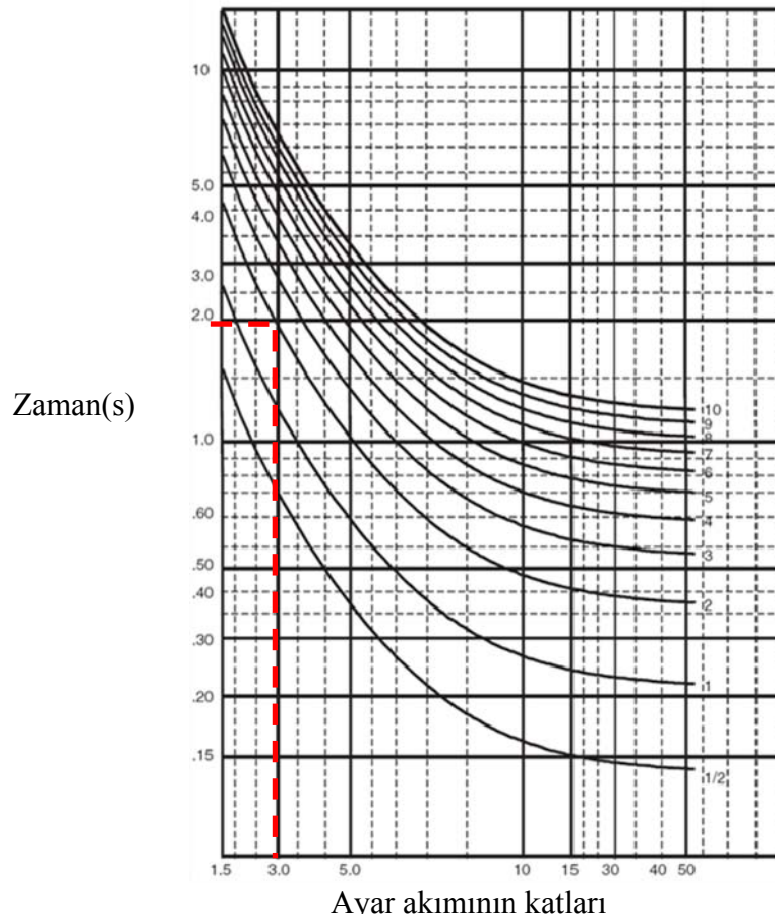
Şekil 2.38 Ters zaman karakteristiği

Ters zaman karakteristiği elektromekanik disk rölelerindeki tork uygulanarak diskin dönmesi ve bir kontağı kapatması hareketinden ortaya çıkmıştır. Daha sonra bu karakteristik dijital rölelere uygulanmıştır. [11] Bu karakteristikte Şekil2.38'den de anlaşılacağı üzere akım ne kadar yüksekse açma süresi de o kadar kısa olur.

$$K_1 I^2 = m \frac{d^2\theta}{dt^2} + K_d \frac{d\theta}{dt} + \frac{\tau_F - \tau_s}{\theta_{maks}} \theta + \tau_s \quad (2.32)$$

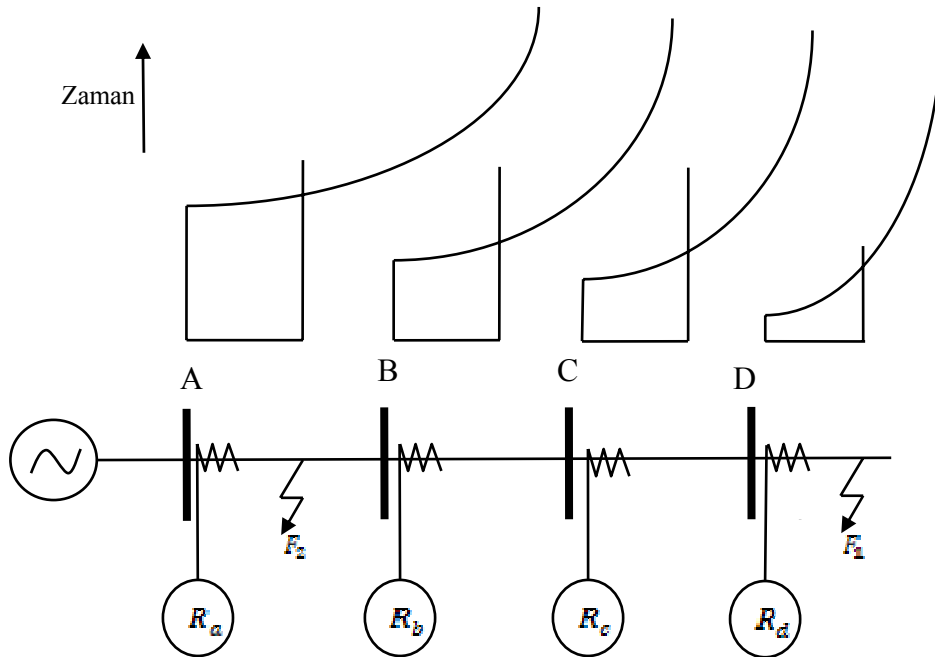
- I : giren akım
 θ : disk yolu
 : maksimum disk yolu
 : tork ve akımla ilişkili sabit
 m : diskin atalet momenti
 : maksimum yolda döndürme torku
 : başlangıç döndürme torku

Ters zaman karakteristiği denklem 2.26' daki gibi ifade edilir [17]. Standardize edilmiş bu eğrilere göre röle ayarı yapılır. Yatay eksen röleye sabit olarak girilen akım değerinin çarpanıdır. Düşey eksen ise zamanı gösterir. Röle ayarlanırken akım değeri ve şekildeki eğrilerin biri seçilir. Örneğin sekonder akım değeri olarak 3A girilmesi ve 2 nolu eğri seçilmesi durumunda, hattan 9A gibi aşırı akım geçerse Şekil 2.39'den görüleceği üzere yaklaşık 2 s' de açama sinyali üretir.



Şekil 2.39 standart ters zaman karakteristikleri

Ani karakteristikte röleye girilen akım değerinin belirli bir katında hiç beklemeden açma sinyali üretilir. Radyal bir sistemde kaynaktan uzak bir arıza meydana geldiğinde, kaynağa yaklaştıkça arıza akımı büyür. Röle koordinasyonu açısından kaynağa en uzak hattaki röleye en erken açma sağlayacak karakteristik ayarlanır. Kaynağa doğru gidildikçe daha geç açma sağlayacak ters zaman karakteristiği rölelere girilir. Bu durumda en uzak noktada oluşan arızayı sadece Şekil 2.40'daki rölesi görür ve hattının kesicisini açtırır. Diğer röleler ise akım yükselse de açma sinyali üretmezler. Fakat arıza kaynağa yakın bir noktada oluşursa rölesi kendi üzerinden akım akmayacağı için arızayı görmez. rölesi arızayı görür fakat röle koordinasyonu nedeniyle diğer rölelerden daha geç açması için ayarlandığından kendi hattındaki arızayı da daha geç temizler. Bunu önlemek için rölelerde ani açma karakteristiği de uygulanır. Buna göre röleye girilen akım değerinin belli bir katında röle hiç beklemeden açma sinyali üretir. Örneğin röleye 4A girilmiş ve ani açma değeri de 20 olarak ayarlanmışsa, röle 80A akımı gördüğünde hiç beklemeden açar. Böylece hatların aşırı yüklenmesi engellenmiş olur (Şekil 2.40).



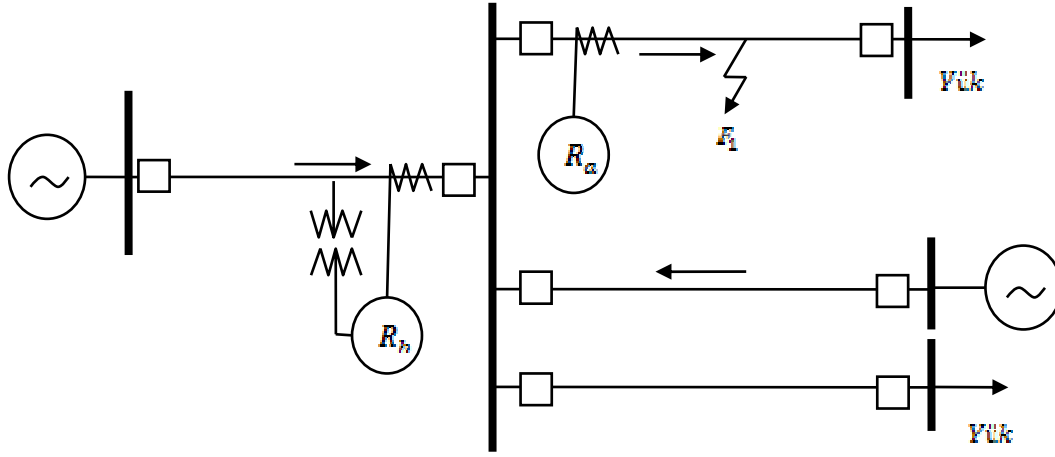
Şekil 2.40Ters zaman ve ani zaman karakteristikleri ile radyal bir sistemin korunması[14]

Aşırı akım röleleriyle koruma genellikle orta gerilim hatlarında temel koruma olarak kullanılır. 154kV iletim sisteminde aşırı yük koruması amacıyla kullanılır. 380 kV hatlarda aşırı akım rölesi kullanılmaz.

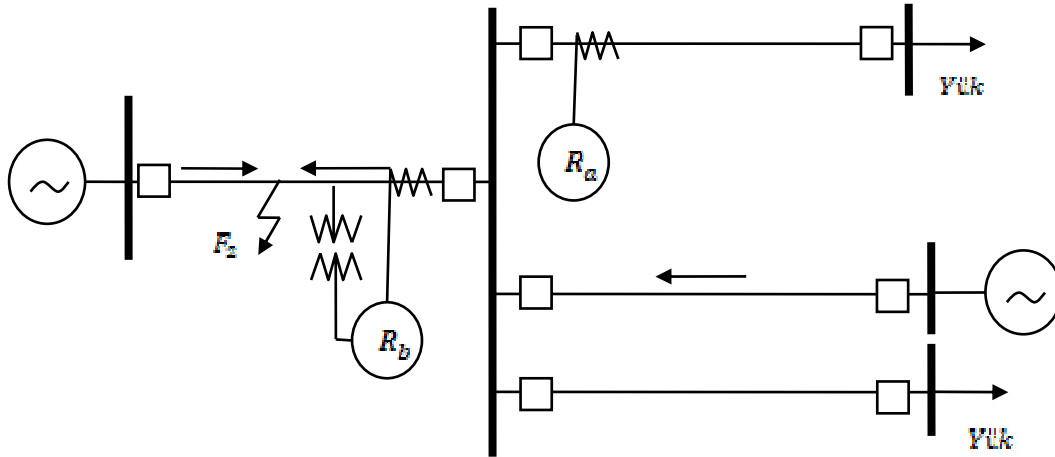
Birçok yönden beslenen sistemlerde röle koordinasyonunun sağlanması amacıyla yönlü aşırı akım röleleri kullanılır. Her faz için bir birim ve artık akım için bir birimden oluşur. Aynen yönsüz aşırı akım röleleri gibi ters zaman ve ani karakteristikleri vardır. Bunun dışında tek fark her faz bilgisinin yön birimi tarafından denetlenmesidir. Yön bilgisinin elde edilebilmesi için referansa ihtiyaç vardır. Bu referans bir gerilim bilgisi veya bir akım bilgisi ya da her ikisi birden olabilir. Faz yönlü aşırı akım röleleri faz gerilimini kullanırken, toprak yönlü aşırı akım rölesi sıfır bileşen veya negatif bileşeni kullanır. Gerilimin sıfır bileşeni ya gerilim trafosunun açık üçgen bağlantısından elde edilir veya röleye hesaplatılır. Yön biriminin çalışması için iki yol bulunmaktadır. Birincisi, yön elemanı tüm akım girişlerini kontrol eder ve yön elemanı izin vermedikçe röle çalışmaz. İkinci yöntemde ise röle işlem yapmak için serbesttir. Fakat yön elemanı izin verirse trip üretilir [18].

Şekil2.41'de gösterilen sistem TEİAŞ Trafo merkezine bağlı birçok 34.5 kV luk fiderleri göstermektedir. Bu fiderlerin bazıları yük bazıları ise üretim fiderleridir. Şekil de gösterilen arızası durumunda üretim fiderlerinden arıza noktasına doğru akım akar. Bu durumda diğer yük fiderlerinin enerjisinin kesilmemesi için sadece rölesinin açması ve üretim fiderlerine bağlı rölelerin açmaması gerekmektedir. Bu durumu sağlamak için üretim fiderlerinde yönlü aşırı akım röleleri kullanılır. Aksi halde arıza anında üretim fiderine bağlı röleler de arızayı görüp açacak ve bara tümüyle enerjisiz kalacaktı.

Şekil2.42'deki durumda ise arıza üretim fiderinde oluşmuştur. Bu durumda olması gerektiği gibi rölesi açar yük fiderleri ise arıza akımı geçmediği için arızayı görmezler.



