

46958



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE HATLARIN MESAFE RÖLELERİ İLE KORUNMASI

Elek.Müh. Recep YUMURTACI

F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında

hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Erdin GÖKALP

İSTANBUL, 1995

**YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
ANTASYON MÜHÜRÜ**

İÇİNDEKİLER

ÖZET	V
SUMMARY	VI

BÖLÜM-1 KORUMA İLE İLGİLİ GENEL KAVRAMLAR

1.1	Giriş	1
1.2	Ana ve Yedek Koruma	3
1.2.1	Ana Koruma	3
1.2.2	Yedek Koruma	3
1.3	Koruma Sisteminden Beklenen Özellikler	5
1.3.1	Seçicilik	5
1.3.2	Hızlı Çalışma	7
1.3.3	Güvenilirlik	8
1.3.4	Koruma Sisteminin Yapısının Basit Olması	9
1.3.5	Koruma Sisteminin Ekonomik Olması	10
1.4	Koruma Sistemlerinde Kullanılan Cihazların Standart Numaraları	10

BÖLÜM-2 RÖLELERİN TEMEL YAPILARI VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

2.1	Giriş	12
2.2	Elektromekanik Röleler	16
2.2.1	Magnetik Çekmeli Röleler	17
2.2.1.1	Dalgıç Armatürlü Röle	18
2.2.1.2	Menteşe Armatürlü (Clapper) Röle	19
2.2.1.3	Polarize Röle	20
2.2.1.4	Terazi Kollu (Dengeli Kirişli) Röle	21
2.2.2	Magnetik İndüksiyon Röleleri	24
2.2.2.1	Disk Tipi İndüksiyon Rölesi	24
2.2.1.2	Silindir Tipi İndüksiyon Rölesi	28

2.2.3	Termik Röle	30
2.2.4	Magnetik Amplifikatörlü Röleler	30
2.2.4.1	Doyma Reaktörünün Çalışma Prensibi	33
2.2.4.2	Magnetik Amplifikatörlerin Rölelerde Kullanılması	37
2.3	Yarı iletken (Statik Röleler)	37
2.3.1	Giriş	37
2.3.2	Statik Rölelerin Üstünlükleri	38
2.3.3	Statik Rölelerin Sınıflandırılması	40
2.3.4	Statik Rölelerin temel Yapısı	41
2.3.4.1	Dönüştürme Elemanı	42
2.3.4.2	Ölçme Elemanı	43
2.3.4.3	Çıkış Elemanı	44
2.3.4.4	Besleme Elemanı	44
2.3.5	Statik Rölelerin Koruma Uygulamalarında Kullanılması	45
2.4	Rölelerin Karşılaştırmacı Olarak Kullanılması	50
2.4.1	Kompleks Düzlemler	52
2.4.2	Karşılaştırmacıların Genel Denklemi	53
2.4.3	Genlik Karşılaştırmacı	55
2.4.4	Faz Karşılaştırmacı	57
2.4.5	Rölelerin Genel Denklemi	59

BÖLÜM-3

MESAFE RÖLELERİ

3.1	Giriş	62
3.2	Mesafe Rölelerinin Çalışma Karakteristikleri	64
3.2.1	Empedans Rölesi	69
3.2.2	Reaktans Rölesi	75
3.2.3	Admittans (Mho) Rölesi	79
3.2.4	Offset Mho (Değiştirilmiş Empedans) Rölesi	82

3.2.5	Ohm Rölesi	84
3.3	Mesafe Rölelerinin Yapısı	85
3.3.1	Uyarma (Başlatma) Elemanı	85
3.3.1.1	Aşırı Akımla Uyarma	86
3.3.1.2	Düşük Empedansla Uyarma	88
3.3.2	Yön Elemanı	93
3.3.3	Ölçme Elemanı	100
3.3.3.1	Empedans Ölçme Organı	101

BÖLÜM-4

ENERJİ İLETİM HATLARINI MESAFE RÖLELERİ İLE KORUMA PRENSİPLERİ

4.1	Giriş	105
4.2	Mesafe Rölesi ile Korumanın Temelleri	106
4.3	K-DAR Mesafe Röleleri	111
4.4	Hattın Bir Uçtan ve Ortadan Beslenmesi Durumunda, Ortadan Beslemenin Mesafe Rölelerinin Çalışmasına Olan Etkisinin İncelenmesi	120
4.5	Hat Üzerinde Bir Noktadan Çıkış Yapan Dağıtım Transformatör Postalarının Etkisi	122
4.6	Mesafe Rölelerinde Bölge Uygulaması	124
4.7	Hat Başı veya Hat Sonunda gerilim Yükseltici veya indirici Güç İletim Transformatörü Bulunması Durumu	129
4.8	Ark Direncinin Mesafe Rölesinin Çalışmasına Etkisi	133
4.9	Mesafe Rölelerinin Kuranportörler ile Beraber Kullanılması	136
4.9.1	Hızlandırma Prensibi	137
4.9.2	Kilitleme Prensibi	138
4.10	Pratik Uygulamalarda Mesafe Rölelerinin kademelendirilmesi	138
	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	141
	KAYNAKLAR	143
	EK	145
	ÖZGEÇMİŞ	

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması sırasında yardımlarını esirgemeyen Yıldız Teknik Üniversitesi öğretim üyelerinden sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Erdin GÖKALP'e, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı Başkanı sayın hocam Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR'a ve sayın hocam Prof. Dr. Selim AY'a, çalışmalarında bana her zaman destek olan sevgili eşime, maddi zorluklara rağmen eğitimimi tamamlamamı sağlayan ve beni yetiştiren fedakar anneme ve babama, desteğini esirgemeyen değerli araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve eğitimim sırasında emeği geçen bütün öğretmenlerime teşekkürü bir borç bilirim.

Recep YUMURTACI

İSTANBUL, 1995

ÖZET

Elektrik güç sistemi normal olarak işlediği zaman koruma sistemine gerek yoktur. Koruma sistemi güç sisteminde bir hata meydana geldiği zaman gereklidir. Koruma sistemi bazı özelliklere sahip olmalıdır. Seçici olmalıdır; güç sisteminde bir hata meydana geldiği zaman koruma sistemi sadece hatalı kısmı güç sisteminden ayırmalıdır. Yapısı basit olmalı, minimum maliyet ile maksimum güvenilirlik sağlamalı, çalışma hızı yüksek olmalıdır.

Elektrik güç sistemlerinde hatların korunmasında yaygın olarak kullanılan uygun yöntemlerden biri mesafe röleleri ile korumadır. Mesafe rölesi, arıza noktası ile rölenin bulunduğu yer arasındaki elektrik devre uzunluğunun bir fonksiyonu olan giriş büyüklüğüne cevap veren bir koruma sistemi elemanıdır. Mesafe rölelerinin empedans, reaktans, direnç ve admittans ölçen farklı tipleri vardır. Esas olarak mesafe rölesi meydana gelen bir arızanın koruma bölgesinin içinde olup olmadığını tesbit eder.

Mesafe rölesi ile korumada hat üzerinde bir noktadan hattın beslenmesi (infeed) veya hat üzerinde bir dağıtım transformatör postası bulunması durumunda mesafe rölesi daha büyük bir empedans ölçer ve koruma mesafesi kısalmır.

Bu tez çalışmasında mesafe rölelerinin yapısı, çalışma karakteristikleri, bağlantıları, ve iletim hatların korunmasında mesafe rölelerinin kullanılması incelenmiştir. İletim hattının çeşitli durumlarına göre rölenin koruma mesafesinin değişimi incelenmiştir. Ek kısmında mesafe rölelerinin ayarlarıyla ilgili bir hesaplama örneği verilmiştir.

SUMMARY

Protective system is not necessary if power electric system operates correctly. It is needed when a fault occurs in power electric system. Protection system must have some properties. It has to have selectivity property, if there is a fault in power system then protection system is only tripped faulty element from system. Its structure must be simple, it must provide max reliability with minimum cost and it operates speedily.

In power electric system, most properly method commonly used to protect the lines is distance protection. A distance relay that responds to input quantities as a function of electrical circuit distance between the relay location and the point of faults is an element of protection system. There are many types of distance relays, measuring impedance, reactance, resistance and admittance. Basically, a distance relay compares the voltage and current of power system to determine whether a fault exists within or outside its operating zone.

In distance protection, the relay measures higher impedance if there is infeed on the transmission line or there is tapped transformer banks on the transmission line and therefore distance relay has lower protection distance.

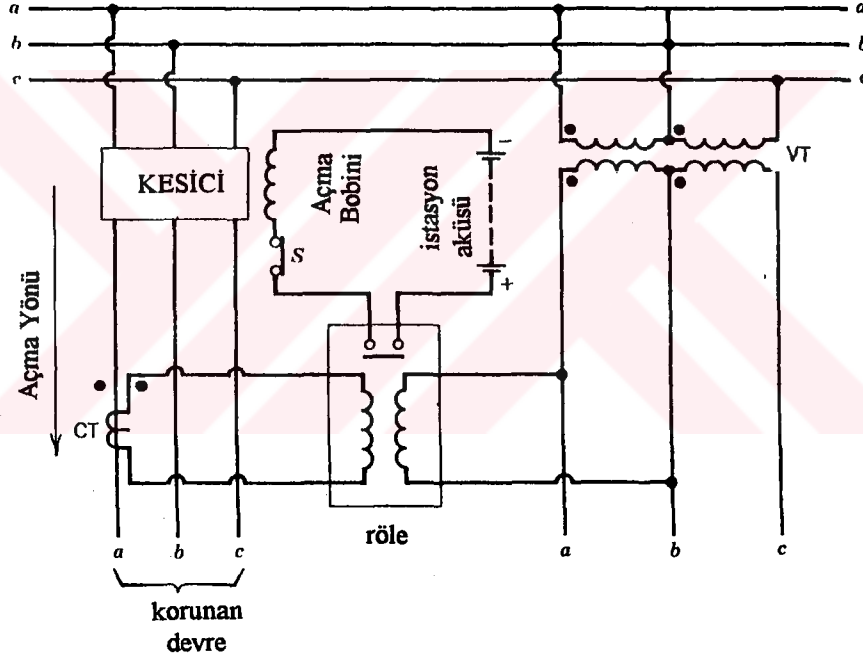
In this thesis study, structure of the distance relay, their operational characteristics, their connections and using of the distance relay to protect transmission lines are studied. Changing of the distance relay's reach for different cases of lines is studied.

BÖLÜM-1

KORUMA İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

1.1. Giriş

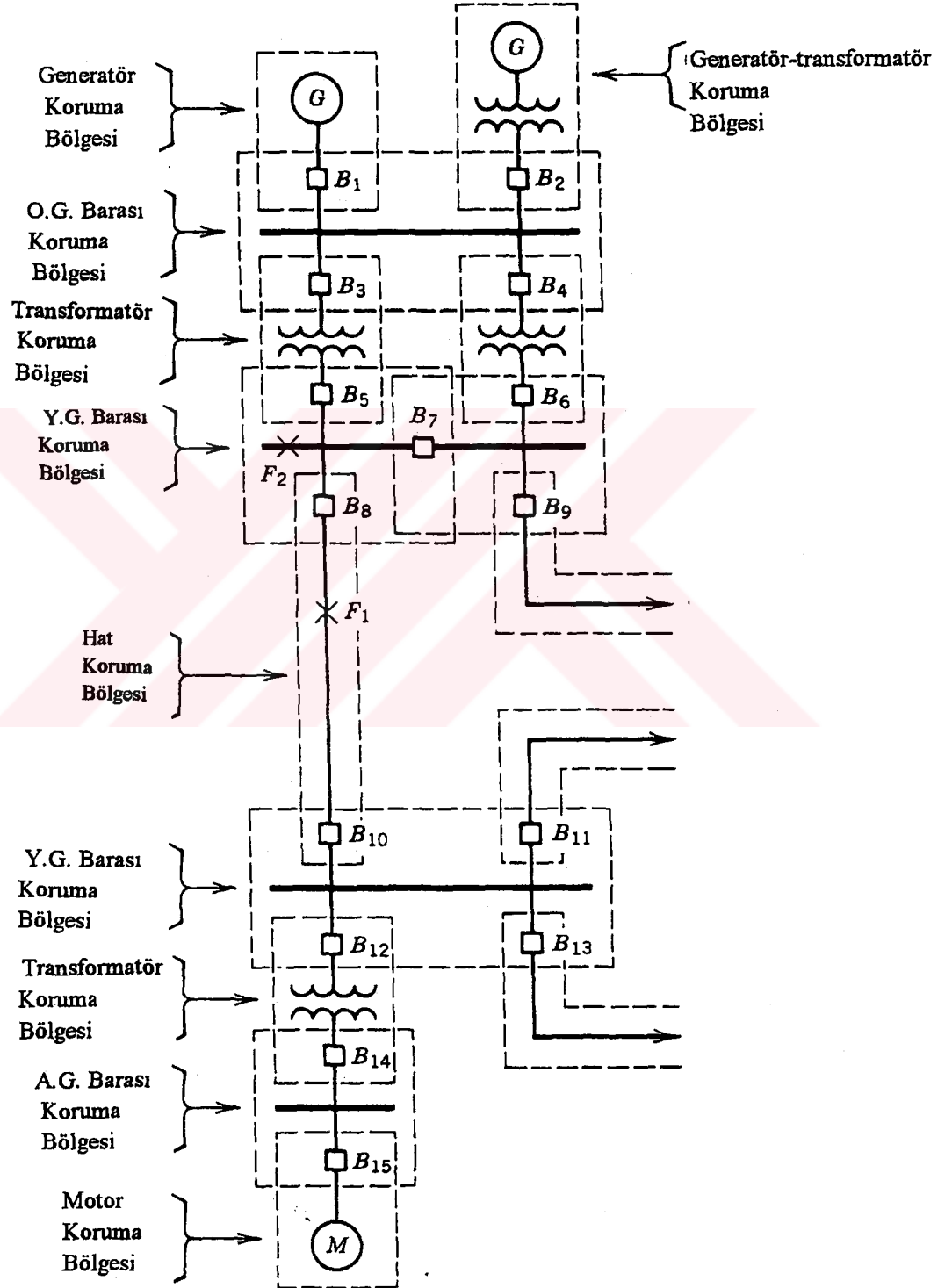
Elektrik güç sistemlerinde koruma, sürekli olarak güç sistemini gözleyerek bir hatanın varlığını saptama ve kesicilerin doğru olarak açılmasını sağlama tekniğidir. Bununla birlikte yalnız başına kesiciler, sistemdeki hatanın ortadan kaldırılmasına yeterli değildir. Bu amaçla kesiciler koruma röleleriyle 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.