Şekil 2.41 Yük fiderinde oluşan arıza



Şekil 2.42 Üretim fiderinde oluşan arıza

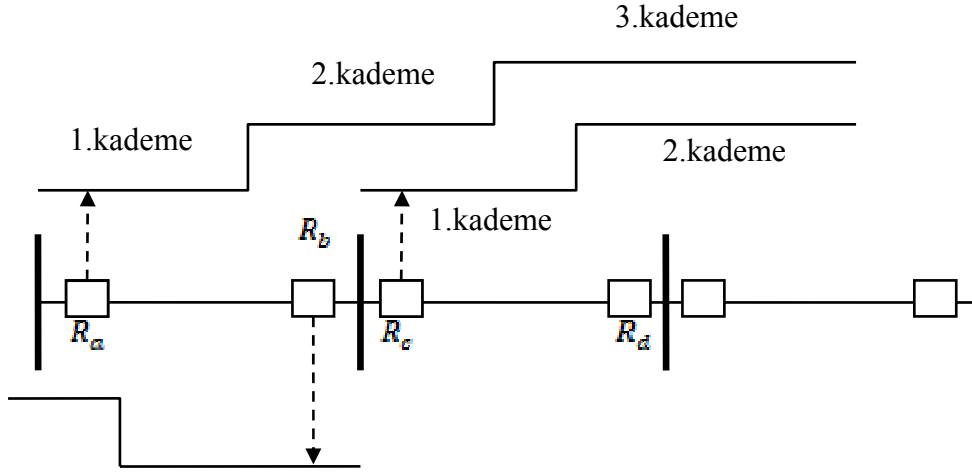
2.3.2.2. Mesafe koruma rölesi

İletim hatlarının arızalara karşı ani korunmasını mesafe koruma röleleri sağlar. Oran karşılaştırma esasınca göre çalışırlar. Bu oran gerilim ve akımın oranıdır ve empedansı verir (Denklem 2.33).

$$Z = \frac{V}{I} \quad (2.33)$$

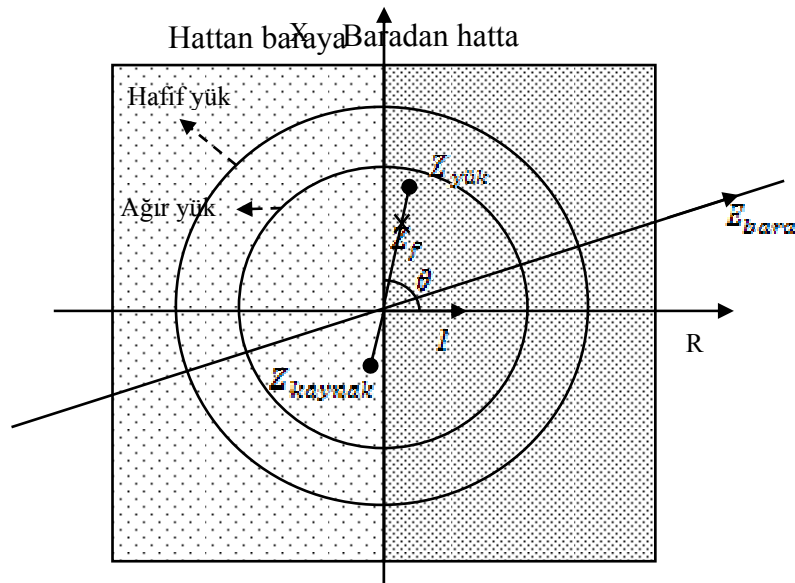
Hesaplanan empedans rölenin karakteristiğine göre değerlendirilir. Arıza tipi (faz-faz, faz-toprak) ve arıza sırasında oluşan ark direnci, geçici olaylar mesafe koruma rölesi tasarımındaki zorlukları oluşturmaktadır. Bu zorluklara bağlı olarak röleler koruması beklenmeyen uzaktaki bir hatta oluşan arızaları da görebilmektedir (aşırı

menzil). Veya aksine koruması gereken hattaki arızaları göremeyebilmektedir (düşük menzil).



Şekil 2.43 Radyal bir sistemin mesafe koruma röleleriyle korunması[18]

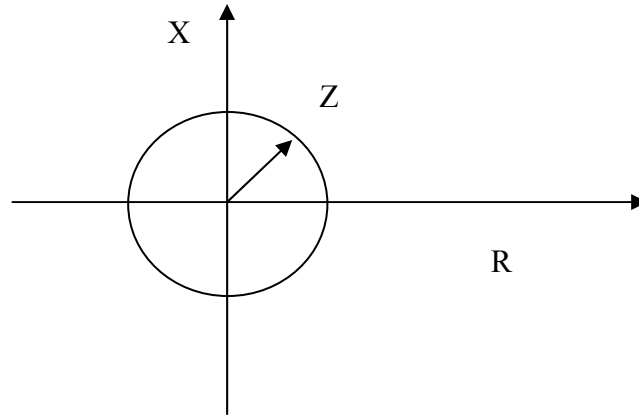
Mesafe koruma röleleri üç kademeli (bölge) koruma yaparlar. Birinci bölge koruması gereken hattın %85 ila %90 'ını kapsar. Röle bu bölgede gördüğü tüm arızalarda beklemeksizin açar. İkinci kademede korunan hattın %120 ila %150'sini kapsar. Bu bölgede oluşan arızaları röle 0.3 s bekleyerek açar. Bu sayede komşu hattın rölesinin birinci kademesinde arızayı görmesini bekler. Gereksiz olarak açmalar önlenmiş olur. Üçüncü kademede ise komşu hattın %120 ila %180 koruma bölgesine girer. 1 s bekleyerek açma verir (Şekil2.42) [14].



Şekil 2.44 X-R empedans diyagramı

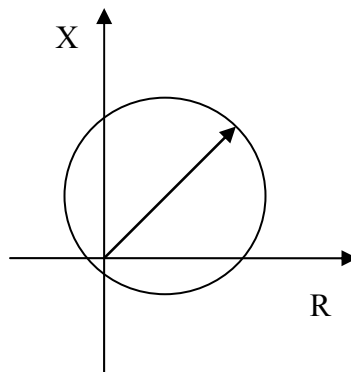
Mesafe koruma analizinin yapısı için genellikle X-R empedans diyagramı kullanılır(Şekil 2.44). Sık noktalı alanda enerji baradan yüke doğru akar. Seyrek noktalı kısımda ise hattın baraya güç iletimi olur. Bu diyagram üzerinde çeşitli karakteristikler geliştirilmiştir.

Şekil 2.45’de görünen karakteristik empedans karakteristiği olarak adlandırılır. Bu karakteristiğe göre röle tarafından ölçülen empedans röleye daha önce girilen hat empedansından küçükse hangi bölgede olduğuna bakılmaksızın açma sinyali üretilir.

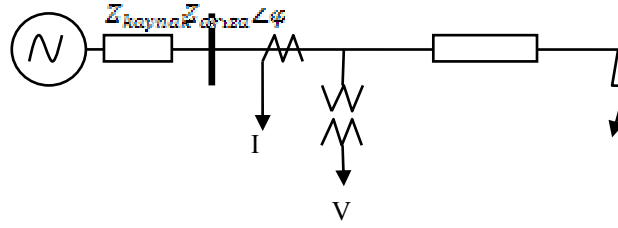


Şekil 2.45 Empedans karakteristiği

Şekil2.46’da görülen karakteristik mho karakteristiğidir.

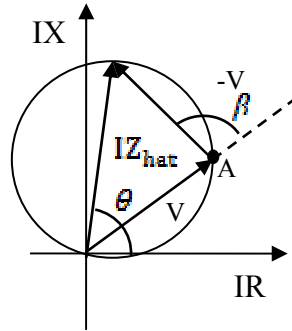


Şekil2.46 MHO karakteristiği



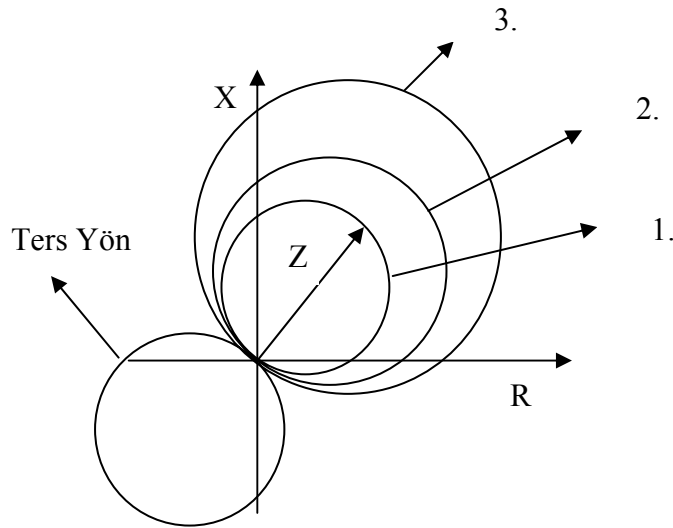
Şekil 2.47 Örnek bir sistem

Şekil 2.46'daki sistemde empedansı kadar uzakta bir arıza oluşmuştur. IZ hat empedansı ile I akımının çarpımı Mho karakteristiğindeki dairenin çapını oluşturur (Şekil 2.47). Röle arıza oluştuğunda başta röleye elle girilmiş olan empedans() ile akım trafosundan okunan I akımının çarpımı hesaplar. Sonra gerilim trafosundan okunan değeri bu değerden çıkarır (-V). Röle elde edilen bu vektör ile arıza gerilimi V'nin arasındaki açı açısını değerlendirilir. Eğer açı den büyükse şekildeki A noktası dairenin dışında kalır sinyal üretilmez. Eğer açı den küçükse A noktası dairenin içinde kalır ve sinyal üretilir[19].

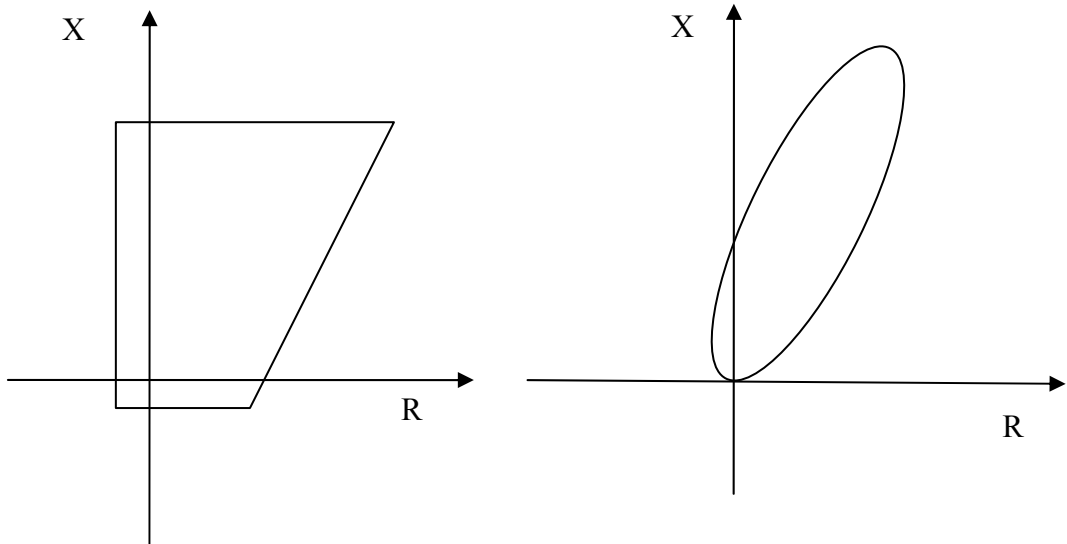


Şekil 2.48 Mho karakteristiği üzerinde arıza analizi

Şekil üç ileri yönlü kademe ve bir tane de geri yönlü kademe girilmiş mesafe koruma rölesinin karakteristiğini ifade etmektedir. Bunlarla birlikte mesafe koruma rölesinin Şekil 2.49'de görülen dörtgen , eliptik gibi karakteristikleri de bulunmaktadır.



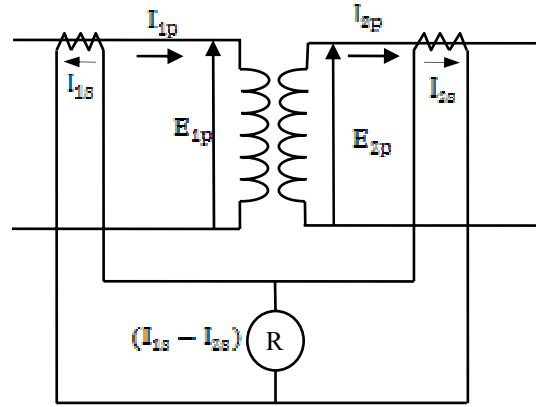
Şekil 2.49 4 kademeli bir ofset mho karakteristiği.



Şekil 2.50 dörtgen karakteristiği ve eliptik karakteristik

2.3.2.3. Diferansiyel koruma rölesi

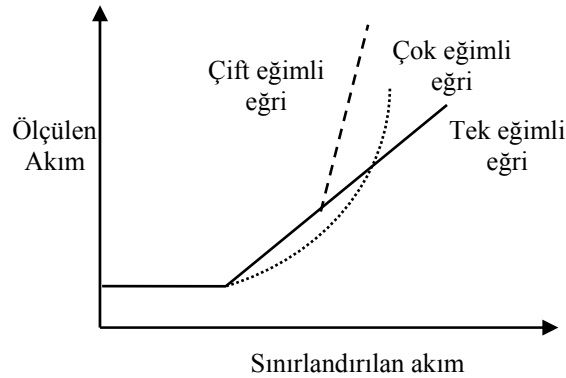
Bir cihaza giren akımlar ile çıkan akımların farkına göre işlem yaparlar. Eğer bu farkta bir değişim var ise cihazda bir sorun olduğu tespit edilir. Bu durumu tespit etmek için kullanılan rölelere diferansiyel koruma rölesi adı verilir (Şekil 2.50). İletim sisteminde güç trafolarının korunmasında kullanılırlar. Trafoların sargılarında oluşabilecek arıza durumlarını tespit ederler. Bir tür aşırı akım rölesi olarak da düşünülebilir. Hatlar için kullanılması planlanmakla birlikte trafo merkezlerindeki zayıf haberleşme şimdilik buna müsaade etmemektedir.



Şekil 2.51 Diferansiyel rölenin prensip şeması

Şekil 2.50’de görülen bağlantıda adaptör akım trafoları görünmemektedir. Mekanik diferansiyel rölelerde sekonder akımı primere indirgeyen bir akım trafosu bulur. Bu akım trafosuna adaptör akım trafosu adı verilir. Böylece röleden akan akım sıfır olarak kabul edilebilir. Dijital rölelerde ise akım trafo oranları röleye girilerek rölenin akımları hesaplaması sağlanır.