Şekil 1.1 Koruma rölesinin elektrik güç sistemine bağlanması (Bir faz için)

Koruma sistemi, akım transformatörleri (CT), gerilim transformatörleri (VT) ve sistemin a.c. kısımları olarak bilinen röle bağlantıları ile istasyonun bataryalarından beslenen ve istasyonun bataryası ile kesici açtırma bobinini birbirine bağlayan, sistemin d.c. kısmı olarak bilinen koruma rölelerinden meydana gelir. Genel olarak bütün koruma röleleri iki pozisyonlu olur. (1) Kontak devresinin genellikle açık olduğu normal pozisyon, (2) Kontak devresinin genellikle kapalı olduğu hata pozisyonu. Şekil 1.1'de bir koruma rölesinin temel bağlantıları gösterilmiştir. Şekil 1.1'deki devrede kesici açıldıktan

sonra kesicinin S ile gösterilen yardımcı kontağı açılır, böylece endüktansı oldukça yüksek olan kesici açtırma bobininin enerjisi kesilir, kesici elle veya otomatik olarak tekrar kuruluncaya kadar kesici açık kalır.



Şekil 1.2. Elektrik Güç Sisteminin Koruma Bölgelerine Ayrılması

1.2. Ana ve Yedek Koruma

1.2.1. Ana Koruma

Ana korumada kesiciler güç sistem elemanlarının sisteme bağlandıkları noktalara yerleştirilir. Böylece sistemde bir hata olduğunda sadece hatalı eleman devreden çıkarılır. Şekil 1.2 de de görüldüğü gibi sistemde bir hata durumunda minimum enerji kesintileriyle uygun bir koruma sağlamak amacıyla elektrik güç sistemi aşağıda belirtilen koruma bölgelerine ayrılır.

1. Generatörler (Generatör-Transformatör grubu da olabilir.)
2. Transformatörler
3. Baralar
4. İletim hatları
5. Motorlar

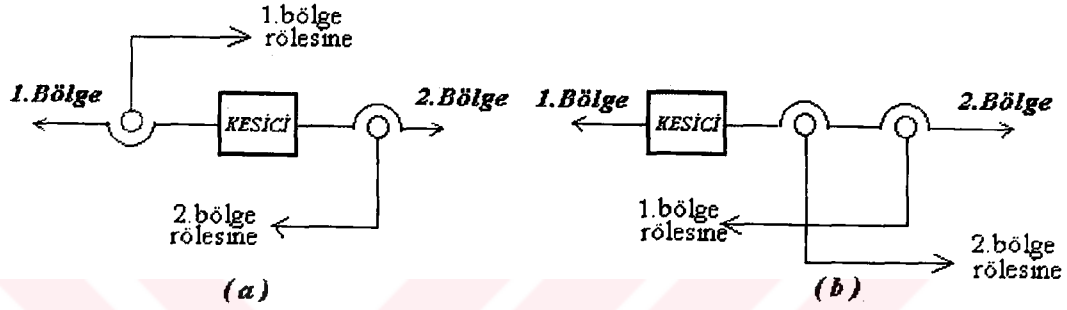
Şekil 1.2'de görüldüğü gibi her koruma bölgesinin bu bölgede meydana gelen hataları (arızaları) tesbit etmek için kendisine ait koruma röleleri ve yine bu bölgedeki hatayı sistemden ayırmak için kendi kesicileri vardır. Bu yüzden koruma bölgesi bir koruma sistemi ile korunan bir güç sisteminin parçası olarak tanımlanabilir.

Tasarımı iyi yapılmış bir koruma sisteminde bir koruma bölgesi içinde meydana gelen hatada bu bölgedeki bütün kesiciler açılacaktır. Ana koruma; normal olarak korunan bir bölgedeki hataya karşı cevap olarak çalışması beklenen koruma sistemi olarak tanımlanabilir. Şekil 1.2 'de görüldüğü gibi korunmayan bölge kalmaması için her bir koruma bölgesi diğer bir koruma bölgesi ile kesiştirilir. Akım transformatörlerinin bağlantıları yardımıyla bir kesici etrafındaki koruma bölgelerinin birbiriyle kesiştirilme prensibi şekil 1.3 de gösterilmiştir. Şekil 1.3a ve şekil 1.3b'de kesicilerin canlı tank ve ölü tank bağlantıları gösterilmiştir. Her iki bağlantı türü de yüksek gerilimli enerji iletim sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Akım transformatörleri arasında meydana gelen herhangi bir hatada birinci ve ikinci bölge rölelerinin her ikisi de çalışacaktır ve her iki bölgedeki bütün kesiciler açılacaktır. Örneğin F1 noktasında bir hata meydana gelirse B8 ve B10 kesicilerinin açılması gerekir. F2 noktasında bir hata meydana gelirse bu durumda B5, B7 ve B8 kesicileri açılmalıdır.

1.2.2 Yedek Koruma

Ana koruma sisteminde koruma rölesi veya kesicinin işletme sırasında arızalanması durumunda arızalı bölgeyi sistemden ayırmak için yedek koruma sisteminden

yararlanılır. Yedek koruma ana korumanın çalışmadığı yer ve durumlarda çalışarak hatalı olan güç sistemi kısmını sistemden ayıran koruma türü olarak tanımlanabilir. Gerekli olan yedek koruma düzeni genellikle bir sonraki komşu istasyona yerleştirilir. Ana ve yedek koruma düzenlerinin farklı yerlere yerleştirilmesi büyük hata akımları sebebiyle ana ve yedek koruma düzenlerinin aynı anda bozulmasını önleyecektir. Böyle yerleştirme yapıldığı zaman bu tip yedek koruma düzenine "Uzaktan yedek koruma" denir. Uzaktan yedek koruma düzeni yavaş çalışır ve güç sisteminin hatalı olan kısmından fazlasını devreden çıkarır.



Şekil 1.3 Kesici çevresindeki koruma bölgelerinin kesiştirilme prensibi

Uzaktan yedek koruma yavaş çalışır. Örneğin şekil 1.2 deki sistemde hat koruması mesafe röleleriyle yapıldığında B8 kesicisine yakın yerdeki bir hatada yedek koruma sisteminin hatayı ortadan kaldırması 0.25 ile 0.50 saniye arasında değişir. Oysa B10 kesicisi yakınındaki bir hatanın ortadan kaldırılma süresi 1 ile 3 saniye arasında değişir. Yedek koruma düzeni aşırı akım röleleriyle gerçekleştirilirse bu süreler daha da uzar. Ana ve yedek koruma sistemini koordine etmek için gerekli olan gecikme zamanına "koordinasyon zaman gecikmesi" denir. Bugün enterkonnekte şebekelerin çok karmaşık olması sebebiyle koruma rölelerini koordine etmek için en uygun koordinasyon durumunun bulunması için bilgisayar programları kullanılır.

Şekil 1.2'de F2 noktasındaki bir hatada B8 kesicisinin açılması gerekirken bu kesici açılmazsa B8 kesicisinin yerine B10 kesicisi açılır. Birçok uygulamada yedek koruma görevi yapan kesiciler, ana koruma görevi yapan kesicilerin önce açılması için yeteri kadar zaman gecikmeli olarak çalışacak şekilde donatılırlar.

Genel olarak yedek koruma, ana koruma sistemi ve kesicilerin arızalı olması durumunda gereklidir. Koruma rölelerinin arızalanarak çalışmama sebepleri şunlardır: Rölenin kendisi arızalı olabilir, yardımcı cihazlar arızalı olabilir, akım ve gerilim transformatörleri ile bunların bağlantıları arızalı olabilir. Kesicinin arızalanarak çalışmama

sebepleri ise; kesicinin güç kontaklarının açma-kapama sırasında arızalanması, açma mekanizmasının arızalanması veya kesici açtırma bobinini besleyen d.c. kaynağın arızalı olmasıdır. Bu yüzden yedek koruma devresi, kesici için yedek koruma sağladığı kadar röle için de yedek koruma sağlamalıdır. Yedek koruma rölelerinin, (1) Ana koruma rölesi arızalı iken kesiciyi açtıran, (2) Hatanın meydana geldiği bölgenin kesicisi açılmadığı zaman aynı baradaki bir sonraki kesiciyi açtıran ve (3) Bir sonraki istasyonda bulunan ve burada çalışarak kaynağa (generatöre) doğru röle ve kesicinin her ikisini de koruyan yedek röle olmak üzere üç türü vardır.

Yedek korumanın daha hızlı çalışması gerekiyorsa, yedek koruma düzeni ana koruma düzeniyle aynı yere yerleştirilir ve buna "lokal yedek koruma" denir. Bugün elektrik güç sistemlerinde çok sayıda santralin enterkonnekte şebekeye bağlanmasıyla hata akımı yolları artmakta ve hatlar daha çok yüklenerek sistem daha karmaşık hale gelmektedir

1.3. Koruma Sisteminden Beklenen Özellikler

Koruma düzenlerinin görevi, işletme elemanları ile elektrik tesis ve şebekelerinde ortaya çıkan hataları ve bunların çeşitlerini gözlenen elektrik büyüklükleri yardımıyla çabuk ve güvenilir olarak tesbit etmek ve gerektiğinde hatalı işletme elemanını devre dışı bırakarak enerjinin olanaklar içinde sürekli olmasını sağlamaktır. Bu görevi yerine getirmesi beklenen koruma sisteminin;

1. Seçicilik
2. Hızlı çalışma
3. Güvenilir çalışma
4. Ekonomik olma
5. Yapısının basit olması özelliklerine sahip olması gerekir.

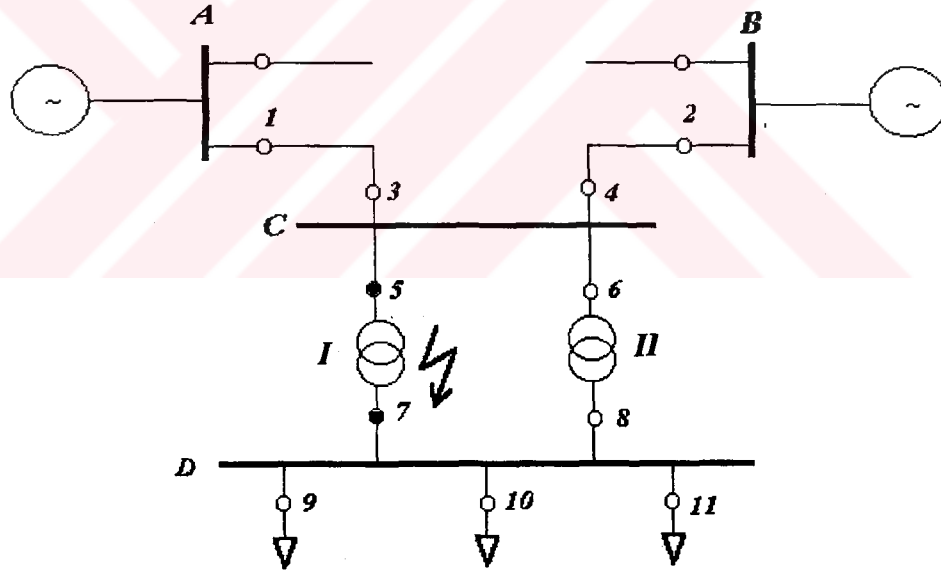
1.3.1 Seçicilik

Korumanın seçici olması, hatanın, çeşidi ve yerine göre doğru tesbit edilmesinden sonra açma işleminin çok az bir tesis kısmı, hatta yalnız hatalı işletme elemanı devre dışı kalacak ve güç sisteminin diğer kısımlarında işletmeye devam edilebilecek şekilde yapılması demektir. Ekonomik işletme dolayısıyla hemen her elemanı anma güçleri

seviyesinde yüklenen günümüzün gelişmiş dağıtım şebekelerinde seçici olmayan bir koruma sisteminin gerçekleştirdiği açma işlemi kolaylıkla aşırı yüklenmelere ve şebekenin çökmesine neden olabilmektedir.

Korumanın seçicilik özelliğinden beklenen diğer bir görev kısa süreli kesintiler için hatalı iletkenin tesbitidir. Y.G. şebekelerindeki bir kutuplu toprak kısa devrelerinde koruma düzeni, hatalı iletkeni tesbit ettikten sonra yalnız bu iletkenin kısa bir süre (100-300 ms) gerilimsiz kalmasını sağlar. Bir kutuplu kısa devreler çoğu kez bir ark ile olduğundan gerilimsiz bırakılan süre içinde, hata yerindeki iyonlaşmanın dağılmasıyla, arkın tekrar tutuşması önlenmiş olur. Seçici korumada hatalı iletkenin dolayısıyla hata çeşidinin tesbiti, koruma düzeninin uyarma devresi tarafından yapılır.

Seçicilikle ilgili olarak şekil 1.4'de gösterilen örnekte, Y.G. şebekesinde D barasından çıkan hatlar I ve II transformatörleri üzerinden beslenmektedir. Gerekli enerji transformatörlerin primer taraflarındaki A ve B baralarına bağlı santrallerden sağlanmaktadır.



Şekil 1.4 Y.G. şebekesinde seçici koruma

o Röle ve kesiciler

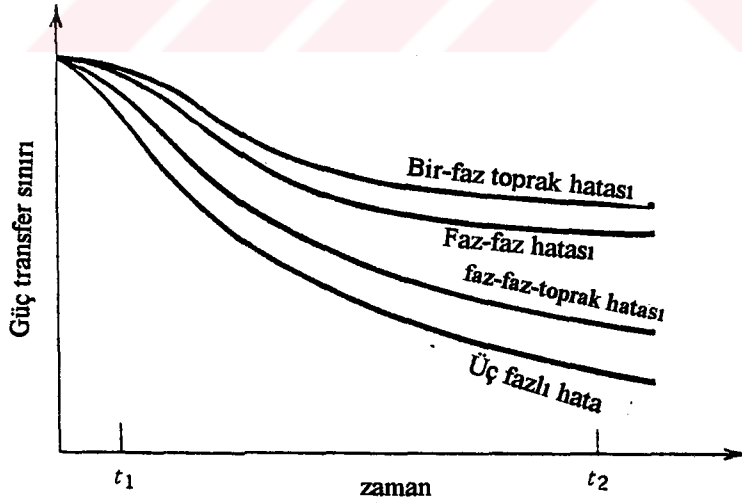
● Açma yapan röle ve kesiciler

I transformatöründe meydana gelen bir iç arızada korumadan istenen yalnız hatalı I transformatörünün, 5 ve 7 kesicileri tarafından devre dışı edilmesidir. Bu durumda C ve D baralarının gerilimleri kesilmediği için santrallerin paralel işletilmesi ve tüketicinin

beslenmesinin sürekliliği sağlanmış olur. 5 ve 7 kesicilerinden örneğin 7 kesicisinin herhangi bir nedenle çalışmaması ve açma yapmaması durumunda, hata yerinin beslenmesi ancak D barasının gerilimsiz bırakılmasıyla sağlanabilir. Bunun için 6 ve 8 kesicilerinden biri belli bir gecikme ile açmalıdır. 9, 10 ve 11 kesicileri üzerinden hata yerinin beslenmesi olanaksız olduğundan bu kesiciler kapalı kalabilir. Sonuç olarak C barası gerilimsiz kalmamış ve en azından santrallerin paralel çalışması etkilenmemiş olur. Eğer 7 kesicisi yerine 5 kesicisi çalışmayıp açma işlemini yapmayacak olursa, C barası ya 3 ve 4 veya 1 ve 2 kesicileri tarafından gerilimsiz bırakılmalıdır. Bu durumda seçici korumadan, hiç olmazsa A ve B baralarının gerilim altında tutulması istenir.

1.3.2 Hızlı Çalışma

Korumadan beklenen ikinci bir özellik hızlı çalışmadır. Herhangi bir işletme elemanındaki hata çok çabuk tesbit edilir ve bu işletme elemanı devre dışı bırakılırsa, büyük kısa devre güçlerine rağmen ortaya çıkacak arızalar ve bunların onarımı için geçecek zamanla, yapılacak masraflar azalır. Ayrıca hatanın kısa sürede ortadan kaldırılması şebekenin dinamik kararlılığının devamını sağlar ve hata tüketiciler tarafından farkedilmez.



Şekil 1.5 Hatanın ortadan kaldırılma süresinin fonksiyonu olarak sistemde iletebilecek güç değişimi

Koruma sisteminin bir hata durumunda minimum zaman içinde ve hata sebebiyle donanımına gelecek zarar da minimum olacak şekilde mümkün olduğu kadar çabuk olarak hatalı elemanı sistemden ayırma yeteneğine "koruma sisteminin hızlı çalışması " denir. Koruma röleleri istenen uygun hızda çalışabilmelidir. Rölenin hızı, ne donanımın hata sebebiyle zarar göreceği kadar yavaş olmalı ve ne de geçici hatalarda istenmeyen açmalara sebep olacak kadar da hızlı olmalıdır. Koruma düzeninin çalışma hızı, güç sisteminin kararlılığını da doğrudan etkiler. Sistemde herhangi bir hatanın ortadan kaldırılma süresi kısaldıkça, sistemde senkronizasyonu kaybetmeden verilen noktalar arasında daha fazla güç iletilebilir.

Şekil 1.5'de çeşitli hata tipleri için, sistemde iletilebilecek gücün hatanın ortadan kaldırılma süresine göre değişimi gösterilmiştir. Şekilde de açıkça görüldüğü gibi hatanın ortadan kaldırılma sürelerinden t_1 süresi t_2 süresinden daha kısadır ve t_1 süresinde iletilen güç daha büyüktür. Güç sistemlerinde hatanın ortadan kaldırılma süresi oldukça küçüktür (60 Hz temel frekansında yaklaşık 3 periyod) bu nedenle sistemde güç aktarımı maksimumdur. Şekil 1.5'de görüldüğü gibi aynı t_1 süresi için iletilen gücün en az olduğu dolayısıyla en şiddetli hata tipi üç fazlı hatadır. İletilen gücün en fazla olduğu, başka bir deyişle en hafif hata tipi bir faz toprak hatasıdır.

Korumanın yukarıda açıklanan seçicilik ve hızlı çalışma özellikleri bazı durumlarda birbirlerine ters düşerler. Koruma planı hazırlanırken bu iki özellikten birine öncelik vermek gerekebilir. Bu durumda korunacak işletme elemanının özellikleri ve bunun birlikte çalıştığı diğer tesis elemanları ile işletme koşulları gözönünde bulundurulmalıdır. Pratikte genellikle seçiciliğe öncelik tanınır. Korumanın seçici, fakat hızlı olamayacağı durumlarda ek düzenlerle bu iki özelliğin birbiriyle uyushması sağlanabilir.

1.3.3 Güvenilirlik

Bir cihazın veya tesisin güvenilirliği, onun işletme süresi boyunca kalitesini belirler. Bu tanıma göre koruma düzenleri de röleleri, yardımcı besleme devreleri, açma devreleri, güç şalterleri ve kesicileri ile birlikte güvenilir olarak çalışmalıdır. Sayılan her bir cihazın güvenilirliği koruma düzeninin toplam güvenilirliğini belirler. Toplam gözleme süresi içinde koruma sisteminin yanlış açma sayısının, bu sürede ortaya çıkan toplam hata

sayısına oranı korumanın güvenilirliği hakkında bir fikir verebilir. Bir koruma düzeninin yanlış çalışma durumları üç grupta toplanabilir.

1. *Gereksiz açma:* Ortada herhangi bir hata olmadığı halde rölenin açma işlemi yaptırmasıdır.
2. *Hata durumunda yanlış açma:* Rölenin yanlış ölçme yapması veya yanlış ayarlanması durumunda seçici olmayan açma işlemidir.
3. *Açma yapmama:* Hata ortaya çıktığı halde rölenin açma kumandası vermemesidir.

Hatalı çalışma durumlarının nedenleri çeşitli teknik arızaların yanısıra rölelerin hesabı, yapılışı, bağlantısı ve ayarı sırasında yapılabilecek hatalar olabilir.

Bir koruma işleminin güvenilirliği, aynı koruma işlemi yapan farklı metodlarla çalışan iki hatta üç ayrı koruma düzenini paralel çalıştırarak artırılabilir. Ekonomik bakımdan bu çareye, ancak korunan elemanın önemi gözönünde tutularak başvurulabilir. Diğer taraftan bu önlem, gerektiğinde açmama durumlarını azaltırken gereksiz açma durumlarını arttırmamalıdır. Bunu gerçekleştirmek için paralel çalışan iki koruma sisteminin her ikisinin birden veya üç koruma sisteminden en az ikisinin açma kumandası vermesi halinde son açma işleminin yapılması yoluna da gidilmiştir. Paralel çalışan koruma düzenlerine örnek olarak hatlarda diferansiyel, mesafe ve Bucholz rölelerinin, beraber çalışmaları gösterilebilir. Paralel çalışan koruma düzenleri tamamen bağımsız çalışmalı, yani ölçü transformatörleri, yardımcı besleme devreleri vb. her koruma sistemi için ayrı olmalıdır. Ancak bu amaçla güç şalterlerinin veya kesicilerin de iki katına çıkartılması hiçbir zaman düşünülemez.

1.3.4. Koruma Sisteminin Yapısının Basit Olması

Koruma sisteminin minimum eleman ve devre ile meydana getirilmiş olması bu sistemin tasarımının iyi yapılmış olduğunun bir belirtisidir. Bununla beraber en az sayıda elemanla gerçekleştirilmiş ve maliyeti de son derece düşük, yapısı basit olan bir koruma sisteminin güvenilirliği az ise, bu koruma sisteminin koruduğu donanımda büyük hasarlar meydana geliyorsa o zaman bu koruma düzeni ekonomik olmaz. Bu takdirde koruma

sisteminin yapısının basit olması ile güvenilir olması arasında optimum bir çözüm bulmak gerekir. Ancak şu da unutulmamalıdır ki; bir koruma sistemi az elemandan oluşmuş ise, sistemin yapısı basit ise bu sistemde arıza olma olasılığı da daha az olur ve sistemin bakım ve kontrolü ile işletme esnasında sistemde meydana gelen arızaların giderilmesi de çabuk olur.

1.3.5. Koruma Sisteminin Ekonomik Olması

Koruma sisteminin ekonomik olması, minimum maliyet ile maksimum korumanın sağlanmasıdır. Maliyeti çok yüksek fakat çok güvenilir bir koruma sistemi tasarımı yapmak mümkündür. Ancak ideal olan, mümkün olduğu kadar ucuza malolan ve güvenilirliği de yüksek olan bir koruma sistemi gerçekleştirmektir.

Güç sistemi normal olarak çalıştığı zaman korumaya gerek yoktur. Koruma sadece sistemde bir hata meydana geldiği zaman gereklidir. Başlangıçta koruma sisteminin tesis edilmesine ve daha sonra da işletme sırasında sistemin bakımına yatırılan para, bir hata durumunda sistemin kararlılığının bozulmaması ve sistemde hata sebebiyle meydana gelecek zararın minimuma indirilmesi olarak geri dönecektir. Koruma sisteminin maliyeti, korunan sistemdeki elemanların toplam bedeline göre oldukça düşüktür. Sonuç olarak koruma düzenleriyle donatılmış elektrik güç sistemlerinde koruma için harcanan para oranında tüketicilere verilen enerjinin sürekli olması sağlanır ve iş gücü kaybı azaltılır.

1.4. Koruma Sistemlerinde Kullanılan Standart Cihaz Numaraları

- | | |
|----|--|
| 1 | Ana eleman, elle kumandalı güç şalteri |
| 2 | Gecikmeli başlatma veya kapama rölesi |
| 3 | Kontrol ve kilitleme rölesi |
| 4 | Ana kontaktör |
| 9 | Enversör şalter |
| 21 | Mesafe rölesi |
| 27 | Düşük gerilim rölesi |
| 30 | Alarm rölesi |
| 32 | Yönlü güç rölesi |
| 36 | Polarite cihazı |
| 37 | Düşük akım veya düşük güç rölesi |

47	Faz sırası gerilim rölesi
50	Ani aşırı akım rölesi
51	a.c. zaman gecikmeli aşırı akım rölesi
52	a.c. kesici
54	Yüksek hızlı d.c. kesici
55	Güç faktörü rölesi
57	Topraklama şalteri
59	Aşırı gerilim rölesi
64	Toprak koruma rölesi
67	a.c. yönlü aşırı akım rölesi
76	d.c. aşırı akım rölesi
78	Faz açısı ölçme rölesi
80	Frekans rölesi
87	Diferansiyel koruma rölesi
89	Ayrımcı
91	Gerilim yön rölesi
94	Yardımcı açtırma rölesi

BÖLÜM-2

RÖLELERİN TEMEL YAPILARI VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

2.1. Giriş

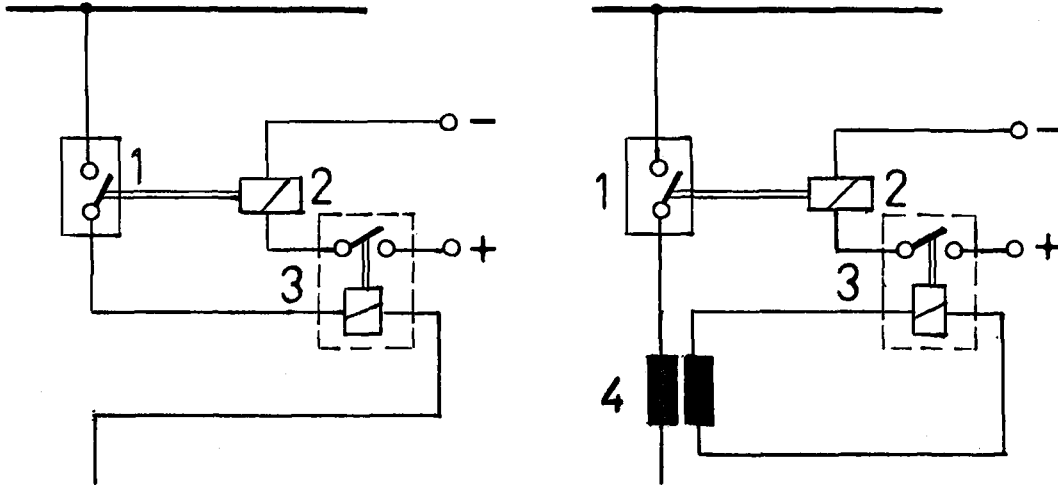
Röleler, giriş uçlarındaki elektriksel büyüklüklere bağlı olarak çıkış uçlarındaki bir elektrik devresine kontakları ile kumanda eden koruma elemanlarıdır.

Kontrol altına alınmak istenen elektriksel büyüklüklerin koruma rölelerinin girişlerine doğrudan veya bir gerilim yada akım ölçü transformatörü üzerinden uygulamasına göre röleler primer ve sekonder olmak üzere ikiye ayrılır. Bunlardan primer röleler, elektriksel büyüklüklerin röleye girişlerine doğrudan uygulandığı rölelerdir. (Şekil 2.1a) Bu rölelerde arada bir dönüştürme elemanı (ölçü transformatörü) olmadığı için hata daha azdır. Ancak bu rölelerin izolasyon problemleri ve personelin güvenliği nedeniyle yüksek gerilim sistemlerinin korunmasında kullanılması zor olduğu için kullanım alanları azdır.

Elektriksel büyüklüklerin ölçü transformatörleri üzerinden uygulandığı rölelere sekonder röleler denir. Şekil 2.1b'de gösterilen bir sekonder rölenin ana akım devresinden ölçü transformatörleri ile ayrıldığı görülmektedir. Sekonder rölelerin kullanılmasındaki faydalar şöyle sıralanabilir:

1. Yüksek gerilim, koruma düzeneklerinden ayrılmıştır. Böylece röleler ana akım devresinin manyetik tesiri ile termik ve dinamik zorlanmalardan korunmuş olur.
2. Ana akım devresini kesmeden rölenin ayarlanması, değiştirilmesi veya bağlantılarının yapılması ve muayene edilmesi mümkündür.
3. Ölçü büyüklükleri küçük değerli olduğundan bu röleler ucuz olarak imal edilebilirler.
4. Daha hassas elemanlarla ölçü doğruluğu arttırılabilir.

Koruma tekniğinde röleler için özel olarak kullanılan terimler vardır. Rölenin yapılışına ve çeşitlerine geçmeden önce bu terimlerin açıklanması yararlı olacaktır.