İki tip diferansiyel röle mantığı bulunmaktadır. Yüzde diferansiyel rölesi ve aşırı akım diferansiyel rölesi [20]. Aşırı akım diferansiyel röleleri sadece akım farkına göre çalışırlar. Akım trafolarının doyması, geçici olaylar sırasındaki akımının yükselmesi gibi sebeplerle tek başına kullanılmazlar. Yüzde diferansiyel rölede ise ölçülen akım farkının daha önce röleye girilen akım sınırı ile oranı değerlendirilir(Şekil2.51). Bu sayede geçici durumlara karşı daha esnek bir cevap elde edilebilmektedir.



Şekil 2.52 Yüzde Diferansiyel röle karakteristikleri

Modern diferansiyel rölelerde hem yüzde diferansiyel röle karakteristiği hem de aşırı akım diferansiyel röle karakteristikleri birlikte kullanılmaktadır.

BÖLÜM 3. GEÇİCİ OLAYLARIN KORUMAYA ETKİSİ

3.1 Giriş

Enerji İletim sisteminde karşılaşılan geçici olaylar iki sınıfa ayrılabilir. İçsel ve dışsal kaynaklı geçici olaylar. Yıldırım darbeleri, yürüyen dalgalar dış kaynaklı geçici durumlara yol açarlar. Buna karşın açma-kapama, trafoların kademe değiştirmesi gibi şebekeden kaynaklanan olaylara ise içsel geçici olaylar olarak adlandırılır. Bu gibi durumların sisteme etkisi çok kısa sürmektedir. Yıldırım darbelerin sırt yarı değer süresi 30 ila 100µs'dir[21]. Bunun gibi geçici olayların çoğu en geç iki periyot içinde sonlanır.

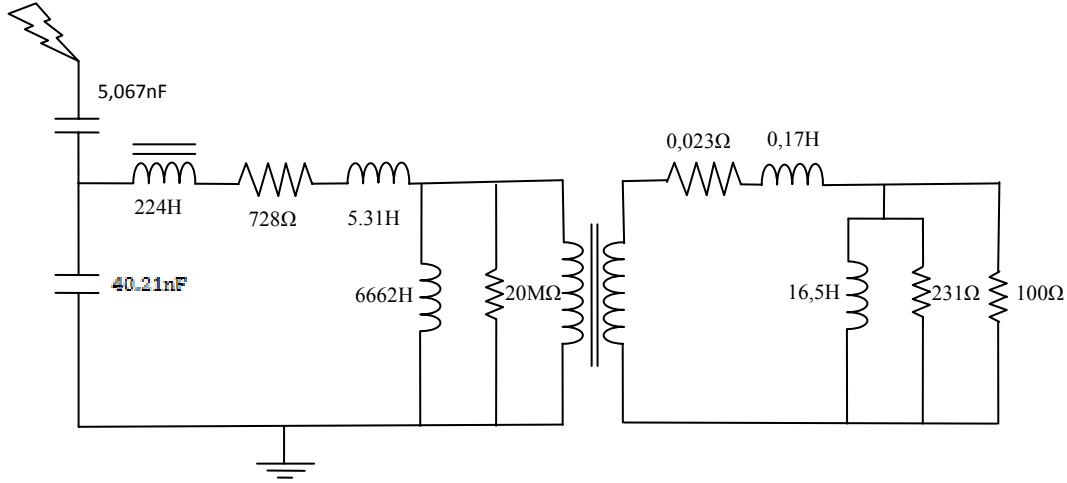
Geçici olaylar bu kısa sürede teçhizatlarda eskime ve izolasyon sorunlarına yol açarlar. Bunun yanında koruma sisteminde kullanılan kapasitif gerilim trafolarında gerilimin hatalı ölçülmesine neden olurlar. Bu durum sistemin ani korumasını sağlayan mesafe koruma rölelerinin hatalı çalışmasına neden olur[4]. Geçici rejimler akım trafolarının doymasına neden olabilirler. Bu durum aşırım akım rölelerinin ve diferansiyel rölelerinin hatalı çalışmasına ya da beklenen anda çalışmamasına neden olur.

3.2. Kapasitif Gerilim Trafolarına Etkisi

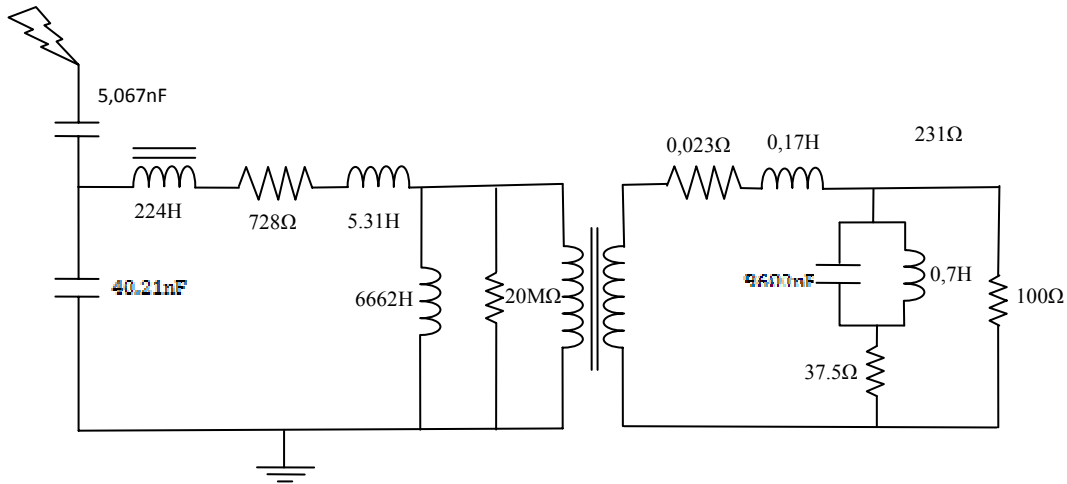
Kapasitif gerilim trafoları (KGT) sık olarak kullanılan gerilim trafolarındandır. Bkz Bölüm-2. Koruma sisteminde geçici olayların en çok etkilediği teçhizattır. Normal işletme şartlarında gerçek sistemin gerilimini belli bir oranda (154kV/100V veya 380kV/100V) küçülterek dalga şeklini birebir yansıtırlar. Fakat geçiş durumlarında (açma-kapama, yıldırım darbe vb.) KGT'lerin içinde bulunan aktif veya pasif ferrerezonans filtrelerden dolayı gerilimin dalga şeklini tam olarak yansıtamazlar.

(Şekil3.3) Buna bağlı olarak sistem geriliminin etkin değeri Şekil3.4 de görüleceği üzere olması gerekenden düşük okunur [4].

Electromagnetic Transition Program (EMTP) programı yardımıyla 154 kV Emek marka KGT devre elemanlarının değerleri kullanılarak eksik değerler hesaplanarak aktif ve pasif ferrezonans filtreli kapasitif gerilim trafosu benzetimi hazırlanmıştır[9]. (Şekil3.1,Şekil 3.2) (Bkz. EK-B,EK-C)

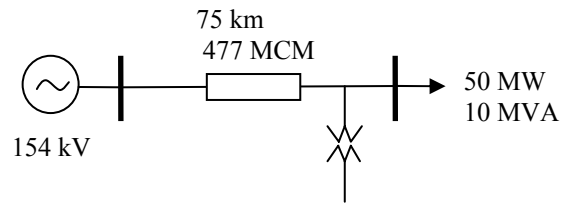


Şekil 3.1 50 Hz için pasif ferrezonans filtreli KGT modeli

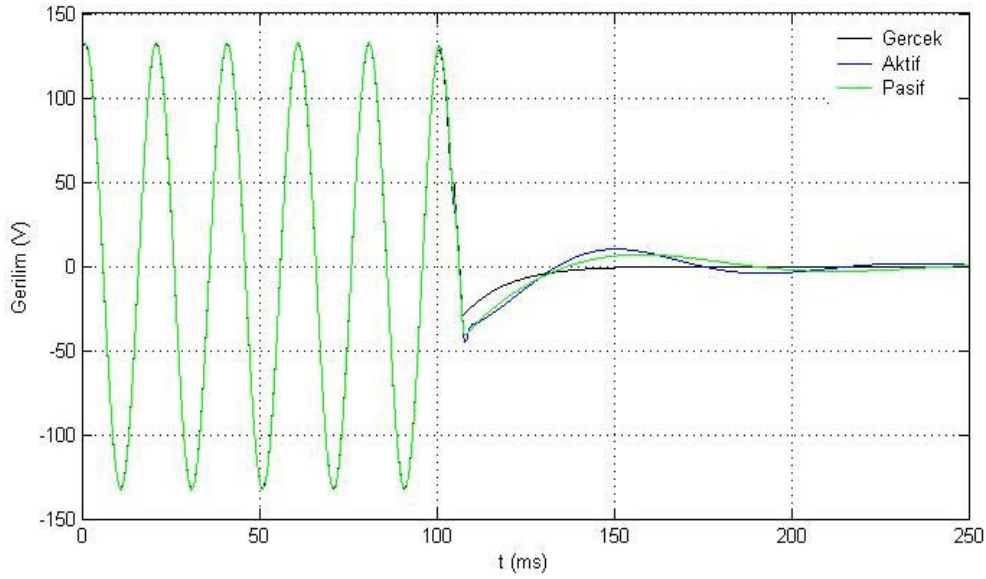


Şekil 3.2 50 Hz için aktif ferrezonans filtreli KGT modeli

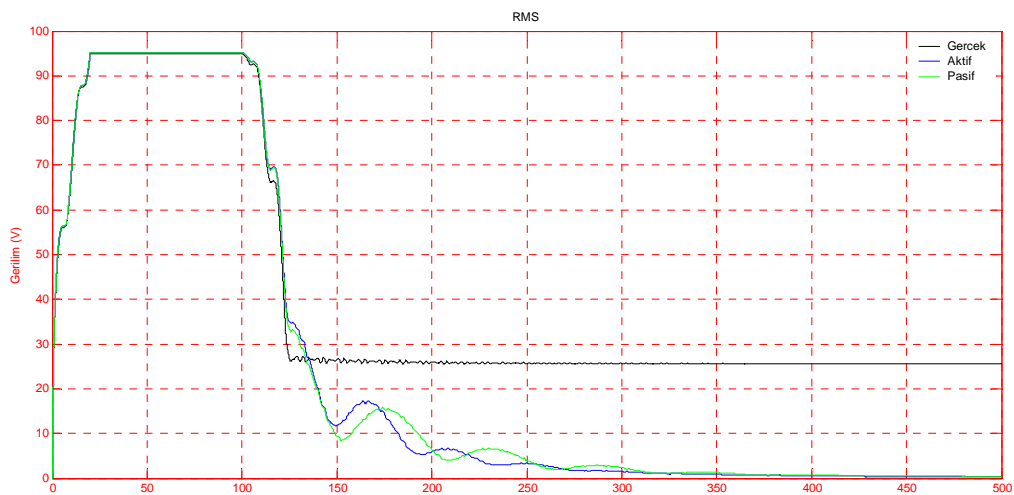
Yine Şekil3.3’de görülen iletim kısmına aktif ve pasif ferrezonans filtreli kapasitif gerilim trafoları kullanılarak gerilimler ölçülmüştür(Bkz. EK-D). Bu değerlerle EMTP programı tarafından hesaplanan gerçek değerler karşılaştırılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.3 EMTP Yardımıyla benzetimi yapılan iletim sistemi



Şekil 3.4 Aktif ve pasif ferrezonans filtreli KGT lerin dalga şekli cevabı



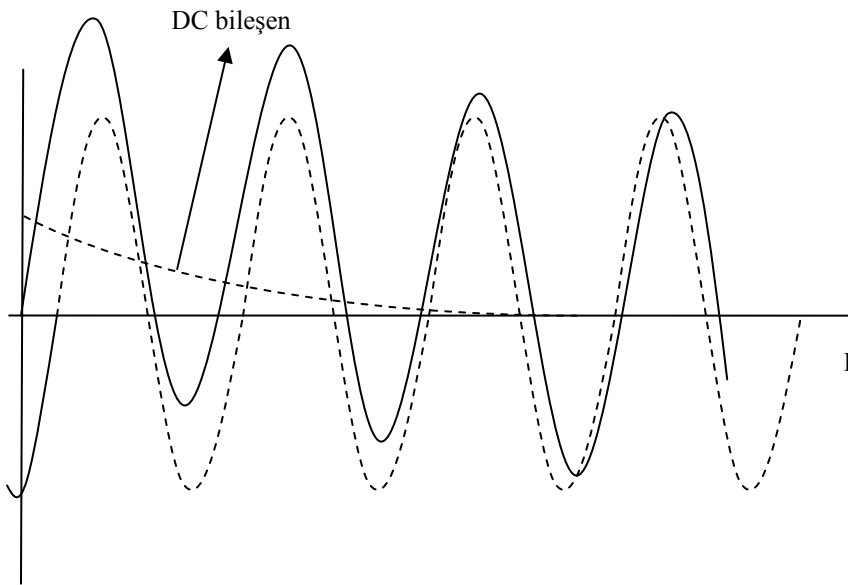
Şekil 3.5 Aktif ve pasif ferrezonans filtreli KGT lerin etkin değer cevabı

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 de aktif ve pasif ferrezonans filtreli KGT'ler Şekil 3.3' deki iletim sistemi kısmına bağlanmıştır (EK-D). Hatta arıza olmaksızın kesiciler 100ms'de açılarak KGT'lerin çalışması incelendi. KGT'lerin bu geçici olay sırasında

dalga şeklini gerçek olarak yansıtamadığı görüldü(Şekil 3.4). Sistem geriliminin etkin değerlerinin aktif ve pasif filtreli KGT’lerde daha düşük ölçüldüğü tespit edildi (Şekil 3.5).

3.3. Akım Trafoları Üzerine Etkisi

İletim sisteminde kullanılan akım trafoları arıza durumlarında aşırı akımlara maruz kalırlar. Bu da akım trafolarının doymasına neden olabilmektedir. Akım trafolarının doyması bilgi gönderdiği rölelerin hatalı çalışmasına neden olmaktadır. Akım trafolarının doyması nonlineer bir olay olmakla birlikte arıza akımının DC bileşeni ile ilişkilidir[14].