Şekil 2.1. Röleler

a) Primer Röle

b) Sekonder Röle

1. Kesici

2. Kesici Açma Bobini

3. Koruma Rölesi

4. Akım Transformatörü

Röle tekniğindeki en önemli terimlerden biri *faaliyete geçme* terimidir. Ölçülen büyüklüğün (faaliyete geçme büyüklüğü) belirli bir değer alması halinde faaliyete geçme işlemi başlar ve röle sükunet konumundan faaliyet konumuna geçer. Bu büyüklüğün herhangi bir nedenle rölenin ayar sınırının altına inmesi yani eski değerini almasıyla röle çalışma konumundan sükunet konumuna geri döner. Buna *geri dönüş* adı verilir. Geri dönüş değerinin faaliyete geçme değerine oranı *geri dönüş oranı* olarak tanımlanır. Bunun tersi *tutma oranı*'dır. Ölçülen büyüklüğün belirli bir değeri aşması ile faaliyete geçen ölçme rölelerinde tutma oranı daima 1'den büyük olup 1,05-1,3 oranında değişir.

Koruma rölelerinde önemli olan diğer bir zaman terimi *kumanda zamanı*'dır. Bu terim ölçme büyüklüğünün rölenin ayar büyüklüğünü aştığı andan itibaren, rölenin

kontakları vasıtasıyla açma kumandası verdiği ana kadar geçen zamanı tanımlar. *En kısa kumanda zamanı* çeşitli röle kısımlarının faaliyete geçme zamanlarına olduğu kadar ölçülen büyüklüğün faaliyete geçme anındaki değerine de bağlıdır. Rölelerin kumanda zamanları mekanik veya elektronik elemanlarla geciktirilebileceği gibi (gecikmeli röleler), ek olarak kullanılan zaman röleleriyle de ayar edilebilir. Gecikmeli röleler, gecikme süreleri belirli olup ayar edilemeyen rölelerdir.

Hatanın ortadan kalkması bakımından önemli olan bir diğer zaman terimi *toplam açma zamanı*'dır. Bu zaman, koruma için tespit edilmiş faaliyete geçme değerinin ortaya çıkmasından hata akımının güç anahtarı yada kesici tarafından kesildiği anın sonuna kadar geçen süre olup rölenin kumanda zamanı ile anahtarın açma zamanının toplamından ibarettir.

	DIN	BS	ANSI	IEC
a				
b				
c				

Şekil 2.2. Kontak çeşitleri

- a) Çalışma kontağı (Normalde açık)
- b) Sükunet kontağı (Normalde kapalı)
- c) Durum değiştirme kontağı

Röleler çıkış uçlarındaki kontaklar vasıtasıyla bir elektrik devresine kumanda ederler. Röle kontaklarının çeşitleri şekil 2.2'de gösterilmiştir. Bu kontaklar mekanik olarak yapılabileceği gibi transistör, triak, tristör vb. elektronik elemanlarla da yapılabilirler.

Çalışma kontağı, röle faaliyete geçmeden önce açık olan kumanda zamanı sonunda kapanan kontak çeşididir. *Sükunet kontağı*, röle faaliyete geçmeden önce kapalı olan, kumanda zamanı sonunda açılan kontak çeşididir. *Durum değiştirme kontağı*, çalışma ve sükunet kontaklarının biraraya gelmesiyle ortaya çıkar ve kumanda zamanı sonunda sükunet kontağı açılır, çalışma kontağı kapanır.

Rölelerin tarihi gelişimine bakılırsa, ilk zamanlar ortaya çıkarılan ve bugün de gelişmiş tipleri hala kullanılan elektromekanik rölelerin yanısıra, rölenin hızlı çalışmasını temin etmek amacıyla vakumlu tüpler kullanılarak röle ve röle sistemleri geliştirilmişti ancak bunlar hiçbir zaman elektrik devrelerinin korunmasında kabul görmedi. Vakumlu tüplerin çalışması sırasında zaman zaman görülen yanmalar, tecrübelerle tespit edilmiş olan çalışma esnasında tüpün karakteristiklerinin sabit kalmayarak değişmesinden kaynaklanan belirsizlikler bu rölelerin güç sistemlerinin korunmasında kullanılmasını imkansız hale getirmiştir.

Son zamanlarda güç sistemlerinin korunmasında kullanılan son derece hızlı ve kullanışlı statik röleler de denilen yarı-iletken röleler geliştirilmiştir. Röleyi oluşturan elemanların karakteristiklerinde sıcaklık değişimleri ve elemanın yaşlanması dolayısıyla oluşan değişimlerden kendi çalışma karakteristikleri hiç etkilenmeyen devre tasarımları yapılmıştır. Yarı-iletken rölelerin cevap süresi istenildiği kadar kısa yapılabilir ancak pratikte yarı iletken rölelerin temel elemanlarının cevap süresi o kadar kısa olur ki, başka bir deyişle bu elemanlar o kadar hızlı çalışırlar ki, çoğu zaman güç sistemlerindeki geçici olaylardan dolayı yanlış çalışmaları önlemek için ilave bir zaman geciktirme devresine ihtiyaç duyulur. Röle uygulamalarında ihtiyaç duyulan değişik fonksiyonlar, herbiri farklı olarak tasarlanmış ve yarı-iletken elemanlarla gerçekleştirilmiş devrelerden elde edilir. Entegre devreler daha büyük güvenilirlik ve esneklikle bu devrelerde yer almaktadır.

Elektrik güç sistemlerinin koruma prensipleri uygulamaya yönelik röle tasarımlarından tamamen bağımsızdır. Örneğin bir elektrik makinası veya devresindeki akım müsaade edilen toleranstan da büyükse bu durumda bir düzeltme etkisine ihtiyaç duyulur. Kabul edilen çalışma şartlarına uyan ve başlangıç düzeltme etkisini yapan cihaz,

gerçekleştirdiği fonksiyon mekanizması dikkate alınmadan bir aşırı akım rölesi olarak tanımlanır.

2.2. Elektromekanik Röleler

Koruma röleleri genel olarak yapılarına, gerçekleştirdikleri fonksiyonlarına ve uygulama alanlarına göre sınıflandırılır. Röleler yapılış şekillerine göre elektromekanik ve yarı-iletken (statik) olmak üzere iki gruba ayrılır. 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 yarı-iletken rölelerde, lojik kapıların yanı sıra, analog devreler de vardır ve bu röleler yardımıyla istenen çıkış karakteristiği elde edilebilir. Bugün yaygın olarak kullanılan elektromekanik rölelerin kullanılmasının zor olduğu yerlerde (yüksek gerilim veya çok yüksek gerilim enerji nakil hatlarının faz karşılaştırıcı ile korunması vs.) yarı-iletken röleler en önemli koruma elemanı olarak kullanılmaktadır. Faz veya genlik karşılaştırıcı olarak çalışan transistörlü röleler, elektromekanik rölelerden daha küçük, ucuz, hızlı ve daha güvenli olarak yapılabilir. Yarı-iletken röleleri 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. Yarı-iletken 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, yarı-iletken rölelerin ölçü transformatörlerinden gelen herhangi bir hata bilgisine karşı cevap süresi elektromekanik rölelerden çok çok kısadır.

Bu çalışmada elektromekanik röleler, magnetik çekmeli röleler, magnetik indüksiyon röleleri, magnetik amplifikatörlü röleler ve termik röleler olmak üzere dört kısımda ele alınacaktır.

2.2.1. Magnetik Çekmeli Röleler

Prensip olarak magnetik çekmeli röle, bir bobinin içinde bulunan magnetik bir devre ve karşısındaki bir paletten meydana gelir. Palet magnetik malzemeden yapılmıştır ve hareketli kontaklara kumanda eder. Palet, kontakların hareketini engelleyecek yönde kuvvet uygulayacak bir yay yardımıyla belirli bir konumda tutulur. Magnetik alanı meydana getiren bobinden geçen akım belirli bir değere yükseldiği zaman meydana gelen çekme kuvveti yayın ters yönde palete uyguladığı kuvveti yenerek paleti çeker ve palete mekanik olarak bağlı olan kontaklar açılır veya kapanır. Bu düzen pek çok yerde hala kullanılmaktadır. Kullanılma sebebi, imalatının kolay olması, hızlı oluşu, sarfiyatının az olmasıdır. Ayrıca bu rölelerde geri dönüş oranı diğer elektromekanik röle tiplerine nazaran daha büyüktür. Rölenin çalışmasını sağlayacak minimum akıma çalışma akımı denir. Bobininden akım geçmesi sonucu çalışarak kontağı konum değiştirmiş olan bir rölenin bobininden geçen akım sürekli olarak azaltıldığı takdirde rölenin kontağını bıraktığı anda bobinden geçen akıma geri dönüş akımı denir. Bu akım çalıştırma akımından küçüktür.

Özellikle darbeli akım çekilen yerlerde rölenin geri dönüş akımının çalışma akımına yakın olması yani ikisi arasındaki farkın az olması istenir. Çalışma ve dönüş akımlarının eşit olması hali ideal haldir. Fiderden herhangi bir şekilde darbeli bir akım çekildiği zaman bu akımın genliği aşırı akım rölesini çalıştıracak kadar yüksek olabilir. Darbe akımı kısa süre sonra çalıştırma akımının %90'ına kadar düşse, eğer rölenin geri dönüş akımının %80'i ise röle kontağı çekili kalacak ve arıza olmadığı halde röle kontağının kapalı kalması sonucu o kısmın kesicisinin gereksiz yere açmasına sebep olarak istenmediği halde o bölgenin enerjisiz kalmasına neden olacaktır. Mevcut elektrik güç sistemlerinde bu tip arızalarla çok sık karşılaşilmektedir.

Magnetik elemanın hareketli armatürünün çekme kuvveti (2.1) formülü ile ifade edilebilir.

$$F = \frac{2 \pi (N I)^2}{A \left(R_0 + \frac{X}{A} \right)^2} \quad (2.1)$$

F = Çekme kuvveti..... [N]

N = Bobinin sarım sayısı

I = Bobinden geçen akım..... [A]

A = Kutup yüzeyi..... [m²]

R₀ = Demir nüvenin relüktansı..... [A/Wb]

X = Kutup merkezindeki hava aralığı..... [m]

Rölenin kontağı çekmemiş iken, açık konumlu R₀, (X/A)'ya göre çok küçük olduğu için R₀'ı ihmal edersek (2.1) bağıntısı (2.2) bağıntısı haline gelir.

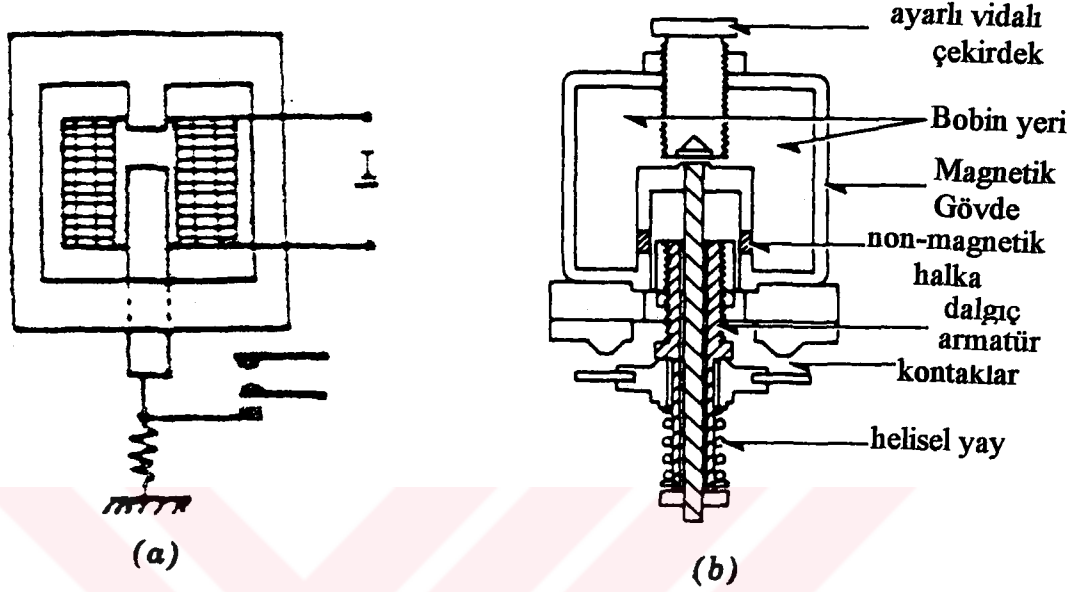
$$F = \frac{2 \pi (N I)^2 \cdot A}{X^2} \quad (2.2)$$

2.2.1.1. Dalgıç Armatürlü Röle

Şekil 2.3b'de görüldüğü gibi dalgıç armatürlü rölenin yapısı, bir dış magnetik yapılı silindirik bobin ve bir merkez dalgıç armatürden ibarettir. Bobine uygulanan gerilim veya akım rölenin kontaklarını harekete geçirecek çalışma değerinden daha büyük olduğu zaman, dalgıç armatür kontak takımını harekete geçirmek için yukarı doğru hareket eder. Dalgıç armatürü harekete geçirmek için gerekli olan kuvvet bobinden geçen akımın karesi ile orantılıdır.

Dalgıç armatürlü röleler 5-50 ms olan çalışmaya geçiş zamanlarıyla ani röleler olarak kabul edilir. Şekil 2.3b'de gösterilen dalgıç armatürlü röle, enerjilendikten sonra

röleyi enerjisiz hale getirerek kontağı bıraktırmak için gerekli olan geri dönüş akımı oldukça yüksek olan yani çalışma ve geri dönüş akımları birbirine çok yakın olan bir ani aşırı akım rölesi olarak kullanılır.