Şekil 3.6 Arıza akımının bileşenleri

Şekil3.6’da görülen arıza akımı DC bileşen ve AC bileşenin toplamıdır(Denklem 3.1).

$$i = \sqrt{2}I_{\text{etkin}} \left(e^{-\theta/\omega T_1} - \cos\theta \right) \quad (3.1)$$

i : arıza akımının ani değeri

I_{etkin} : arıza akımının etkin değeri

θ : akımın açısı

T_1 : $X_1/\omega R_1$ primer sistem zaman sabiti

Bir arıza sırasında akım trafosunun doyması ise denklem deki gibi hesaplanır[22].

$$T_2 = \frac{E_s}{I_s R_s \omega} \quad (3.2)$$

E_s : diz noktası gerilimi

I_s : diz noktası uyarma akımı

R_s : sekonder direnci

$$t_s = -T_1 \ln \left[1 - \frac{T_2 - T_1}{\omega T_2 T_1} \left(\frac{E_s N}{I_{s\text{tkin}} R_s} - \frac{1}{\cos \varphi} \right) \right] \quad (3.3)$$

t_s : doyma zamanı

E_s : doyma gerilimi

φ : yük açısı

3.4. Röleler Üzerine Etkisi

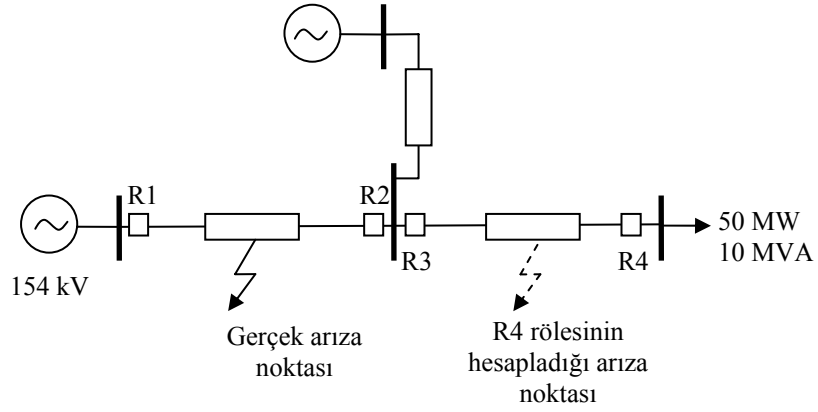
3.4.1. Mesafe koruma rölesine etkisi

Mesafe koruma röleleri temel olarak girişten aldığı gerilim ve akım sinyallerini kullanarak bir empedans hesaplar. Bu hesaplanan değerle daha önce elle röleye girilmiş olan hat empedansını farklı karakteristiklere göre değerlendirir (Bkz. Bölüm 2.3.2).

Bölüm 3.3'te anlatıldığı üzere KGT'de ölçülen gerilim değeri gerçek değerden düşük ölçülür. Bu da hatalı empedans hesaplanmasına yol açar. Denklem 3.4'e göre empedansın daha küçük hesaplanmasına neden olur.

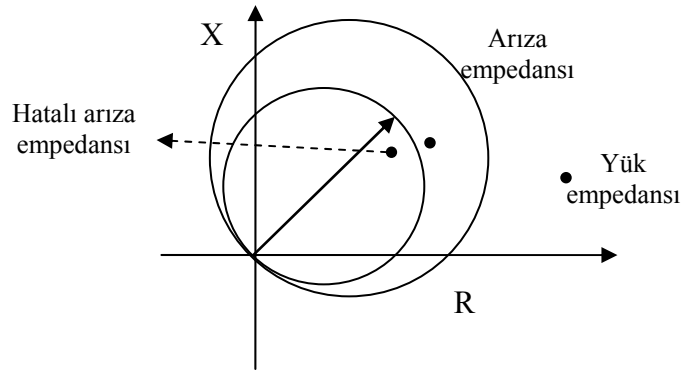
$$Z = \frac{V}{I} \quad (3.4)$$

Röle bu durumda kendi bölgesinde olmayan bir arızayı kendi bölgesinde sanarak açma sinyali üretir. Şekil 3.7 de görülen R4 rölesi birinci kademede kendi bölgesinde olmayan arızayı kendi bölgesinde algılayarak açma veririr. Bu durumda yükler istenmeyen bir şekilde enerjisiz kalır.



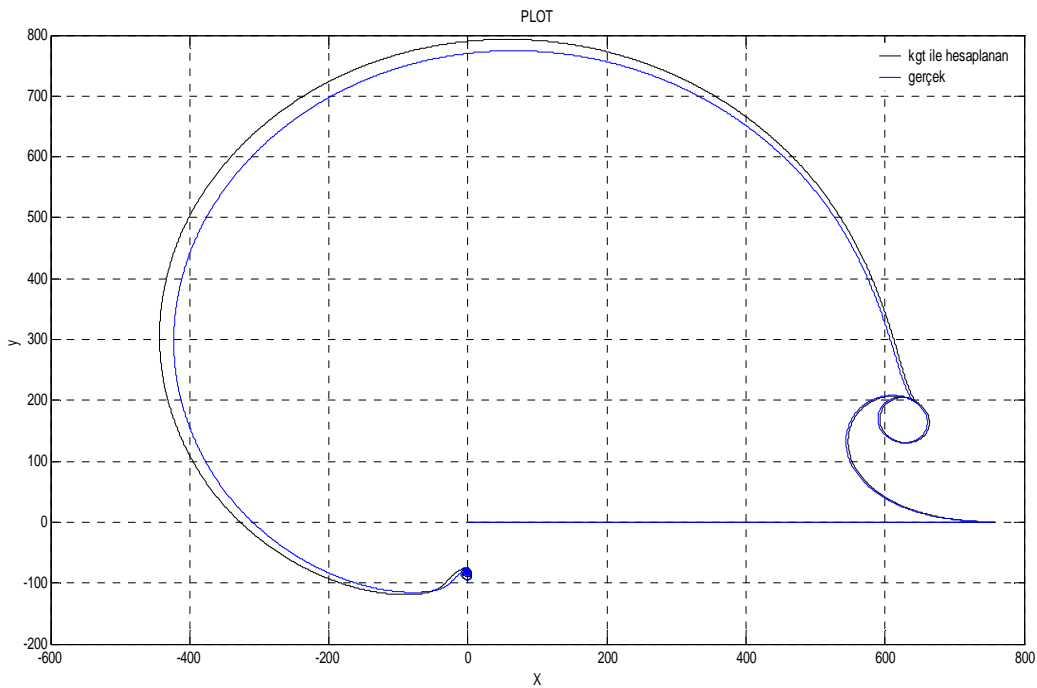
Şekil3.7 Dört baralı örnek bir sistem

Örneğin Mho karakteristiğine uygun olarak başlangıçta elle girilen empedans değerine göre rölenin hesapladığı dairenin dışında kalması beklenen arıza empedansı dairenin içine girer ve açma sinyali üretilir(Şekil 3.8).



Şekil 3.8 mho karakteristiği üzerinde hatalı empedans

EMTP programı yardımıyla EK-F' de gösterilen sistem benzetimi yapılmıştır. Burada aktif ferrezonans filtreli bir KGT kullanılmış ve röle tarafından hesaplanan empedansın arıza sırasındaki yolu empedans diyagramı üzerinde gösterilmiştir (Şekil3.9)

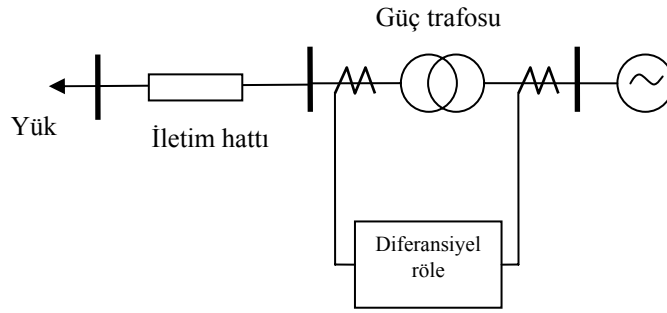


Şekil 3.9 EK -F'deki benzetimde gösterilen mesafe koruma rölelerinin hesapladıkları empedans eğrileri

Gerçek empedans ile KGT üzerinden ölçülen empedans arasında fark olduğu görülmektedir.

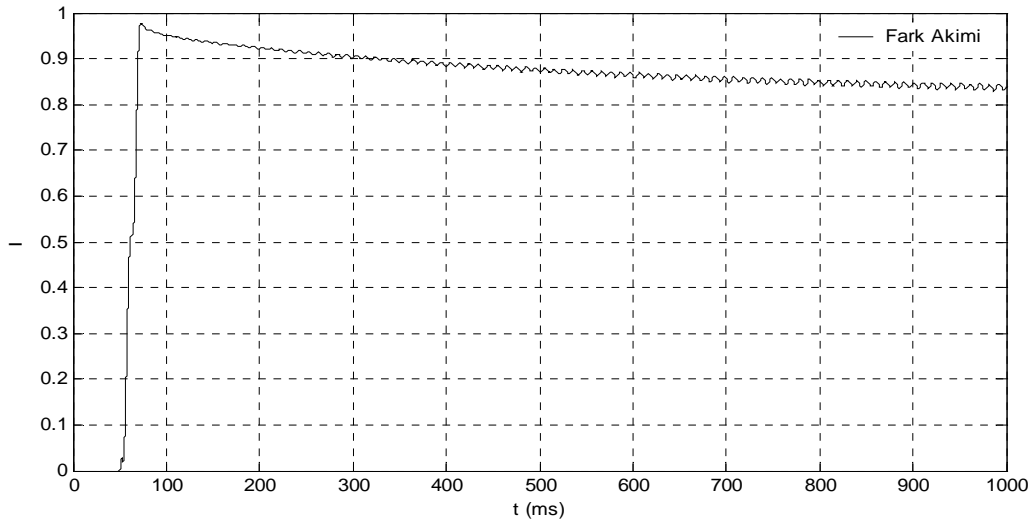
3.4.2. Diferansiyel koruma rölesine etkisi

Geçici olaylar Bölüm 3.3' de anlatıldığı üzere akım trafolarının doymaya gitmesine sebep olmaktadır. Doymaya giden akım trafosu akımın gerçek değerini tam olarak yansıtamaz. Bu da iletim sistemi üzerinde güç trafolarının korunmasında kullanılan diferansiyel rölelerin hatalı çalışmasına sebep olabilmektedir. Güç trafoları ilk enerjilendirildiklerinde mıknatıslama akımı çekerler. Mıknatıslama akımı diferansiyel rölede fark akımı oluşmasına neden olur.



Şekil 3.10 Güç trafosu diferansiyel koruması

EMTP programı yardımıyla Şekil 3.10 (EK-G) de sunulan diferansiyel röle uygulaması benzetimi oluşturuldu. Bu benzetimde diferansiyel röle bir trafoyu korumaktadır. Trafonun enerji altına alınması için kesiciler 50 ms de kapatılır. Bu durumda Şekil 3.11’de görülen fark akımı değişimi oluşmaktadır. İlk enerji verildiğinde trafo mıknatıslanma akımı çeker ve fark akımı artar daha sonra yavaşça bu fark azalarak sıfıra yaklaşır.



Şekil 3.11 Fark akımındaki yükselme ve düşüş

Diferansiyel rölelerin hatalı çalışmasına sebep olan bir diğer olay da akım trafolarının doymalarıdır. Trafoya yakın arızalarda oluşan yüksek akımlar trafo giriş fiderlerindeki akım trafolarının doymasına neden olur. Bu da diferansiyel rölenin çalışarak trafoyu devre dışı bırakmasına neden olur.

3.4.3. Aşırı akım rölesi üzerine etkisi

Aşırı akım röleleri akım trafosu üzerinden alınan akım sinyalini farklı röle karakteristiklerine göre değerlendirerek gerekliyse kesici için açma sinyali üretirler. (Bkz bölüm 2.3.2) Aşırı akım röleleri akım trafosundan gelen akım değerinin hatalı olması veya gelen sinyalin yanlış değerlendirilmesi sonucunda hatalı çalışabilirler. Akım trafolarının hatalı ölçüm yapması Bölüm 3.3'te açıklandığı üzere geçici olaylar sırasında akım trafolarının doymasından kaynaklanır. Doyma elektromekanik aşırı akım rölelerinde diskin dönmesini sağlayan torkun yetersiz kalmasına neden olur. Açma sinyali üretilemez [22]. (Denklem 3.5)

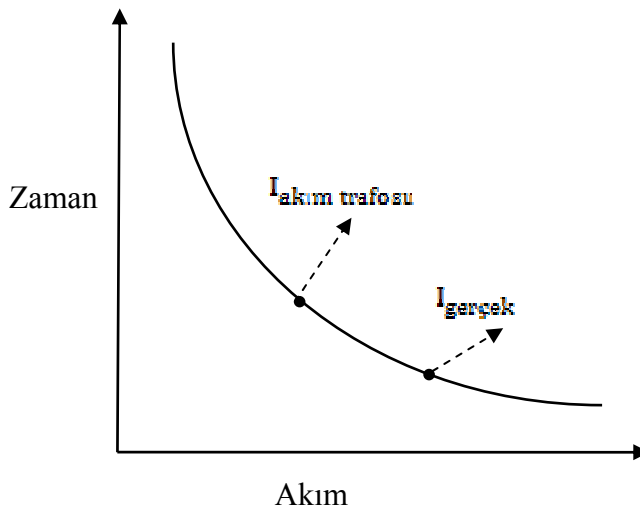
$$T=KI^2-\bar{K} \quad (3.5)$$

T : net tork

K : tasarım katsayısı

\bar{K} : sınırlama torku

I : akımın etkin değeri



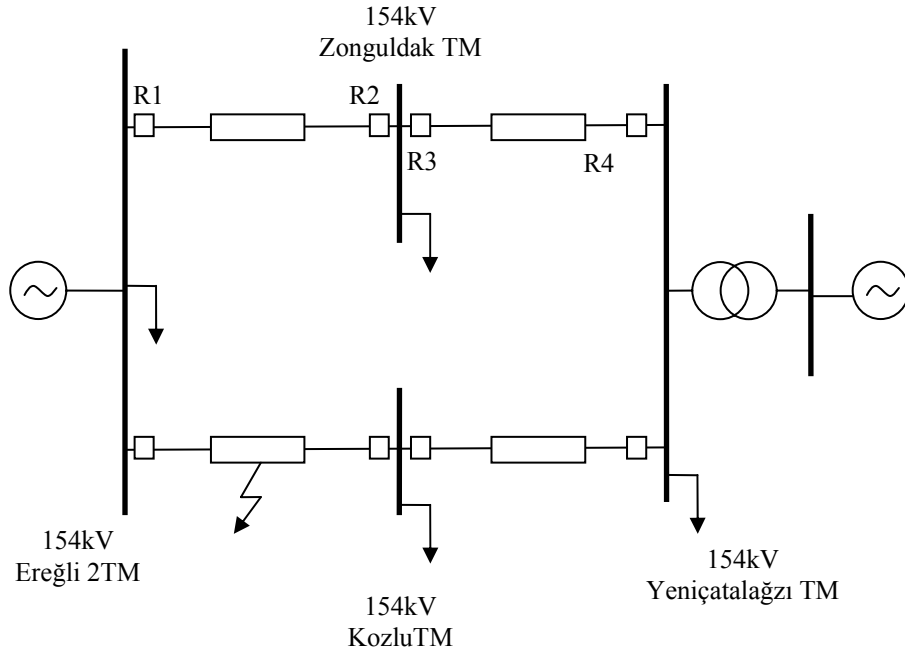
Şekil 3.12 doyma anında aşırı akım rölesinin çalışması

Dijital rölelerde akım trafosunun doyması yükselen arıza akımlarının düşük algılanmasına neden olur. Eğer röle ani karakteristikli ise açması beklenen durumda açma sinyali üretilmez. Buna karşın ters zaman karakteristikli ise geç açmasına veya açmamasına neden olur.