Şekil 2.3 Dalgıç armatürlü röle şekilleri

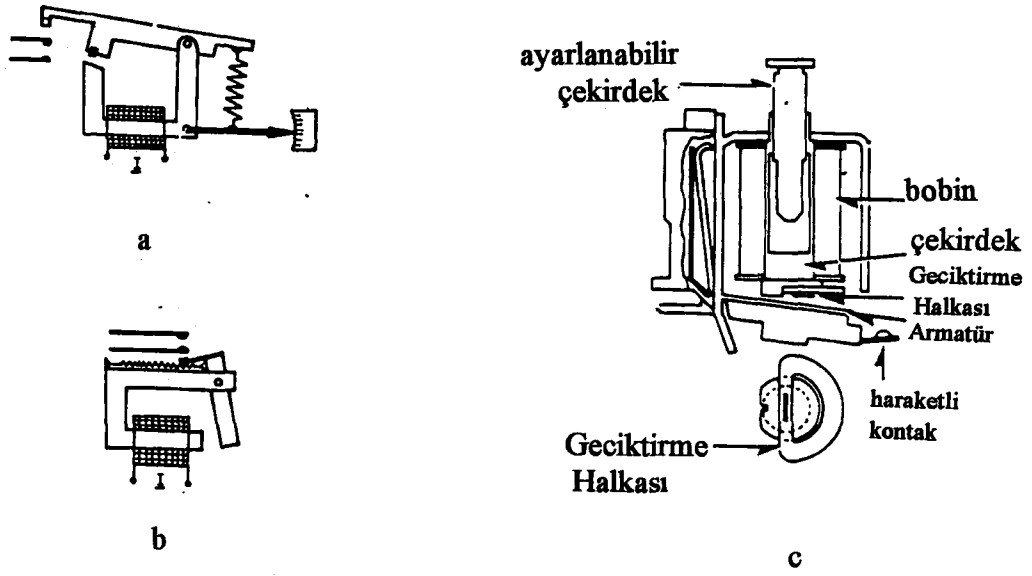
a) Basit olarak yapısı

b) Dalgıç armatürlü röle kesiti (Westinghouse)

2.2.1.2. Menteşe Armatürlü (Clapper) Röle

Menteşe armatürlü röle, U-şeklindeki bir manyetik gövde ve bu gövdenin açık uçları arasında hareketli bir armatür bulunan bir yapıya sahiptir. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi armatür bir uçtan menteşelenmiştir ve diğer uçtan da bir yay ile engellenmiştir. Bobin enerjilendiği zaman, armatür bobin akımının karesiyle orantılı bir momentle hareket ederek açılan veya kapanan bir kontak takımının sabit kontağına temas eder. Bu rölelerin kontağının konum değiştirmesi için gerekli olan çalışma akımının değeri ile rölenin kontağını bırakması için gerekli geri dönüş akımı arasındaki fark, dalgıç armatürlü rölelere göre daha fazladır.

Bu tip röleler genel olarak yardımcı röle olarak kullanılır. Şekil 2.4c'deki röle ani aşırı akım veya ani açma ünitelerinde kullanılır.



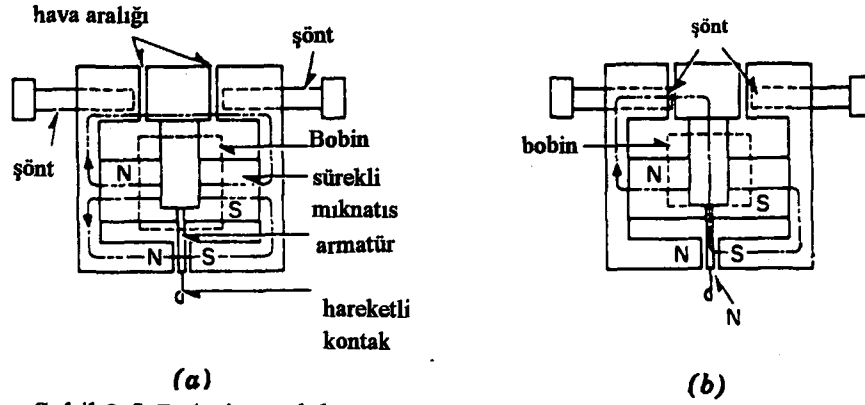
Şekil 2.4 Mentеше armatürlü röle şekilleri

a,b) Basit olarak yapısı

c) Mentеше armatürlü röle kesiti (Westinghouse)

2.2.1.3. Polarize Röle

Polarize röleler, magnetik yapının merkezinde hareket edebilecek şekilde monte edilmiş olan armatürün etrafında dönen bir bobinden doğru akım geçirilmesi suretiyle çalışırlar. Şekil 2.5a ve b'de görüldüğü gibi magnetik yapının uçları arasındaki sürekli mıknatis armatürün geçtiği boşluğun iki yanını kutuplandırır. Magnetik gövdenin arkasına yerleştirilen ve magnetik olmayan malzemeden yapılmış iki ara halkası ayarlanabilir iki magnetik şönt ile köprülenmiştir. Bu tertip magnetik akı yolu yardımıyla kontak ayarını kolaylaştırır. Şekil 2.5a'da görüldüğü gibi dengelenmiş hava aralıklarıyla armatür enerjisiz bobinle birlikte merkezde asılı kalır. Oysa şekil 2.5b'de görüldüğü gibi dengesiz aralıklarla akının bir kısmı paralel olarak armatürden geçer. Bu nedenle sonuçta meydana gelen polarizasyon enerjisiz bobinli bir kutba karşı armatürü tutar. Bobin akımı armatürün önceki polarizasyonunu arttırarak veya azaltarak armatürü N veya S olarak kutuplandırır. Bu polarizasyon az veya çok tasarım veya ayarlamaya bağlı olabilir. Şekil 2.5b'de gösterilen soldaki aralığın ayarı çalıştırma akımının değerini, sağdaki aralığın ayarı da geri dönüş (reset) akımının değerini kontrol eder.



Şekil 2.5 Polarize röleler

- a) Dengeli hava aralıklı
- b) Dengesiz hava aralıklı

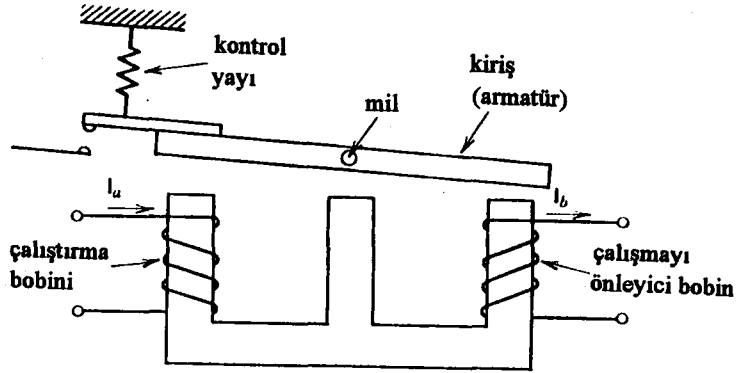
Şekil 2.5’de polarize tipi dengeli hava aralıklı ve dengesiz hava aralıklı rölelerin şekli gösterilmiştir.

2.2.1.4. Terazı Kollu (Dengeli Kirişli) Röle

Bu rölelerde dengelenmiş bir kirişin iki ucunda birer adet bobin bulunur. Bobinlerin kirişe uyguladıkları momentler birbirlerine göre zıt yönlüdürler. Kontak hareket ettirerek kapama yönünde moment uygulayan bobine çalıştırma bobini, aksi yönde moment uygulayan bobinede durdurucu bobin denir.

Bu röle menteşeli konstrüksiyonun özel bir şekli olarak kabul edilebilir. Kiriş (armatür) genellikle iki akım veya bir akım ve bir de gerilim olan uygun parametrelerle çalışan elektromagnetler tarafından çekilir. Röle kontaklarının çalışmasının istenmediği zamanlarda kontakların sabit kalmasını sağlamak amacıyla bir kontrol yayı yardımıyla kirişe hafif bir kuvvet uygulanmıştır. Bazı röle ünitelerinin çalışma bobininden akım geçtiği zaman, kirişin ucunda bulunan ve sabit pozisyonda bobinin içine çekilen ayrı bir armatür vardır. Bu röleler için çeşitli kontak ve yay düzenleri geliştirmek mümkündür. Dengeli kiriş ünitesinde, çalıştırma bobininin bulunduğu kısımda kiriş ile kutup arasındaki hava aralığı durdurma (reset) bobininin bulunduğu yerdeki hava aralığından daha büyük olduğu için çalıştırma akımı durdurma akımından daha büyüktür. Kirişin her iki yanındaki

kuvvet, hava aralığındaki akının karesiyle orantılıdır. Hava aralığındaki akı akım ile doğru orantılı ve yaklaşık olarak magnetik devredeki toplam hava aralığının boyunun karesi ile ters orantılıdır.



Şekil 2.6 Terazi kollu (Dengeli kirişli) röle

Dengeli kirişli rölelerde yaygın olarak kullanılan diğer bir yapı, bir rotor üzerine birbirine göre ters yönde etki eden iki aşırı akım elemanı bulunan indüksiyon tipi bir röledir. Bu tip rölelerde moment denklemi şu şekilde ifade edilebilir:

$$T = k_a I_a^2 - k_b I_b^2 \quad (2.3)$$

(2.3) denkleminde k_a ve k_b tasarım sabitleridir. Rölenin çalışmaya başladığı anın başlangıcında net moment sıfır olur, bu yüzden;

$$k_a I_a^2 = k_b I_b^2$$

Bu durumda çalışma karakteristiği aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{I_a}{I_b} = \left(\frac{k_b}{k_a} \right)^{1/2} = K \quad (2.4)$$

(2.4) denkleminde K bir sabittir. Eğer çalışma büyüklükleri V gerilimi ile I akımı ise, armatürler elektromagnetler tarafından $(k_a V^2)$ ve $(k_b I^2)$ momentleriyle çekilir. Bu röle

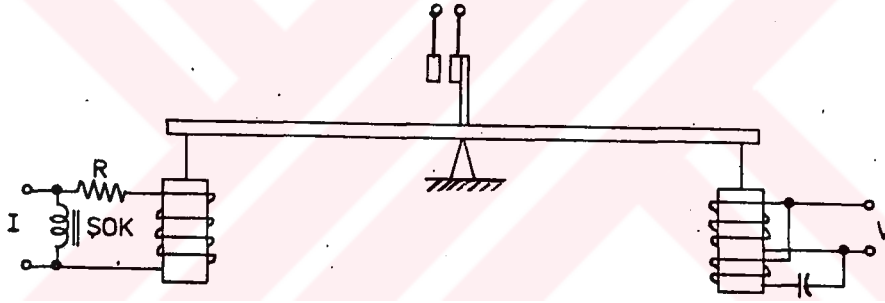
ünitesinde, rölenin kontağı kapatmasını sağlayacak çalışma koşulu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$k_a V^2 > k_b I^2 \quad (2.5)$$

$$\left(\frac{k_b}{k_a} \right)^{1/2} > \frac{V}{I} \quad (2.6)$$

$$\left(\frac{k_b}{k_a} \right)^{1/2} > Z \quad (2.7)$$

(2.7) eşitliği rölenin önceden belirlenmiş empedansdan daha küçük değerli bir Z empedansı ölçtüğü zaman çalışacağını göstermektedir. Bu koşul aynı zamanda hatların korunmasında kullanılan mesafe rölenin temel çalışma prensibidir.



Şekil 2.7 Terazi kollu rölenin geliştirilmesi.

Terazi kollu rölelerde çalıştırma ve durdurma momentlerinin oranı faz durumuna çok bağlıdır. Bu rölelerde geri dönüş oranı çok yüksek olduğu için yanlış açmalar olabilir. Yukarıda da izah edildiği gibi hava aralığındaki akının magnetik devrenin toplam hava aralığının yaklaşık olarak karesi ile ters orantılı olması nedeniyle çalıştırıcı ve tutucu momentlerin oranı lineer değişmez ve röle yanılabilir.

Terazi kollu röleler çok hızlı çalışabilirler fakat faz açısına bağlı olarak ve geçici rejimlerde meydana gelen D.C. bileşenden dolayı yanlış açmalara neden olabilirler.

Faz hatasından dolayı meydana gelen yanlış açmaları önlemek için şekil 2.7’de görüldüğü gibi gerilim bobini parçalı veya üç bacaklı olarak yapılabilir. Parçalı kutuplarda her iki kısmın akılarının genlikleri eşit ve aralarında yaklaşık olarak 90° faz farkı olacak şekilde bir tasarım yapılır. Üç fazlı sistemlerde akılar arası 120° faz farkı bulunur.

Terazi kollu rölede çalışma ve geri dönüş değerleri arasındaki farkı kısmen azaltmak için denge kolunun hareketi engellenir. Kolun hareketi sebebiyle reaktansın toplam değişimi azaltmak amacıyla akım kutbunun magnetik devresi içinde hava aralığı meydana getirilir.

Geçici olaylardan kaynaklanan arızalarda D.C bileşenin sebep olacağı hatayı azaltmak için şekil 2.7’de görüldüğü gibi yüksek değerli bir şönt kullanılır.

2.2.2 Magnetik İndüksiyon Röleleri

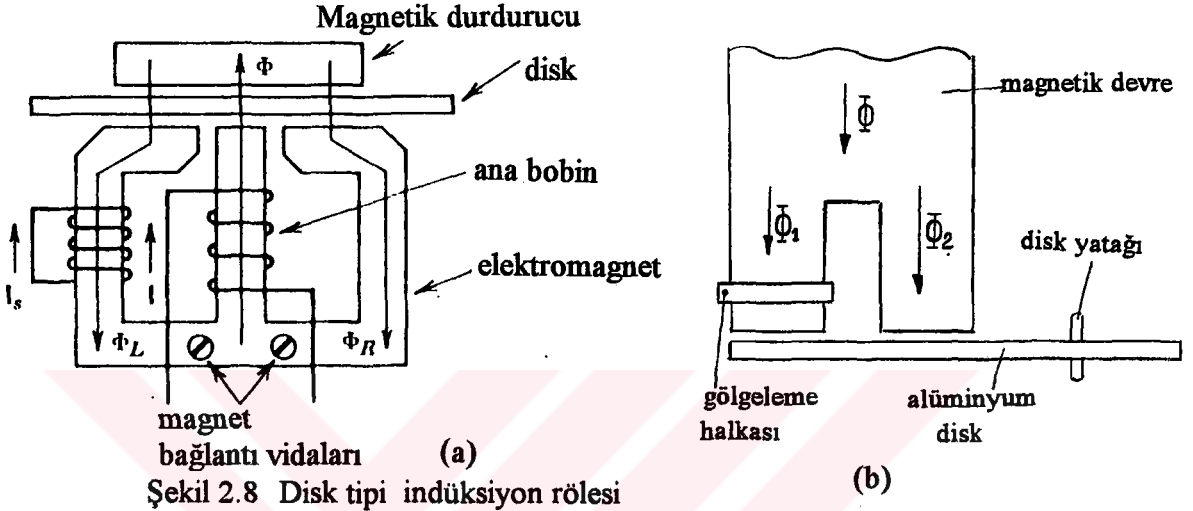
Bu röleler indüksiyon diski ve indüksiyon silindiri olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Ayrıca silindir tipin bir özel şekli D’Arsonval tipidir.

2.2.2.1. Disk Tipi İndüksiyon Rölesi

İndüksiyon disk ünitesi, bir elektro magnetik kutup yüzeyleri arasında dönen bakır veya alüminyumdan yapılmış bir metalik diskten meydana gelmiştir. (Şekil 2.8a)

Bu röleler, döner disk düzleminde indüklenen akımlar ile bir elektromagnet tarafından üretilen akıların birbirini etkilemesinden ortaya çıkan moment ile çalışır. Şekil 2.8a’da görülen indüksiyon ünitesinde diskin bir tarafında üç kutup ve bunun karşı tarafında ortak bir magnetik tutucu vardır. Ana bobin magnetik devrenin merkez bacağındadır. Ana bobindeki akımı hava aralığından diske ve diskten de magnetik tutucuya geçer, ϕ akısını oluşturur. ϕ akısı sol bacadan geçen ϕ_L ve sağ bacadan geçen ϕ_R olmak üzere ikiye bölünür. Sol bacaktaki kısa devre edilmiş geciktirici bobin ϕ_R ve ϕ ’nin her ikisini de geciktirmek için ϕ_L ’nin farklı fazlı bir motor hareketi meydana

getirmesine neden olur. Φ_L akısı kısa devre edilmiş geciktirme bobininde aynı fazda akan I_s akımı ile V_s gerilimini indükler. Φ_T akısı ana bobinin I akımının oluşturduğu toplam akıdır. Bu üç akı hava aralığından geçer ve diskte girdap akımları indükler. Sonuçta bu girdap akımları birbirine zıt akımlar meydana getirir ve iki akı birbirini etkileyerek diski döndüren momenti oluşturur.



Şekil 2.8 Disk tipi indüksiyon rölesi

a) Çift bobinli (westinghouse) indüksiyon diski.

b) Gölgeleme halkalı indüksiyon diski.

Şekil 2.8b yardımıyla disk tipi indüksiyon rölelerini biraz daha detaylı inceleyelim. Bu rölelerin çalışma prensibi elektrik sayaçlarına benzer. Yapısı iki ucu yataklanmış bir mile tespit edilmiş indüksiyon diski ve elektromıknatıstan ibarettir. İndüksiyon disk rölelerinin diğer röle tiplerine göre üç büyük avantajı vardır. Bunlar:

1. Rölede sarfedilen birim VA için daha büyük moment elde edilir.
2. Tek bobinli olduğu için kalın kesitli iletken kullanılabilir.
3. Diferansiyel röle uygulamalarında aynı diske iki elektromıknatıs ve bir damping mıknatısı bağlanabilir.

Rölelerin imalat ve tasarımında küçük sarfiyat ile büyük kontak basıncı istenmektedir. Kontak basıncının artması arkı, dolayısıyla kontak tahribatını

azaltmaktadır. Diskli rölelerde bu özellik rahatlıkla elde edilebilmektedir. Kalın kesitli bobin kullanmakta amaç kuvvetli kısa devrelerde rölenin tahrip olmasını önlemektir.

İndüksiyonlu rölelerde dönme momenti faz farklı iki akının meydana getirdiği döner alanla elde edilir. Moment iki kutup çifti tarafından meydana getirilen ϕ_1 ve ϕ_2 akıları ve bunların arasındaki α elektriki faz açısına bağlı olarak $[|\phi_1| \cdot |\phi_2| \cdot \sin\alpha]$ çarpımı ile orantılıdır. Akılar arasındaki elektriki faz farkını elde etmek için genellikle kutbun yarısını halkalayan gölgeleme halkası veya yardımcı ara transformatör kullanılmaktadır. Şekil 2.8b’de gölgeleme bobini (halkası) kullanılmıştır.

Şekil 2.8b’de görüldüğü gibi ϕ akısı ϕ_1 ve ϕ_2 kısımlarına ayrılmıştır. ϕ_1 akısının aktığı kısımdaki tek taraflı gölgeleme halkası bir transformatörün uçları kısa devre edilmiş sekonder sargısına eşdeğerdir. Gölgeleme halkası içinden alternatif bir akı aktığı için burada e_s gerilimi indüklenir. Bu gerilim ϕ_1 akısından 90° geri fazdadır. e_s geriliminden dolayı halkada I_s akımı akar. Bu iletkenin empedansı ihmal edilmezse I_s akımı e_s geriliminden λ açısı kadar geri fazdadır. Tek sarımdan ibaret olan gölgeleme halkasının magneto motor kuvveti,

$$F_s = 1 \text{ sarım} \times i_s \text{ Amper'dir.}$$

Kaçak çıkarıldıktan sonra gölgeleme halkasının efektif magnetomotor kuvveti F_s elde edilir. Kutbun magnetomotor kuvveti:

$$F_1 = F_2 + F_s$$

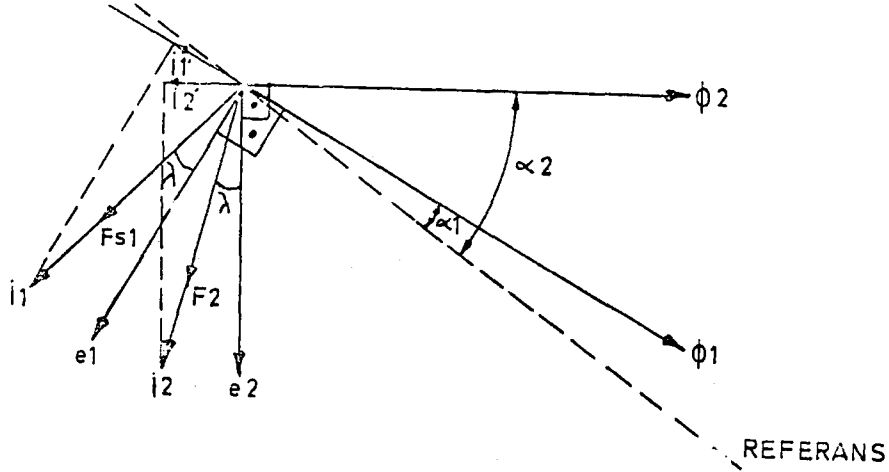
olarak bulunur. (Şekil 2.9’a bakınız)

Şekil 2.9’da görüldüğü gibi F_s , F_1 ’e göre zıt yönde ($F_s \sin\lambda$) bileşenini içerir. Bu bileşen az da olsa F_1 ’in değerini azaltır. ϕ_1 ve ϕ_2 akıları indüksiyon diskinde 90° faz farklı e_1 ve e_2 gerilimlerini indükler. (Şekil 2.10’a bakınız.) e_1 ve e_2 gerilimleri diskte i_1 ve i_2 fuko akımlarının akmasına neden olurlar. Diski döndürecek moment akıların her birinin

$$T = K_1 \cdot N \cdot I^2 \cdot \sin\theta$$

(2.12)

şeklinde ifade edilir.



Şekil 2.10 Diskte meydana gelen gerilimlerin vektöriyel gösterilişi.

2.2.2.2. Silindir Tipi İndüksiyon Rölesi

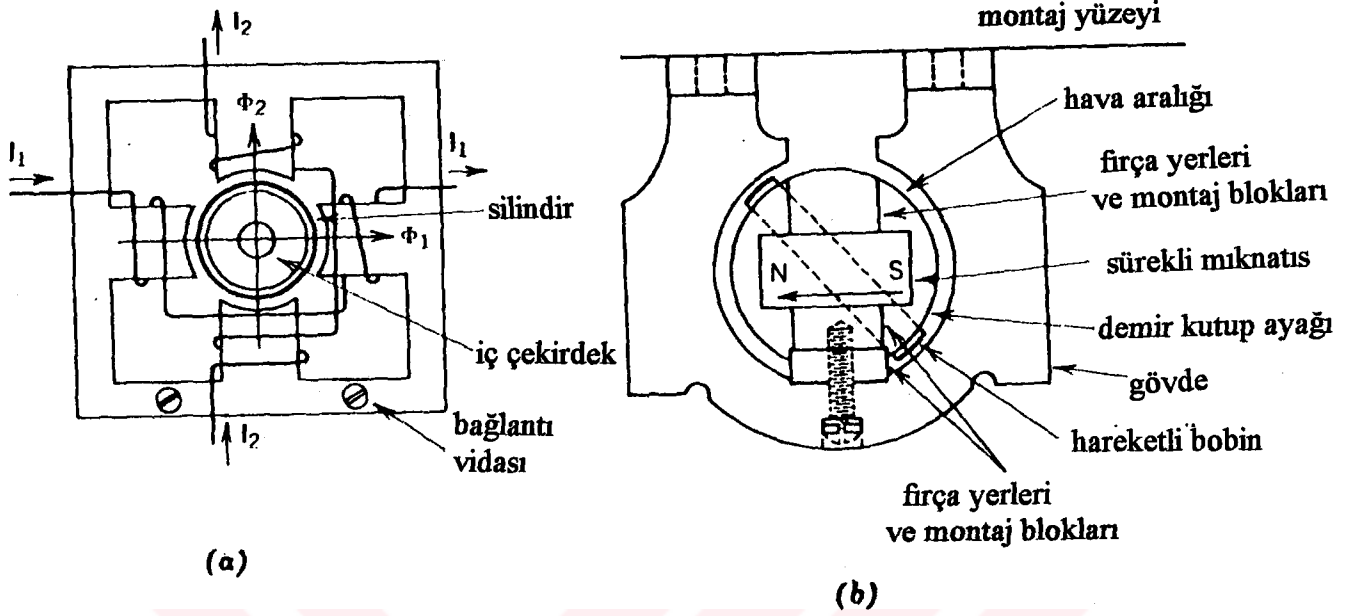
Silindir tipi indüksiyon rölesi, bir ucu çan şeklindeki kapak ile kapatılmış, elektromagnetik kutup yüzeyleri arasındaki halka şeklindeki hava aralığında dönen bir metalik silindir ve bir merkez çekirdeğinden oluşmuştur. Bu rölenin çalışması çıkık kutuplu bir indüksiyon motorunun çalışmasına benzediği için bu röleye çan tipi indüksiyon rölesi de denir. Şekil 2.11a'da kare şeklinde bir elektromagnetin merkezinde bulunan hava aralığında dönen ince bir alüminyum silindir ile çevrelenmiş bir iç çelik çekirdeği olan röleye ait temel yapı gösterilmiştir.

Kontak, bağlantılı durma noktaları ve durdurma momentini oluşturan spiral yay tarafından silindirin hareketi birkaç derece ile sınırlandırılmıştır. Çalışma momenti, iki çalışma akımının çarpımının ve aralarındaki açının kosünüsünün bir fonksiyonudur. Bu durumda moment:

$$T = k_c \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos(\theta_{12} - \phi) - k_s$$

(2.13)

şeklinde ifade edilebilir.



Şekil 2.11 Silindir tipi indüksiyon rölesi.

- a) Silindir (çan) tipi
b) D'Arsonval tipi

Bu ifadedeki elemanlar:

k_c = Tasarım sabiti.

ϕ = Tasarım sabiti.

I_1 = 1. bobinden geçen akım.

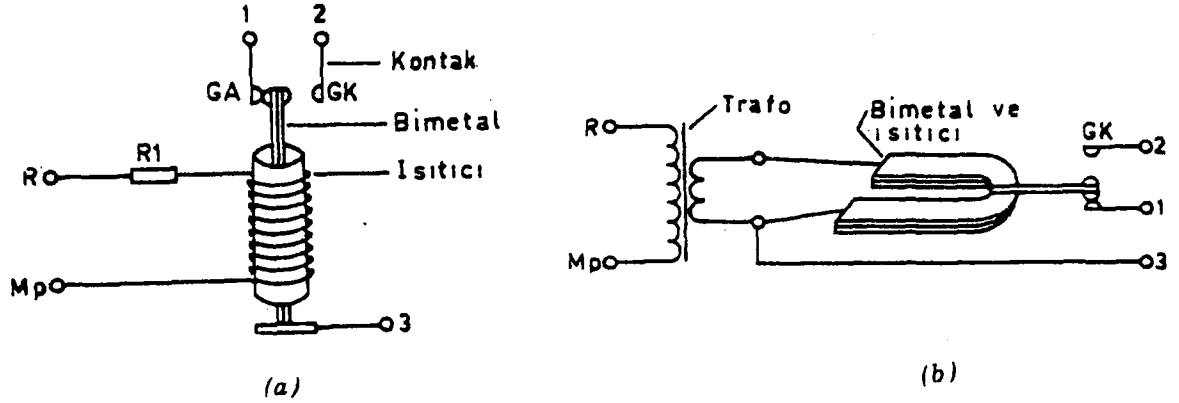
I_2 = 2. bobinden geçen akım.

k_s = Durdurucu yay momenti.

Çan tipi silindirik indüksiyon ünitesinin dönen parçalarının eylemsizliği az olduğu için bu rölelerin yüksek hızla çalışma özelliği vardır. Bu yüzden bu röleler ani çalışma gerektiren fonksiyonların elde edilmesi için kullanılabilir. Kutup sayısının fazla olması birden fazla elektriksel büyüklüğün ölçümüne imkan vermektedir.

Şekil 2.11b'de manyetik bir yapıya ve iki kutuplu silindirik çekirdek şeklindeki bir sürekli iç mıknatısa sahip olan **D'Arsonval** tipi röle gösterilmiştir. Hava aralığındaki hareketli bir bobin halkası dönme momentini oluşturmak için hava aralığındaki akıya reaksiyon gösteren doğru akımla enerjilendirilmiştir.

2.2.3. Termik röle



Şekil 2.12 Termik rölenin temel yapısı.

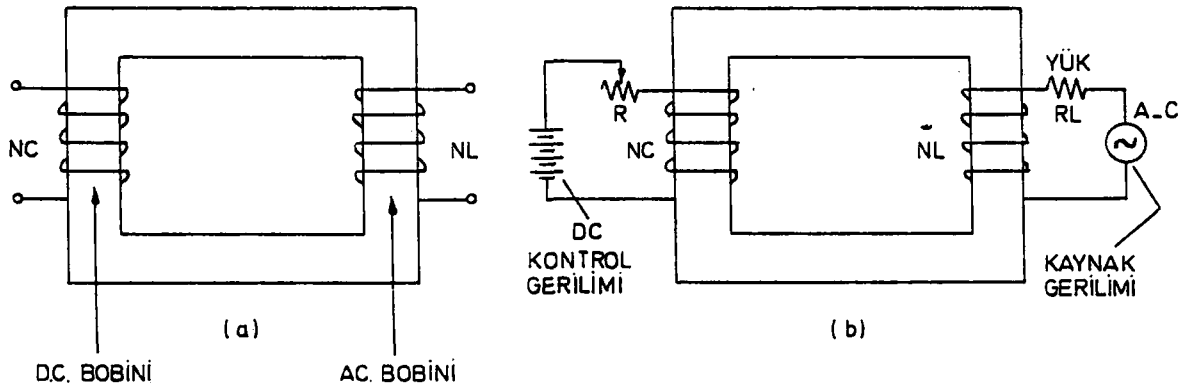
- a) Endirekt ısıtmalı termik röle.
- b) Direkt ısıtmalı termik röle.