BÖLÜM 4. ÖRNEK BİR SİSTEM ÜZERİNDE İNCELEME

4.1 Giriş

Adapazarı TEİAŞ Grup Müdürlüğünde Röle ve Ölçü Aletleri Grup Başmühendisliğinde çalışmakta olan görevli mühendislerle geçici olaylardan dolayı beklenmeyen şekilde açan veya açma sebebi tespit edilemeyen hatlar ile ilgili bilgi alındı. İşletme mühendislerin en çok bu tip sorunlarla karşılaştıkları sistem bölümü olarak 380 kV Ereğli-II TM ile 154Y.Çates'i bağlayan birbirine paralel 154 kV hatları örnek gösterildi. Bu bilgiye dayanarak TEİAŞ'ın hazırladığı minimum yük şartlarında yük akışı, üç faz ve faz toprak kısa devre etüdü kitabındaki [2] sistem bilgileri kullanılarak EMTP programında Şekil 4.1'de görülen sistem modellenerek mesafe koruma rölesinin geçici bir durumda nasıl çalıştığı incelendi. (Bkz. EK-I)



Şekil 4.1 Benzetimi yapılan iletim sistemi

154kV Yeni Çatalağzı barası Yeniçatalağzı Termik santralının iki ünitesinden yılda ortalama 228MW aktif 100.5MVar reaktif güç ile beslenmektedir. Benzetimde bu değerler bir üreteç ile modellenmiştir. Çalışma yapılacak olan Çatalağzı-Ereğli2 TM yönündeki hatların çektiği enerji çıkartılırsa toplam diğer hatlardan çekilen yük 160 MW aktif, 45.5MVar reaktiftir. Bu değerler benzetimde yük olarak gösterilmiştir.

154kV Ereğli 2 barası, 380 Ereğli 2 barası ile bir ototrafo ile bağlıdır. 154 kV barası ototrafolar üzerinden yılda ortalama 123MW aktif ve 14.4MVar reaktif güç ile beslenmektedir. Bu değerler bir üreteç olarak benzetimde gösterilmiştir.

154kV Zonguldak barası ise iki 154 kV hat ile beslenmektedir. Bu hatlar benzetimde hat olarak gösterilmiştir. Bunun dışındaki orta gerilim tüketimleri toplam 36 MW ve 10 MVar'dır. Benzetimde yük olarak modellenmiştir.

154kV Kozlu TM sisteme henüz bağlanmamıştır. Yapım çalışmaları devam etmektedir. Yaklaşık 36 MW ve 10 MVar güç çekeceği planlanmaktadır.

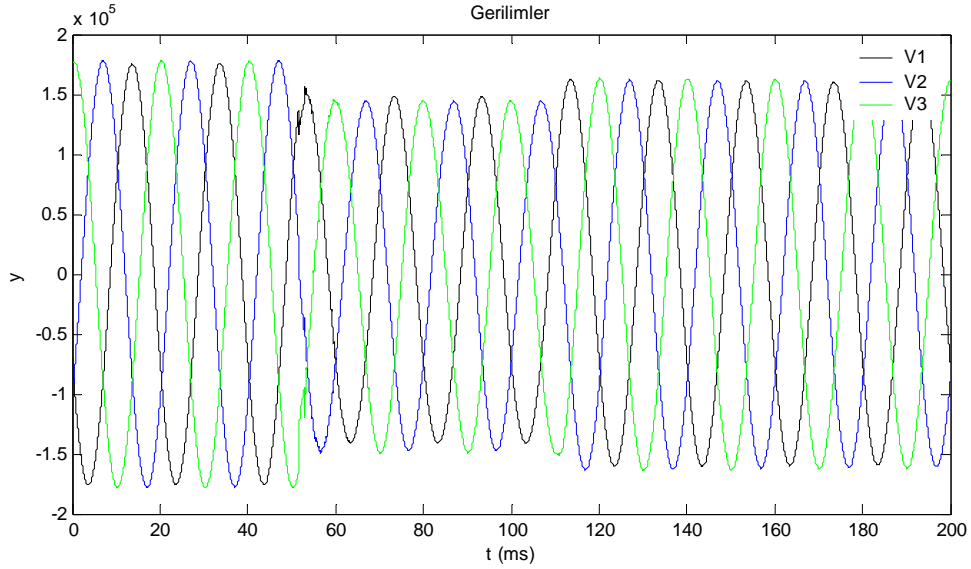
154 kV Yeniçatalağzı-Zonguldak Enerji İletim Hattı tek devre 13.55 km 477 MCM iletkenli bir hattır.

154 kV Zongulak-Ereğli2 Enerji iletim hattı tek devre 38.13 km 477 MCM iletkenli bir hattır.

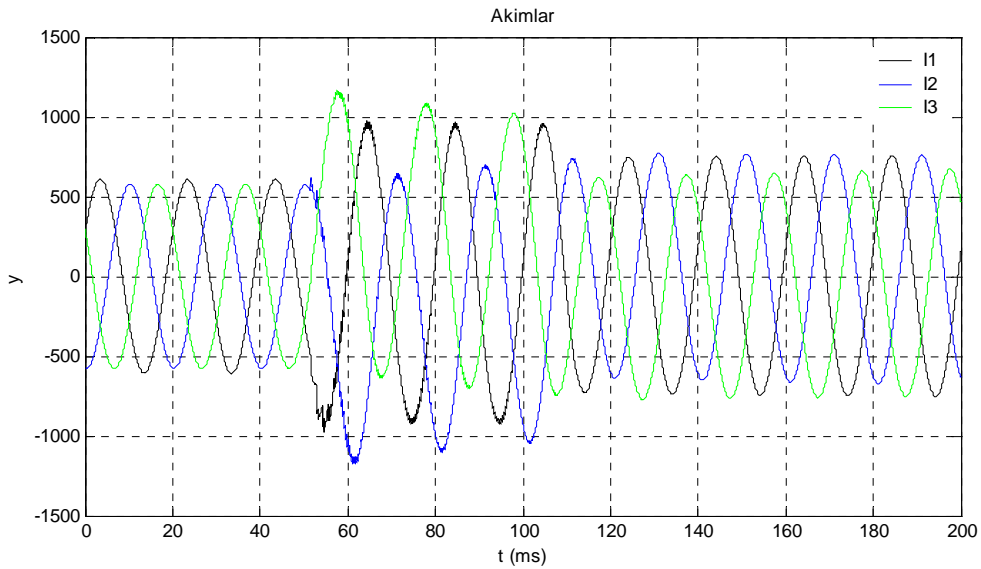
154 kV Yeniçatalağzı-Ereğli 2 enerji iletim hattı tek devre 54.84 km 1272 MCM iletkenli bir hattır.

Yukarıda açıklanan verilere dayanılarak EMTP programında Şekil 4.1 de görülen sistemin modeli hazırlandı .Benzetimde kullanılan hat modelleri EK-J de açıklanan şekilde 477MCM ve 1272 MCM tek devre karakteristikleri programa girilerek oluşturulmuştur. Benzetimde Kozlu TM ile Ereğli TM arasında üçfaz toprak arızası oluşturulmuştur. Arıza 50ms sonra kesiciler tarafından temizlenmiştir. Bölüm 3'te modeli hazırlanan KGT ve mesafe koruma rölesi modeli kullanılarak farklı baralardan ölçüm yapılarak empedans hesaplanmıştır.

Buna göre arıza sırasında 154kV Zonguldak barasında yapılan ölçümde gerilim Şekil 4.2 deki gibi değişirken akımın Şekil 4.3 de görüldüğü gibi değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Bu değerlerle hesaplanan empedans ise Şekil 4.4 deki gibi değişmektedir.



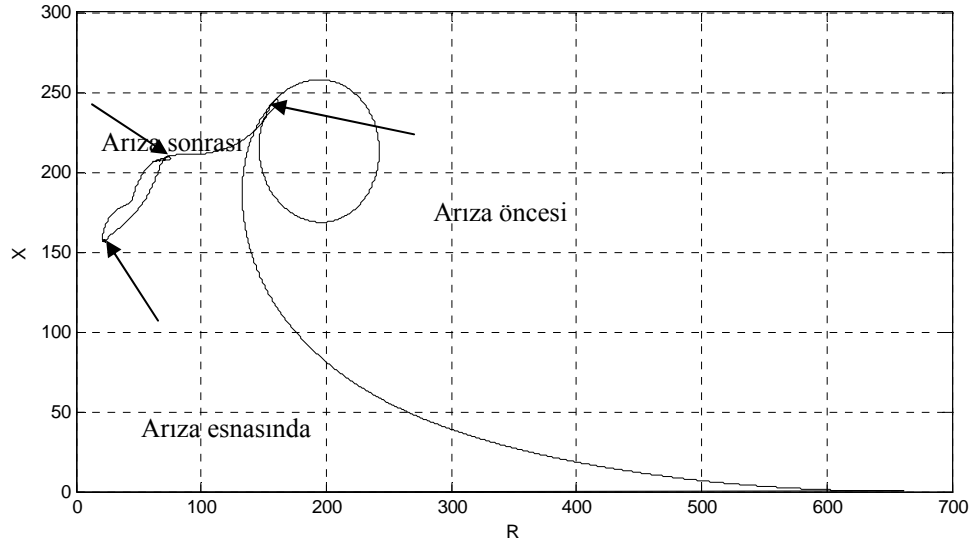
Şekil 4.2 Arıza sırasında Zonguldak barasındaki gerilimlerin değişimi



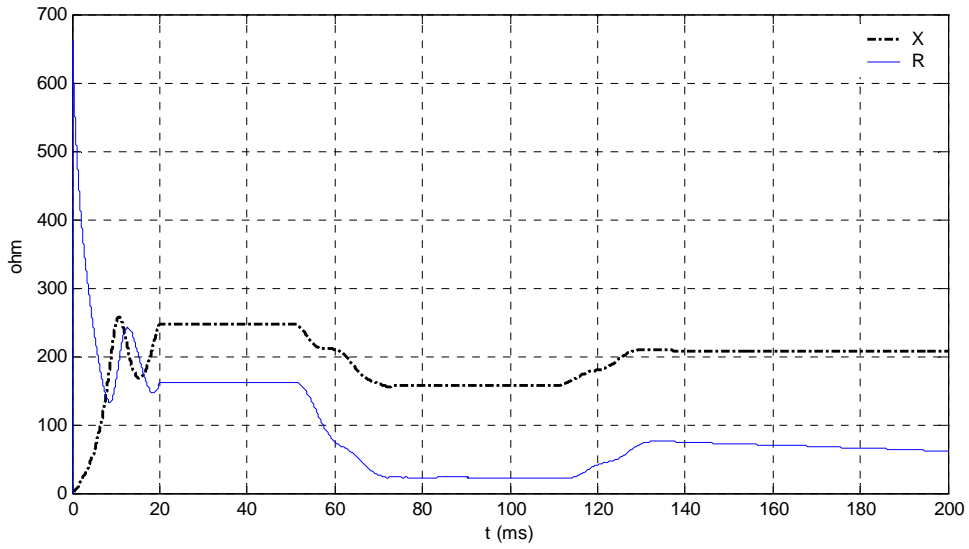
Şekil 4.3 Arıza sırasında Zonguldak barasından Ereğli 2 barasına gerilimlerin değişimi

Şekil 4.1'de görüldüğü üzere arıza ölçüm yapılan hatta değil paralel hatta oluşturulmuştur. Fakat geçici olay sırasında paralel olan hattın akım ve gerilimde değişim oluşmuştur. Gerilimin etkin değeri olması gerekenden düşük ölçülmüştür.

Bu durum mesafe koruma rölesinin, daha büyük olması gereken empedansı küçük hesaplamasına yol açmıştır (Şekil4.4).



Şekil 4.4 Paralel hatta arıza olması durumunda Zonguldak TM de KGT üzerinden ölçülen empedans



Şekil 4.5 Paralel hatta arıza olması durumunda Zonguldak TM de KGT üzerinden ölçülen empedansın aktif ve reaktif kısımları

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

KGT'lerin sistemde yerine kullanılacak başka bir gerilim trafosu bulunmamaktadır. Olmuş olması durumunda KGT'lerin yerine yenilerinin alması yıllar sürecektir. Bu durumda bulunabilecek çözümler mesafe koruma röleleri üzerinde odaklanmaktadır.

Birinci öneri mesafe koruma rölelerinin menzillerinin kısaltılmasıdır. Birinci kademede koruması beklenen hattın tamamını değil bir kısmını birinci kademeye alınabilir. Bu durumda rölenin aşırı menzil görmesi ihtimali azalır. Fakat bu durumda hattın bir kısmı iki koruma elemanı yerine tek koruma elemanı ile korunur.

İkinci kademede komşu hattın %50'si üçüncü kademede ikinci hattın tamamı korumaya alınır. İkinci ve üçüncü kademe komşu hatların rölelerinin çalışmaması durumunda işlevsel olacaktır. Bu çözümde röleler daha verimsiz kullanılır. Bununla birlikte önemli miktarda hatalı açmaları engelleyecektir.

İkinci öneri ise rölelere gecikme verdirmeektir. Geçici olaylar en geç iki periyot içinde sonlanacağı için kısa bir süre gecikme verdirilen röle arıza değil sadece bir transientle karşı karşıyaysa açma sinyali üretmez. Arıza durumu mevcutsa röle gecikmeyle de olsa açma sinyali üretecektir. Bu çözümün dezavantajı eğer rölenin gördüğü geçici durum arıza ise röle arıza durumunda da bekler. Bu da çok kısa süre de olsa teçhizatın gereksiz yüklenmesine sebep olur. Aynı zamanda arıza sisteme taşınmış olur. Aynı anda başka hatlarda oluşan bir arıza daha büyük sorunlara yol açabilir. Bu yöntem de geçici rejimlerin tespitinde çok iyidir ve röleler geçici durumlarda açma verdirmezler.

Üçüncü öneri ise sistem empedans oranının (SIR) değerinin hesaplanarak buna uygun röle ayarı yapılmasıdır.

Eğer mevcutsa röle algoritmasında transient analizinin açılmasıdır. SIR değerinin büyük olması durumunda kaynak zayıf, SIR değerinin küçük olması durumunda ise kaynak güçlüdür. Kaynağın güçlü olması durumunda geçici rejimlerin etkisi az olacaktır. Bunun rölenin algoritmasında bulunması durumunda röle SIR büyük ise birinci ve ikinci önerinin devreye girdiği eğer sır küçükse bu korumaların kullanılmadığı bir röle algoritması uygulanabilir.

Sistem işletmesinde bu üç öneri de uygulanmaktadır. Fakat yine de transientlerden ötürü mesafe koruma röleleri açma verdirilmektedir. Sistemde KGT'lerin yaşlanmış ve yeni olanları bir arada kullanılmaktadır. Keza farklı marka ve tasarımdaki KGT'ler de bir arada kullanılmaktadır. Örneğin bir fiderin A fazında aktif filtreli KGT kullanılırken B fazında pasif , C fazında ise farklı tasarımlı bir gerilim trafosu kullanılıyor olabilir. Bu durum bir fiderin üç fazının birbirinden farklı transient cevabı verdiği anlamına geliyor. Bunun düzeltilmesi kısa vadede mümkün olmasa da zamanla değiştirilirken aynı marka ve tipteki KGT'lerin kullanılması bu sorunu da ortadan kaldırabilir.

Aşırı akım rölelerinin ve diferansiyel koruma rölelerinde hataların en önemli nedeni kullanılan akım trafolarının hatalı seçilmiş olmasıdır. Bu işletme mühendislerinin sistemi gözden geçirmesiyle çözülebilecek bir sorundur. Eğer varsa hatalı seçilmiş ölçü trafoları değiştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Türkiye Elektrik Enerjisi 10 yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu, TEİAŞ APK Daire Başkanlığı, www.teias.gov.tr, SF.1-5, Ankara, 2008
- [2] AKTAŞ, K., GÜNDOĞMUŞ, G., İYİİŞ, B.,2005 Minimum yük şartlarında yük akışı, üç faz ve faz toprak kısa devre etüdü, TEİAŞ Yük Tevzi Daire başkanlığı, Ankara, SF. SE-2006/3
- [3] ILICETO, F., Kuzey Batı Anadolu Bölgesinde Elektrik Sisteminin Çökmesi, TEİAŞ APK Daire Başkanlığı, Ankara, 2006
- [4] HOU,D., ROBERTS,J.,Capasitive voltage transformers:transient overreach concerns and solutions for distance relaying, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Vol.1, pp. 119 – 125,Alberta,1996
- [5] EMIN, Z., AL ZAHAWI, B.A.T., AUCKLAND, D.W., TONG, Y.K., Ferroresonance in electromagnetic voltage transformers: a study based on nonlinear Dynamics, IEE Proc.-Gen.Trans. Distrib., Vol. 144,No. 4 pp.383-387, 1997
- [6] GRAOVAC, M., IRAVANI, R., WANG, X., McTAGGART, R.D. ,Fast ferroresonance suppression of coupling capacitor voltage transformers, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, No. 1., p.p. 158-163, 2003
- [7] KEZUNOVIC, M., FROMEN,C.W., NILSSON, S.L., Digital models of coupling capacitor voltage transformers for protective relay transient studies, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 4., p.p. 1927-1935, 1992
- [8] IRVANI, M.R., WANG, X., POLISHCHUK, I., RİBERİO, J.,SARSHAR, A., Digital time-domain investigation of transient behaviour of coupling capacitor voltage transformer, IEEE Transactions on Power Delivery,Vol 13,No. 2, pp.622-628, 1998
- [9] DEMETRIOS, A.T., McLAREN, P., ALEXANDER, G., DAWSON, D., ESZTERGALYOS, J., FROMEN, C., GLINKOWSKI, M., HASENWINKLE, I., KEZUNOVIC, M., KOYOVIC, L., KOTHEIMER, B., KUFFEL, R., NORSTROM, J., ZOCHOLL, S., Mathematical models for current,voltage, and coupling capacitor voltage transformers, IEEE Power Delivery, Vol. 15,No.1, pp. 62-72, 2000

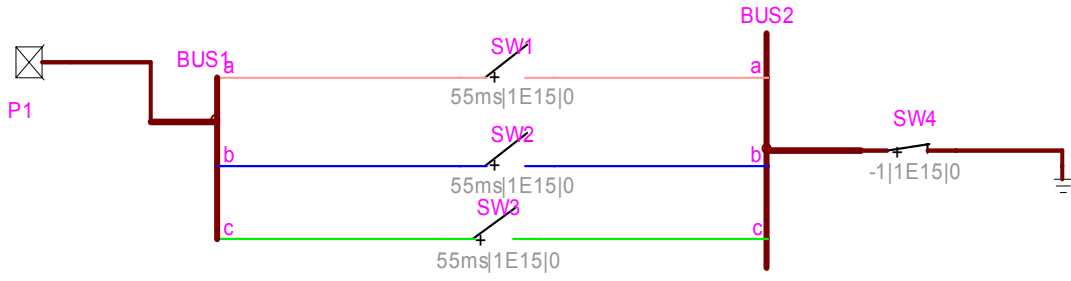
- [10] WANG, F., BOLLEN, M.H.J., Classification of component switching transients in the viewpoint of protective relays, *Electric Power System Research* 64, p.p.197-207,2003
- [11] HEWITSON, L.G., BROWN, M., BALAKRISHNAN, R., *Practical Power System Protection*, Elsevier, SF. 45-69, 96-101, Oxford, 2004
- [12] IEC 60044-1 Instrument Transformers Part21 Current Transformers, IEC Technical committee 38: Instrument transformers, pp. 17,69-79, Geneva,2003
- [13] IEC 60044-2 Instrument Transformers Part2 Inductive Voltage Transformers, IEC Technical committee 38: Instrument transformers, pp. 57-61, 71-79, Geneva,2003
- [14] HOROWITZ, H.S., PHADKE, A.G., *Power System Relaying*, John Wiley and Sons, LTD. and Research Studies Press Limited., pp. 24-44,75-131, West Sussex,2008
- [15] IEC 60044-5 Instrument Transformers Part5 Capacitor Voltage transformers, IEC Technical committee 38: Instrument transformers, pp. 57-61, 103-121, 2004
- [16] *Requirements for Power-line Carrier Coupling Capacitor Voltage Transformers*, American National Standard Institute p.p. 13-16, ANSI C93.1-1999
- [17] *IEEE Guide For the Application of Current Transformers Used for Protective Relaying Purposes*, IEEE Power System Relaying Relaying Committee,pp. 4-18, Std C37.110-1996
- [18] *IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines*, IEEE Power system relaying Committee, p.p. 38-44, 75-78, IEEE Std C37.113-1999, New York, 1999
- [19] ANDRICHAK J.G., ALEXANDER, G.E., *Distance Relay Fundamentals*, General Electric Publication GER-3966
- [20] *IEEE Guide for Protecting Power Transformers* IEEE Power system relaying Committee, p.p 10-15 IEEE Std C37.91-2000
- [21] ÖZKAYA, M., *Yüksek Gerilim Tekniği, Cilt II*, Birsen Yayınevi, SF. 10-52, İstanbul,1996
- [22] WU, A.Y., *The analysis of current transformer transient response and its effect on current relay performance*, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol 1A-21,No.4, 1985
- [23] FERNANDES Jr.D., NEVES, W.L.A., VASCONCELOS, J.C.A.*Coupling capacitor voltage transformers: A model for electromagnetic transient studies*, *Electric Power System Research* 77, p.p. 125-134, 2007

- [24] GÜLER, N., Transformatör Merkezlerinde Koruma, TEK Eğitim Müdürlüğü, SF. 60-97, Manisa, 1986
- [25] ERTEM, S., Ölçü Transformatörleri, TEK Eğitim Müdürlüğü, Manisa, 1985
- [26] ÇALIŞKAN, K., PAK, H., YILDIR, K., KÖK, F., Orta Gerilim Elektrik Tesislerinde Koruma ve Kontrol, TEK Elektrik Üretim İletim Müessesesi Röle Ölçü Aletleri Grup Müdürlüğü, Ankara, 1990
- [27] DAĞKIRAN, F.Z., METİNER, D., Türkiye Ulusal Elektrik Ağındaki Havai Hatların, Trafoların ve Generatörlerin Elektriki Karakteristikleri, TEİAŞ İletişim Kontrol Otomasyon Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, SA-2002/1, Ankara, 2001
- [28] SANTOSO, S., DUGAN, R.C., GREBE, T.E., NEDWICK, P., Modeling Ferroresonans phenemona in an underground distrubition system
- [29] ABB Outdoor instrument transformers application guide, Power Technologies AB Depatment, p.p. 26-56 72-75, LUDVİKA, 2005