Termik röle, bir ucu sabitlenmiş diğer ucu serbest olan bir bimetal şerit veya bir bobin oluşturmak üzere birlikte kaynak edilmiş, sıcaklıkla uzama katsayıları birbirinden farklı iki metal tabakasından meydana gelmiştir. Sıcaklık değiştiği zaman iki metalin sıcaklıkla değişme katsayısının farklı olması şerit veya bobinin serbest ucunun hareket etmesine neden olur ve bu hareketle bir kontak açılacak veya kapanacaktır. Bu tip röleler genellikle aşırı akım koruması için kullanılır.

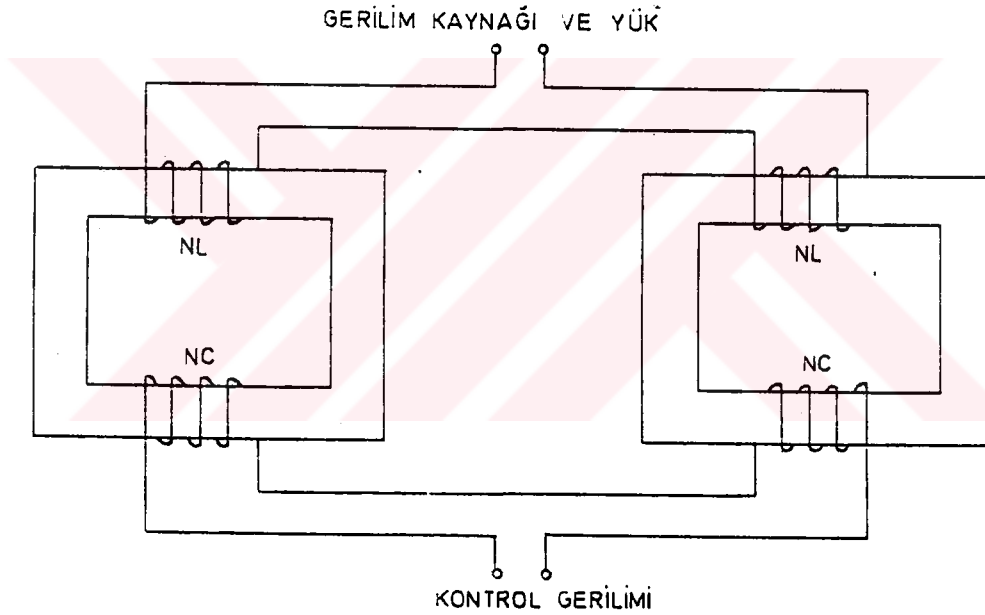
2.2.4. Magnetik Amplifikatörlü Röleler

Manyetik amplifikatörlü röleleri anlayabilmek için öncelikle doyma reaktörlerinin ve manyetik amplifikatörlerin incelenmesi yararlı olacaktır.

En basit doyma reaktörü, kontrol ve yük sargıları ile bir manyetik devreden meydana gelmiştir. Şekil 2.13a ve b'deki doyma reaktörü prensip şemalarında yük sargısı N_L ve kontrol sargısı N_C ile gösterilmiştir. Doyma reaktörünün ferromagnetik çekirdeği dikdörtgen şeklinde veya daire şeklinde olabilir.



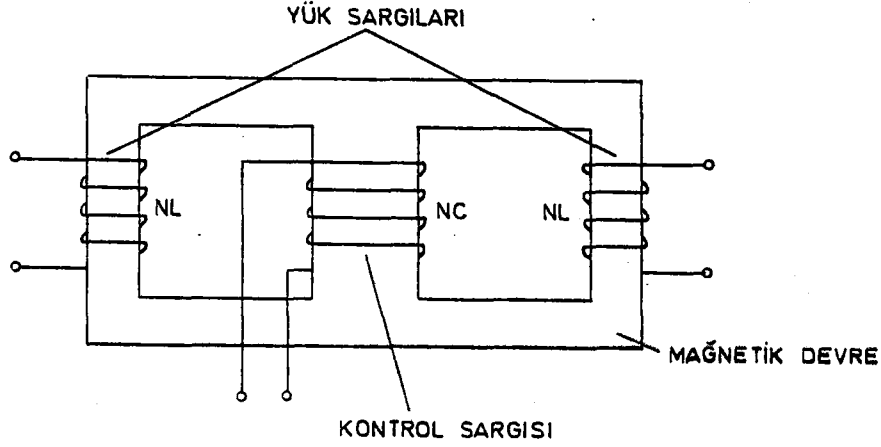
Şekil 2.13 Doyma reaktörünün prensip ve bağlantı şeması.



Şekil 2.14 Karşıt endüktansı azaltmak için kullanılan iki çekirdekli reaktör.

Kontrol sargısı D.C. kontrol kaynağına ve yük sargısı NL'de A.C. kaynak ve yük ile seri bağlıdır. NL yük sargısından akan akım magnetik devre doymamışken A.C bir akı meydana getirir. Ferromagnetik çekirdekteki A.C akı NC'de kontrol sargısında A.C bir gerilim indükler. NC kontrol sargısında indüklenen ve büyük değerler alabilen A.C. gerilimin D.C. kaynağa zarar vermesini önlemek için şekil 2.14'de görüldüğü gibi

magnetik devre birbirine eşit iki parçadan oluşur. Bu devrede yük sargıları sergi bağlanır, D.C. kontrol sargıları meydana gelen A.C. gerilimi yok etmek üzere ters seri bağlanır.

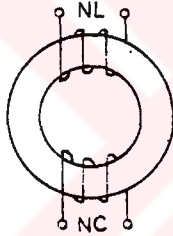


Şekil 2.15 Üç bacaklı kapalı tip doyma reaktörü.

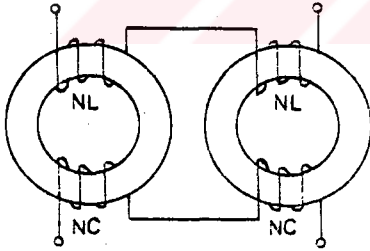
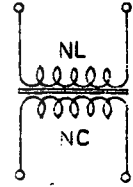
GRAFİK SEMBOLLER

REAKTÖR ÇEKİRDEK TİPİ

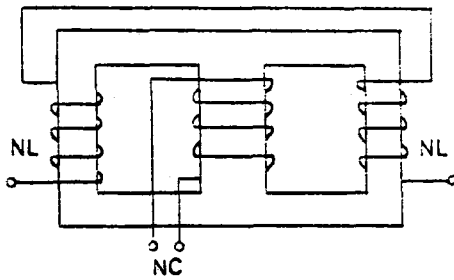
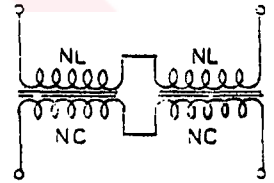
ŞEMATİK SEMBOLLER



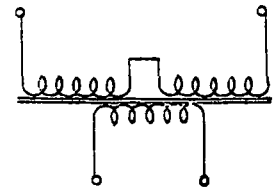
Tek Halka Çekirdek



Çift Halka Çekirdek



üç bacaklı çekirdek



Şekil 2.16 Reaktörlerin sembolleri.

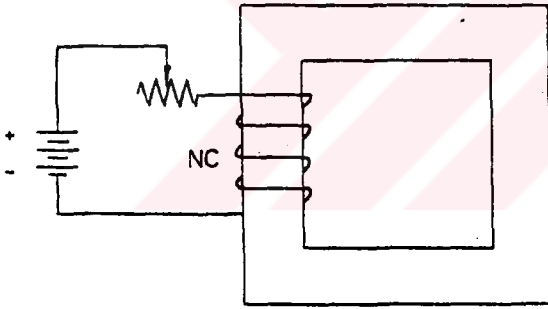
Reaktörler imalat kolaylığı bakımından genellikle üç bacaklı ve kapalı tipte yapılır. Orta bacağın kesiti yaklaşık olarak diğer bacaklardan birinin kesitinin iki katıdır. Şekil 2.15’de görüldüğü gibi dış bacaklara sarılan bobinler yük sargısını ve orta bacağına sarılan bobin de D.C. kontrol sargısını meydana getirir.

Doyma reaktöründe yük akımı büyük olduğu için NL yük sargısının sarım sayısı azdır. D.C. kaynaktan az akım çekilmesi için NC kontrol sargısının sarım sayısı çoktur.

Reaktörlerin grafik ve şematik sembolleri şekil 2.16’da gösterilmektedir.

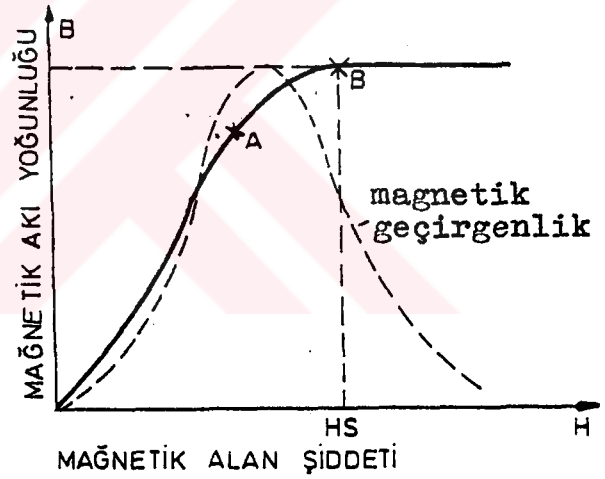
2.2.4.1. Doyma Reaktörünün Çalışma Prensibi

Şekil 2.13b’deki prensip şemasında N_C kontrol sargısından geçen akım sıfırdan itibaren sürekli olarak arttırılırsa şekil 2.18’de görülen tek yönlü bir histerezis eğrisi elde edilir.



Şekil 2.17

N_C kontrol sargısı kumanda prensibi



Şekil 2.18

Magnetik devre satürasyon (doyma) eğrisi

Bobinin sarım sayısı N , bobinden geçen akım I ve l ortalama akı yolu olmak üzere H magnetik alan şiddeti:

$$H = \frac{NI}{l} \quad (2.14)$$

olur. H magnetik alan şiddeti ile B magnetik akı yoğunluğu arasında;

$$B = \mu H \quad (2.15)$$

bağıntısı vardır. Bu bağıntıda μ malzemenin magnetik geçirgenliğidir. H arttığı zaman belirli bir noktadan sonra μ azalır. B ile H arasındaki ilişki analitik bir fonksiyonla ifade edilemediği için bir eğri ile verilir. Bu eğriye satürasyon (doyma) veya mıknatıslanma eğrisi denir. Şekil 2.18'de A noktasına kadar B magnetik akı yoğunluğunun değişimi yaklaşık olarak lineer kabul edilebilir. B noktasından sonra eğrinin lineerliğini kaybettiği görülmektedir. Bu noktadan itibaren ferromagnetik malzeme doymaya başlamıştır. Yani H'ın arttığı kadar B artmamaktadır. Eğri üzerinde B noktasına gelindiğinde eğimin sıfır olduğu yani mıknatıslanma eğrisinin apse paralel olduğu görülür. Bunun anlamı malzeme tamamen doymuştur. H magnetik alan şiddeti bu noktadaki H_s değerinden itibaren arttırılmaya devam edilse bile B magnetik akı yoğunluğu artmaz.

Magnetik geçirgenliği μ olan bir ferromagnetik çekirdek üzerine sarılmış toroidal sargının self endüktansı :

$$L = \frac{N\Phi}{I} \quad (2.16)$$

Toroid halkanın kesiti S ise magnetik akı:

$$\Phi = B.S \quad (2.17)$$

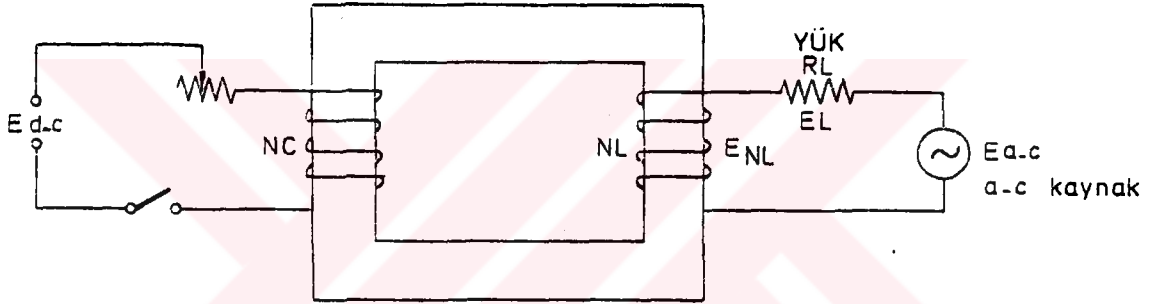
Buradan toroidal sargının self endüktansı:

$$L = \frac{NBS}{I} = \frac{N\mu HS}{I} = \frac{N^2 \mu S}{l} \quad (2.18)$$

olarak bulunur. (2.18) denkleminde self endüktansının doğrudan doğruya μ magnetik geçirgenliği ile orantılı olarak değiştiği görülür. Malzeme doymaya yaklaştığı

zaman μ azalacağı için bobinin self endüktansı da azalır. Magnetik aplifikatörlerin çalışma prensipleri bu temel özelliğe dayanır.

NC kontrol sargısından geçen D.C. kontrol akımının meydana getirdiği akı ve magnetik alan şiddeti ile ferromagnetik malzeme yapılmış toroid şeklindeki çekirdeğin μ geçirgenliği değiştirilebilir. μ geçirgenliği değişince (2.18) denklemine göre sargının self endüktansı değişir. Self endüktans değişince yük sargısının empedansı ve dolayısıyla A.C kaynaktan akan yük akımının bu empedans üzerinde düşürdüğü gerilim düşümünde de değişir ve bu A.C gerilim düşümü μ geçirgenliğe dolayısıyla D.C kontrol akımına bağlıdır.