EK-A EMTP programında üç fazlı arıza oluşturulması

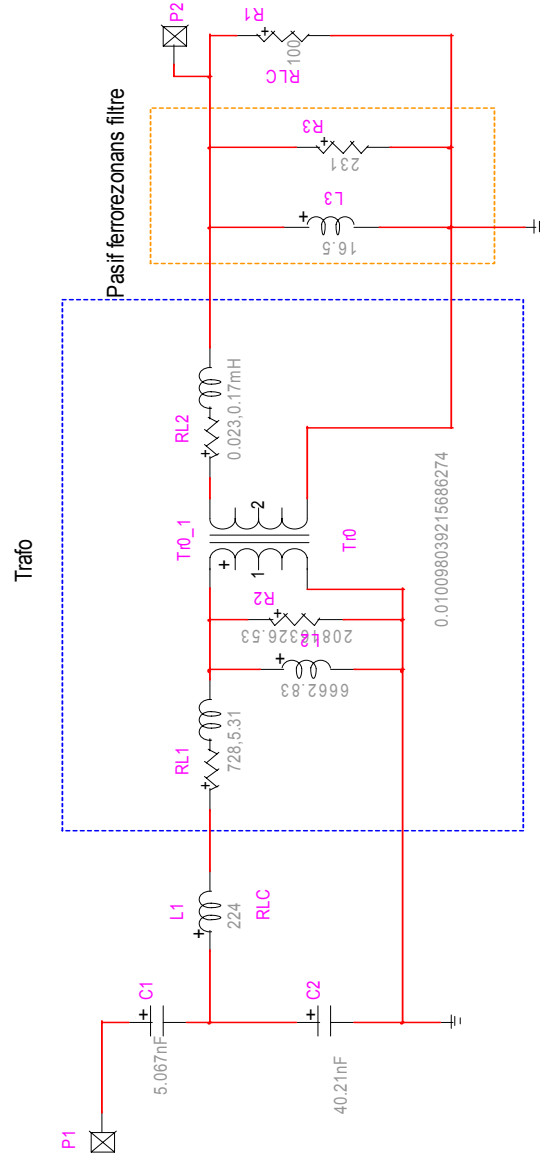


Şekil A.1 Sembolik gösterimi



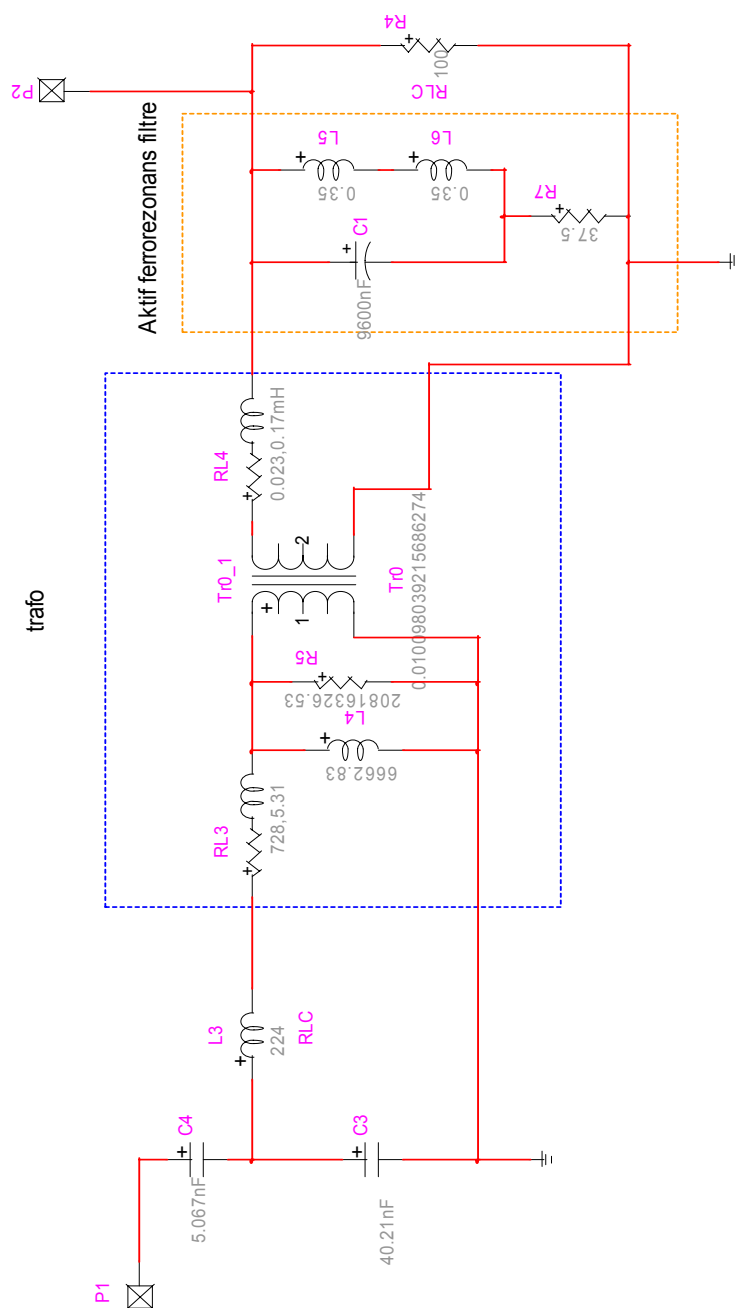
Şekil A.2 EMTP de arıza modeli

EK-B EMTP programında aktif ferrorezonans filtreli KGT tasarımı



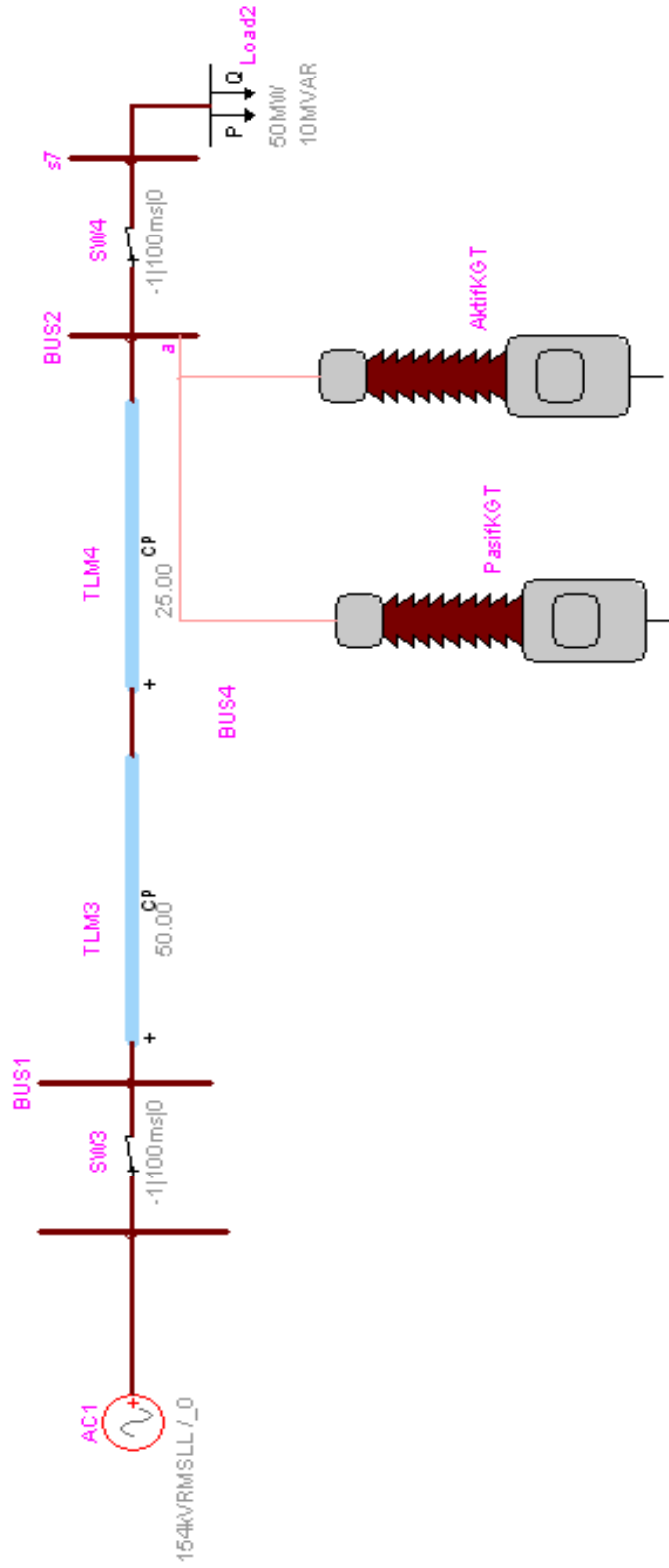
Şekil B.1 EMTP’de aktif ferrorezonans filtreli KGT modeli

EK-C EMTP programında pasif ferrezonans filtrelili KGT tasarımı



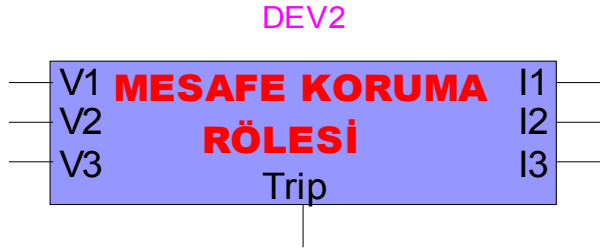
Şekil C.1 EMTP'de aktif ferrezonans filtrelili KGT modeli

EK-D EMTP programında aktif pasif filtreli KGT benzetimi

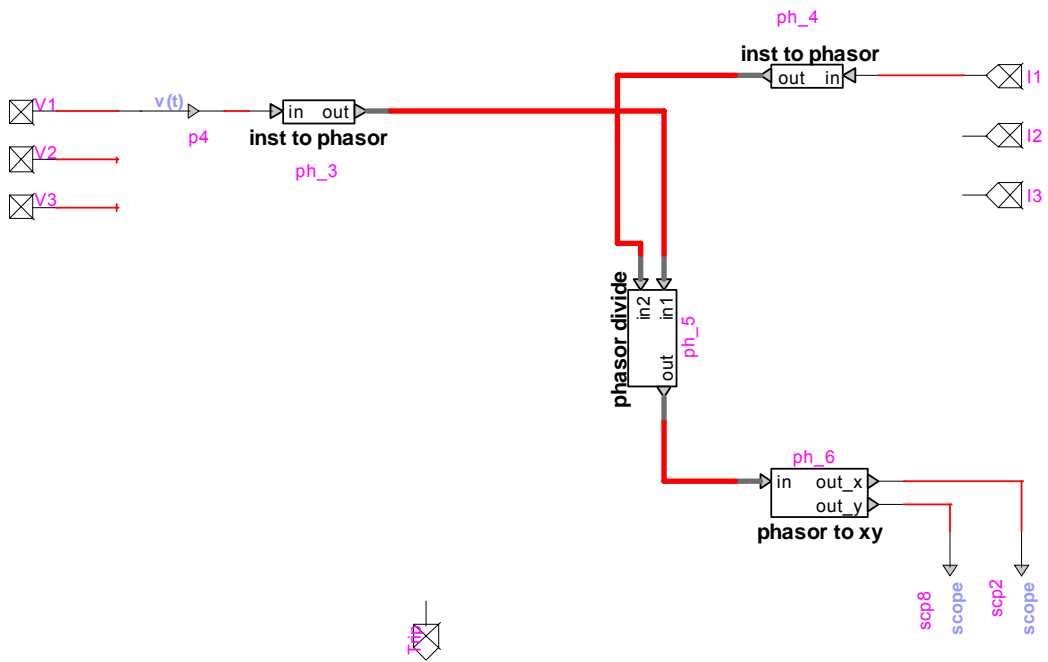


Şekil D.1 EMTP'de iletim sisteminden KGT ile gerilim ölçülmesi

EK-E EMTP programı yardımıyla hazırlanan bir mesafe koruma rölesi

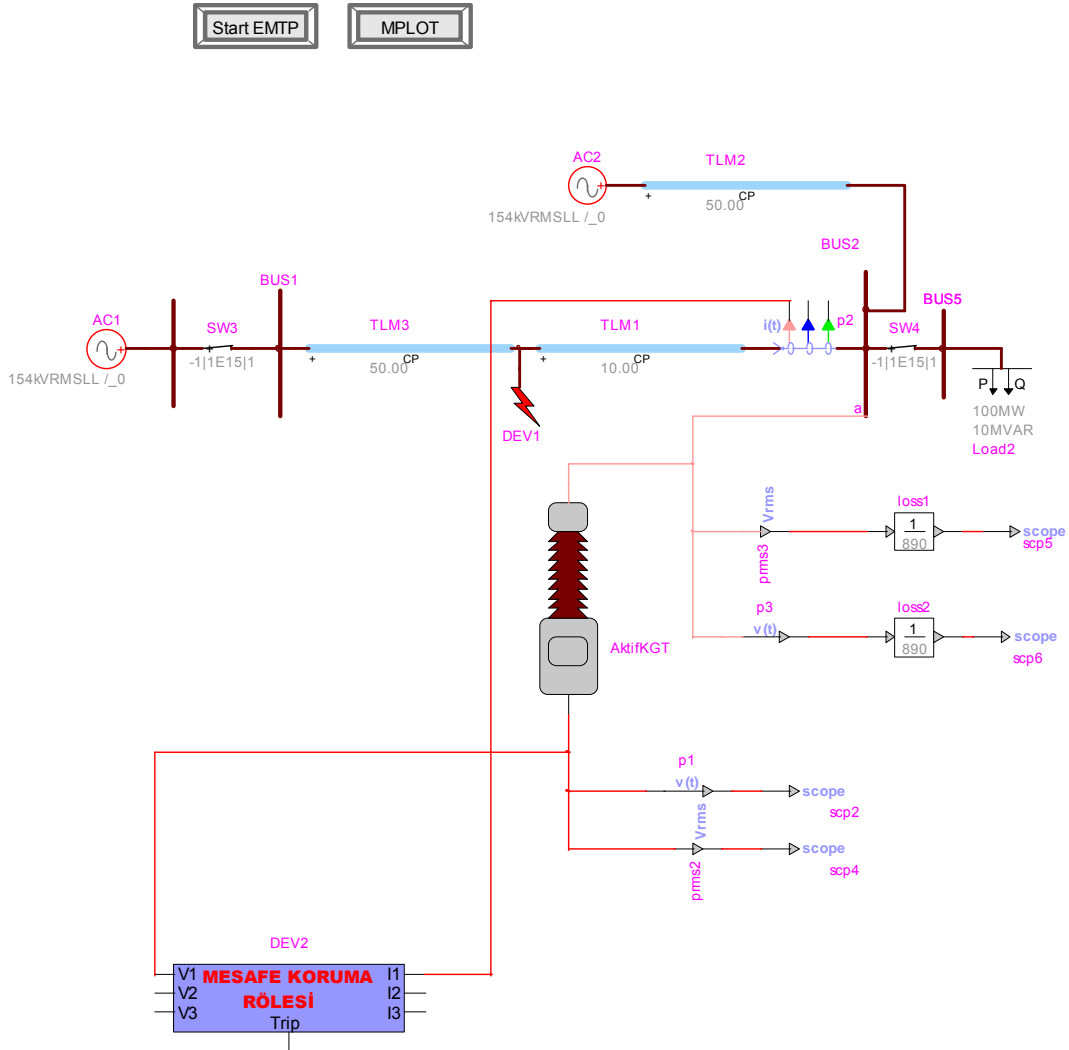


Şekil E.1 EMTP'de oluşturulan mesafe koruma rölesi sembolü



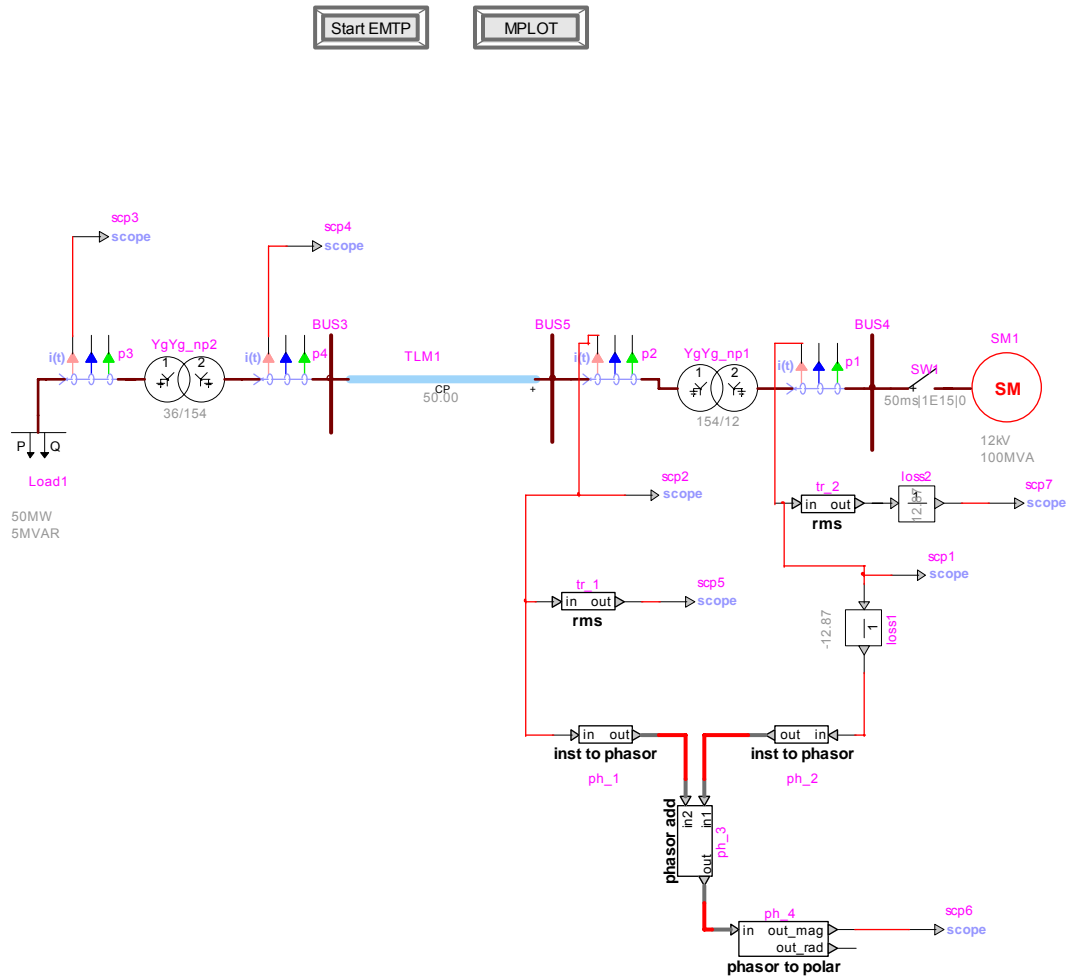
Şekil E.2 EMTP'de modellenen mesafe koruma rölesi

EK-F EMTP programında mesafe koruma rölesi uygulaması



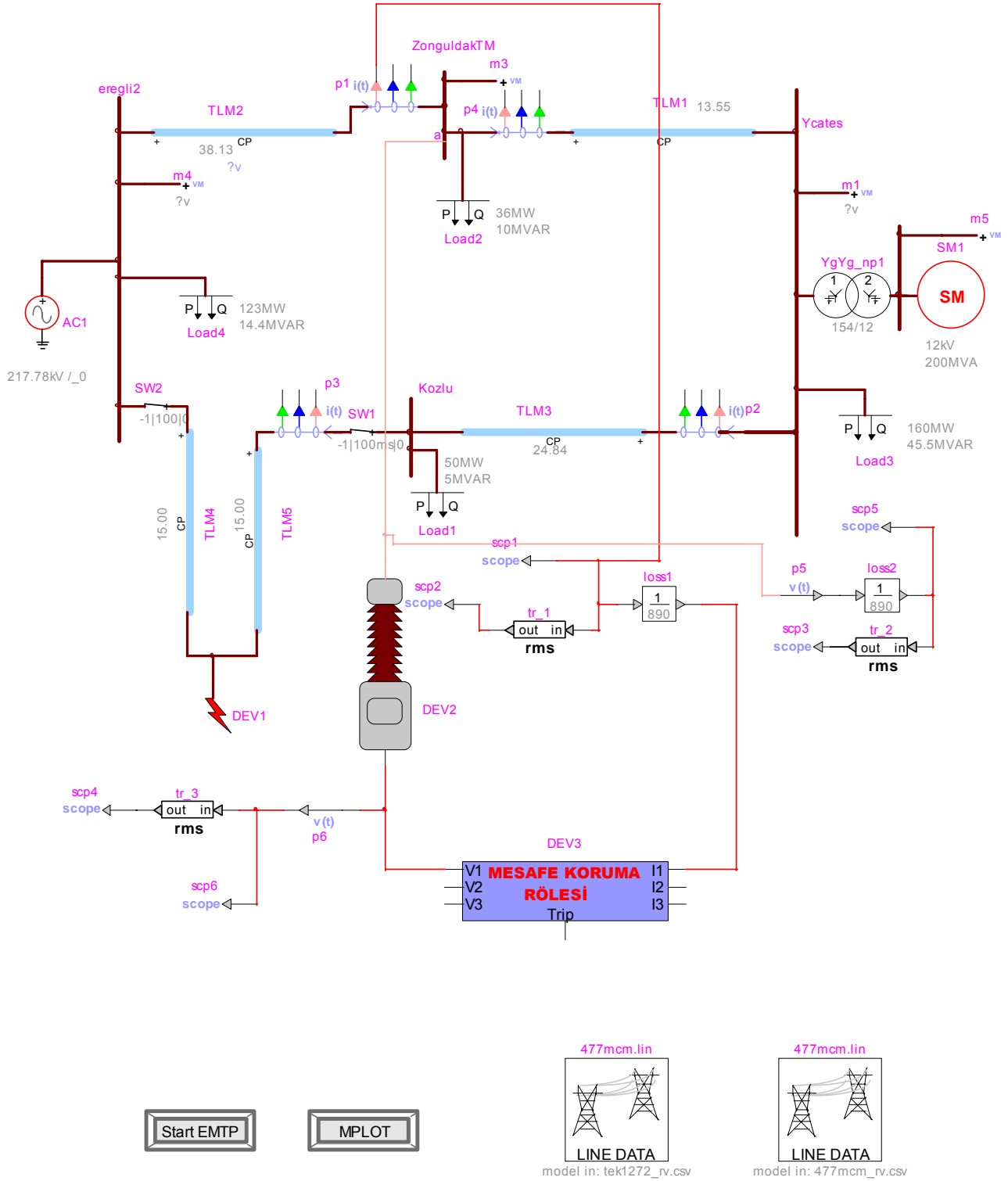
Şekil F.1 EMTP’de oluşturulan iletim sisteminde mesafe koruma uygulaması

EK-G EMTP programında diferansiyel röle uygulaması



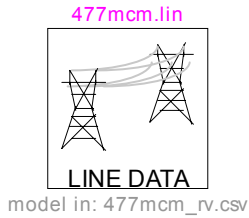
Şekil G.1 EMTP'de oluşturulan diferansiyel röle uygulaması

EK-I EPTM programında 154kv Yeniçates-Ereğli2 arası iletim sisteminin modeli



Şekil I.1 EPTM Programında 154kV Yeniçates-Ereğli 2 İletim Sistemi Modeli

EK-J EMTP PROGRAMINDA HAT MODELLENMESİ



Şekil J.1 477 MCM hat data sembolü

Transmission line data calculation function

Conductor Data | Model | Line length | Output options | Options | Fitting | Save and run this case | Help

Geometrical and electrical data

Module: Line Model
Units: Metric
Input option: Standard Conductor data

Conductor Data
Number of conductors (wires): 5

Wire	Phase Number	DC resistance [Ohm/km]	Outside diameter [cm]	Horizontal distance [m]	Vertical Heigth at tower [m]	Vertical Heigth at Midspan [m]
1	1	0.1194	2.177	0	18	18
2	2	0.119	2.177	-7	18	18
3	3	0.1194	2.177	7	18	18
4	0	1.65	0.472	-3	23	23
5	0	1.65	0.472	3	23	23

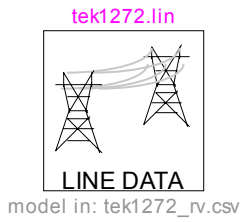
Additional data for Wire 1

Skin effect correction

Thick/Diam 0.186
 None
 Solid conductor
 Galloway Wedepohl
 Bundled Conductor

Tamam iptal

Şekil J.2 Tek devre 477 MCM İletim hattı veri giriş penceresi



Şekil J.3 1272 MCM iletkenli hat sembolü

Transmission line data calculation function

Conductor Data | Model | Line length | Output options | Options | Fitting | Save and run this case | Help

Geometrical and electrical data

Module: Line Model
Units: Metric
Input option: Standard Conductor data

Conductor Data
Number of conductors (wires): 5

Wire	Phase Number	DC resistance [Ohm/km]	Outside diameter [cm]	Horizontal distance [m]	Vertical Height at tower [m]	Vertical Height at Midspan [m]
1	1	0.0449	3.51	8	25	25
2	2	0.0449	3.51	0	25	25
3	3	0.0449	3.51	-8	25	25
4	0	1.65	0.472	-5	30	30
5	0	1.65	0.472	5	30	30

Additional data for Wire 1

Skin effect correction

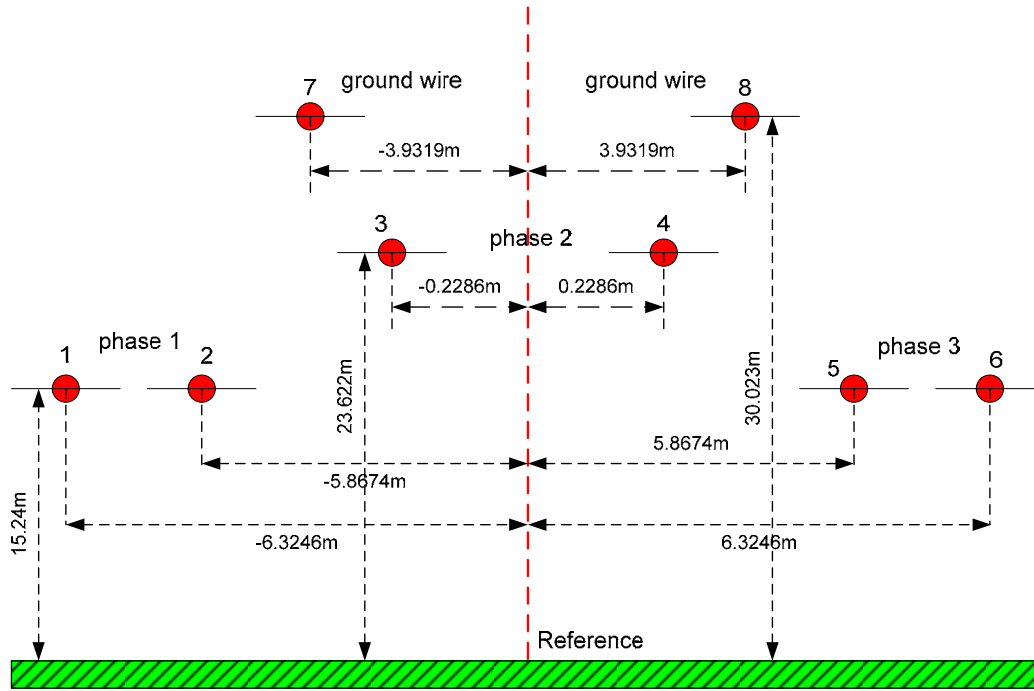
Thick/Diam: 0.33
 None
 Solid conductor
 Galloway Wedepohl
 Bundled Conductor

Tamam iptal

Şekil J.4 Tek devre 1272 MCM İletim hattı veri giriş penceresi

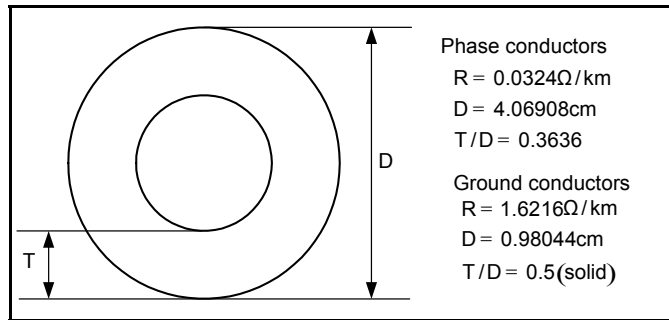
Giriş penceresinin conductor data Phase Number sütununda 0'lar toprak iletkenini göstermektedir. Hattımız tek devre olduğu için fazlar 1, 2, 3, olarak numaralanmış ve iki adet toprak teli de 0 olarak gösterilmiştir. DC resistance ile outside diameter değerleri ise **Tablo J.1** deki tablodan alınmıştır. Şekil J.5'de gösterilen iletkenler arası mesafeler ve ortalama direk boyları TEİAŞ Türkiye Ulusal Elektrik Ağındaki

Havai Hatların Trafoların ve Generatörlerin Elektriki Karakteristikleri kitabından alınmıştır.



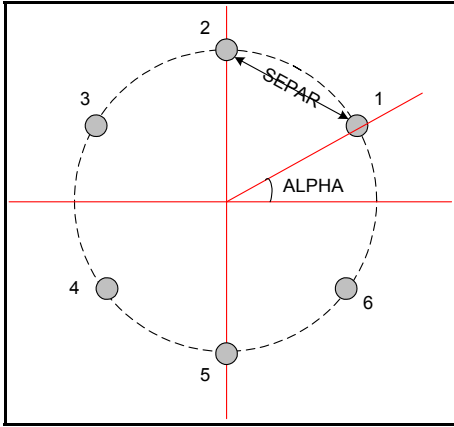
Şekil J.5 İletkenlerin direk üzerindeki konumları

Giriş penceresinde skin effect correction kısmında Thick/Diam (kalınlık/çap) seçilmiştir. Buna göre Tablo J.1 de görülen görülen alüminyum ve çelik çapları değerleri alınarak kalınlık/çap oranı hesaplanmıştır. 1272MCM için 0.33 477 MCM için 0.186 olarak hesaplanarak programa girilmiştir.



Şekil J.6 İletkenin kalınlık çap oranı

Modellenen iletim hatlarında demet iletken kullanılmamıştır. Kullanılması gerekse demet iletken aralığı ve iletkenlerin Şekil J.7 de görülen açılarının girilmesi gerekmektedir.



Şekil J.7 Demet iletkenlerin düzenlenmesi

ÖZGEÇMİŞ

Ali TORUŞ, 24.02.1980'de İstanbul'da doğdu. İlk ve orta eğitimini İstanbul Kadıköy'de tamamladı. 1998 yılında Kadıköy Kenan Evren Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. Ardından girdiği Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünden 2004 yılında mezun oldu. 2005 yılında TEİAŞ 5. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü emrinde elektrik mühendisi olarak göreve başladı. Birçok enerji iletim hattı yapımında kontrolör olarak görev yaptıktan sonra, 2007 yılında Trafo Merkezleri Tesis ve Kontrol Başmühendisi olarak görevlendirilmiş ve halen bu görevini sürdürmektedir.