Şekil 2.19 Magnetik kontrol prensibi

Şekil 2.19'da görüldüğü gibi A.C kaynak gerilimi E_{ac} yükün uçlardaki gerilim düşümü E_L ve yük sargısındaki gerilim düşümü E_{NL} 'dir. Vektörel olarak:

$$E_{ac} = E_L + E_{NL} \quad (2.19)$$

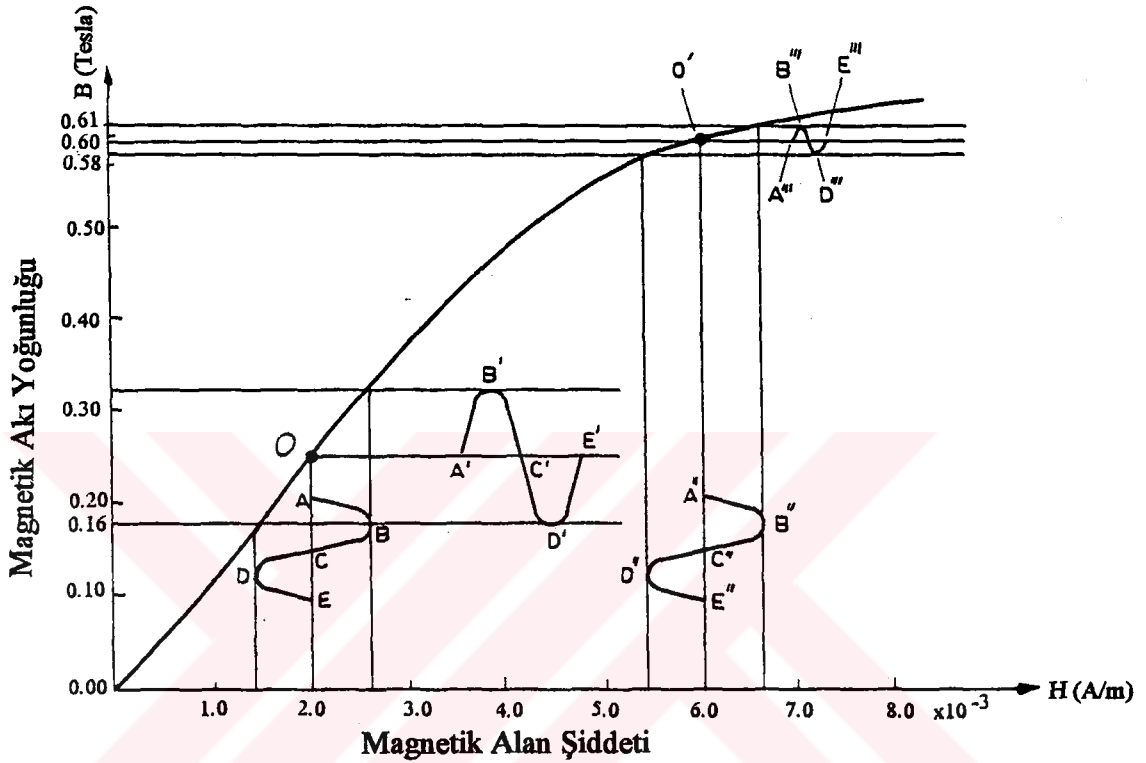
olur. Burdan yükün uçlarındaki gerilim:

$$E_L = E_{ac} - E_{NL} \quad (2.20)$$

olur. Kaynak gerilimi sabit kabul edilirse yükün uçlarındaki gerilim doğrudan doğruya doğruya yük sargısındaki gerilim düşümüne bağlı olarak değişir. Böylece kontrol

sargısındaki D.C akımı değiştirerek A.C yükün uçlarındaki gerilim geniş sınırlar içinde kolaylıkla değiştirilebilir.

Reaktörün çalışmasını daha ayrıntılı açıklamak için şekil 2.20'i inceleyelim:



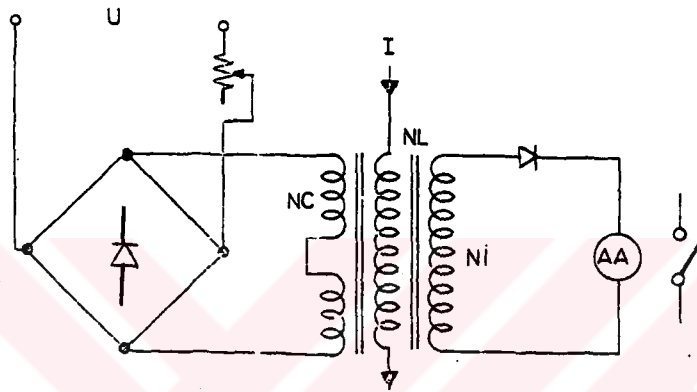
Şekil 2.20 Doyma reaktörünün çalışma grafiği.

Reaktörün çalışma noktasının sıfır olduğunu kabul edelim. Kontrol sargısından akan akımın çekirdeğin içindeki akıyı 0.0005 A/m arttırdığını kabul edelim. Yük sargısındaki A.C akım meydana getirdiği manyetik alanın şiddeti ABCDE sinüs dalgası ile değişirse bu sinüsün 0.001 A/m 'lik genliğine karşılık B manyetik akı yoğunluğunda $A'B'C'D'E'$ sinüsü ile belirtilen 0.155 Tesla 'lık akı yoğunluğu elde edilir. İkinci durumda kontrol sargısından akan D.C akımın bir miktar daha arttığını kabul edelim. İkinci çalışma noktası 0.006 A/m olsun. Manyetislanma eğrisinde çalışma noktası O noktasından O' noktasına yükselmiştir. Yine yük sargısı N_L 'de akan A.C akımın meydana getirdiği 0.001 A/m genlikli manyetik alan sinüsü $A''B''C''D''E''$ 'ne karşılık 0.03 Tesla genlikli $A'''B'''C'''D'''E'''$ manyetik akı yoğunluğu elde edilir. Buradan da görüldüğü gibi aynı alan şiddeti değişimi için O ve O' noktalarından manyetik akı yoğunlukları

birbirinden çok farklıdır. 0 naktasındakine göre magnetik akı yoğunluğu 0.125 Tesla azalmıştır.

2.2.4.2. Magnetik Amplifikatörlerin Rölelerde Kullanılması

Şekil 2.21’de RXAP 6000 tipi bir mesafe rölesinin prensip şeması görülmektedir. Kontrol sargısı gerilim transformatöründen alınan doğrultulmuş akımla beslenir. Yük sargısı akım transformatöründen beslenir.



Şekil 2.21 Magnetik amplifikatörlü mesafe rölesi prensip şeması

NC kontrol sargısına uygulanan gerilim şebeke gerilimi ile orantılıdır. Kontrol akımı gerilim ile orantılı olarak magnetik devrenin μ magnetik geçirgenliği değiştirir. NL sargısında akan I alternatif akımı hat akımı ile orantılıdır ve bu sargıda meydana gelen alternatif akı ise N_i sargısında U/I ile orantılı olarak bir gerilim indükler. Bu gerilim doğrultularak magnetik çekmeli tip bir aşırı akım rölesine uygulanır. Rölenin çalışma değeri kontrol sargısına seri bağlı bir potansiyometre ile değiştirilebilir.

2.3. Yarı-İletken (Statik) Röleler

2.3.1. Giriş

Mevcut bulunan koruma sistemi ve bu sistemdeki elemanların ihtiyacı karşılamada yeterli olması, teknolojik araştırma ve gelişimleri etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu gün mevcut koruma sistemlerindeki koruma rölesi ihtiyacının

%75'inden fazlası kullanımda sorun yaratmayan elektromagnetik röleler tarafından karşılanmaktadır. [1] koruma devrelerinin güvenilirliği ve çalışma hızı kullanılan indüksiyon diski, hareketli bobin veya hareketli armatür (menteşe armatür) elemanlarının karakteristiklerine bağlıdır. Ancak aşağıda belirtilen özellikler statik rölelerin gelişimini ve bu rölelere duyulan ihtiyacı arttırmaktadır. Bu özellikler:

a) Statik rölelerin performans ve karakteristikleri elektromagnetik rölelerden daha iyidir. Statik rölelerin önemli uygulama alanlarından birisi olan statik mesafe rölelerinde daha yüksek doğruluk ve duyarlılıkla birlikte çalışma hızı da yüksektir.

b) İmalatta standartlaşmayı sağlamak daha kolaydır.

c) İmalatı daha kolaydır ve bakım süresi daha kısadır.

2.3.2. Statik Rölelerin Üstünlükleri

Statik röleler elektromagnetik rölelere göre aşağıdaki üstünlüklere sahiptir.

1. Statik rölenin çalışması için gerekli olan güç bir yardımcı kaynaktan sağlandığı için bu röleler akım ve gerilim transformatörlerini daha az yüklerler.

2. Çalışma hızları yüksektir ve uzun ömürlüdürler.

3. Bu rölelerde hareketli parçalar olmadığı için mekanik eylemsizlik yoktur. Hızlı açma-kapama yapan kontaklardan dolayı meydana gelen parazit yoktur, darbe ve titreşime karşı mukavemeti yüksektir.

4. Hareketli parçaları olmadığı için elektromagnetik rölelerdeki gibi hareketli parçaların sürtünmesi ve teması sebebiyle aşınma olmaz ve bu nedenle daha az bakıma ihtiyaçları vardır, bakımları kolaydır.

5. Rölenin geri dönüş (reset) süresi çok kısadır.

6. Rölenin ölçme kısmına gelen korunacak olan akım veya gerilim değerleri çok küçük olsa bile amplifikatör devreleri yardımıyla bunlar kolaylıkla kuvvetlendirilebilir, bu nedenle daha yüksek duyarlılık elde edilebilir.

7. Temel karakteristiklere sahip birçok devre birleştirilerek istenen ideal karakteristiğe çok yakın bir karakteristik elde etmek mümkündür.

8. Yarı iletken elemanlardan oluşan ölçme devrelerinin enerji ihtiyacının çok düşük olması sebebiyle röle boyutları çok küçültülebilir.

Tablo 2.1’de VA olarak elektromekanik ve statik rölelerin yüklenmelerine ilişkin bazı karşılaştırmalar verilmiştir. Tabloda rölelerin akım devresinden çektikleri güce ilişkin değerler rölenin ayarına ve kullanılan akım transformatörünün sekonder akımının 1 A ve 5 A olmasına göre değişir.

Tablo 2.1 Elektromekanik ve statik rölelerin harcadıkları güç bakımından karşılaştırılması

Röle veya Koruma	Elektromekanik Röleler		Statik Röleler	
	Akım Devresi	Gerilim Devresi	Akım Devresi	Gerilim Devresi
3 kademeli MHO Mesafe Rölesi	0.4-8.5 VA	20 VA	0.04-8.7 VA	8.7-11.2 VA
Faz ve Toprak Arızalarına Duyarlı Kontaklı Mesafe Rölesi	0.4-8.5 VA	20 VA	2.0-3.0 VA	8-9 VA
Ani Aşırı Akım Rölesi	0.7-10 VA	-	100 mVA	-
Düşük Gerilim Rölesi	-	2.0 VA	-	0.2 VA

Yarı iletken elemanlı statik rölelerin çalışma şartları aşağıda belirtilen faktörlerle sınırlandırılmış olmasına rağmen bazı yöntemlerle bu sınırları genişletmek mümkündür.

a) Sıcaklık duyarlılığı : Bu sınırlamayı kaldırmak için termistörlü sıcaklık kompensatör devreleri geliştirilmiştir.

b) Keskin gerilim darbelerine duyarlılık : Filtre kullanılarak veya ekranlama yapılarak giderilebilir.

c) Aşırı yüklenme yüzünden rölenin zarar görmesi : Bu sorun, aşırı yüklenmeye karşı gerekli tedbirlerin alındığı iyi bir devre tasarımı ile azaltılabilir.

Statik röleler tek, çift veya çok girişli olarak yapılabilir. Röle devreleri ölçümleri tek tek yaparak daha sonra ilave edilecek kontaklı devrelerle uyumlu çalışacak şekilde tasarlanır.

Elektromagnetik rölelere göre statik röleler zamanlama ve sayma gereksinimlerini çok daha iyi karşılamaktadırlar. Cam tüp içerisindeki dilli rölelerin (reed röel) çalışma hızı çok yüksektir. (1-2 msn) Bu rölelerin geliştirilerek statik rölelerde kullanılması sonucu statik rölelerin kullanım alanları genişlemiştir.

2.3.3. Statik Rölelerin Sınıflandırılması

Transistör, tristör ve diyot gibi yarı iletken elemanlardan yapılan röleye statik röle denir. Bu tip rölelerde karşılaştırma ve ölçme fonksiyonları hareketli parçalar içermeyen statik devreler tarafından gerçekleştirilir. Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) kararına göre statik röleler üç kısma ayrılmıştır.

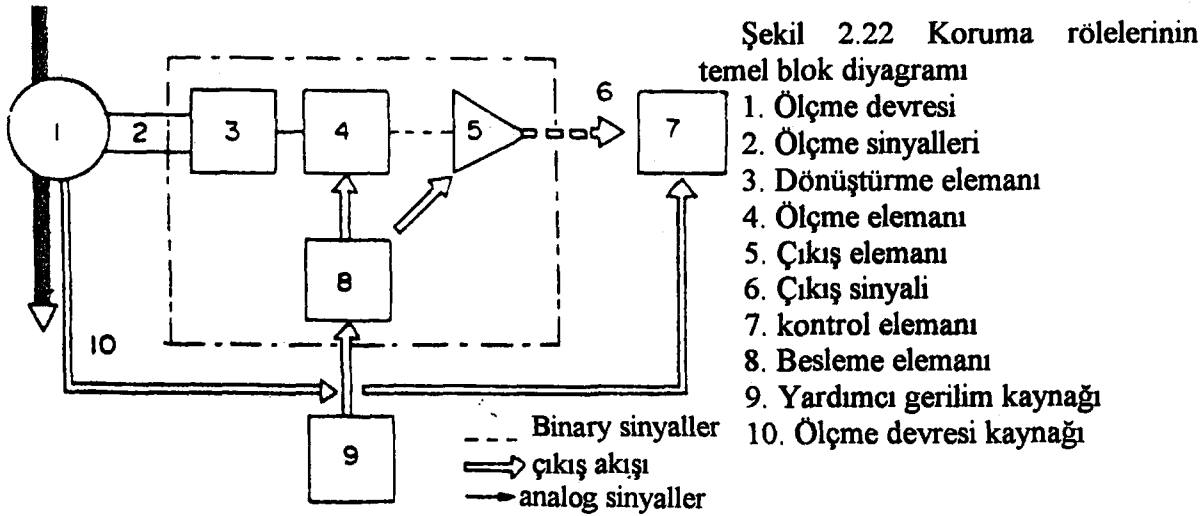
a) Statik röle : Ölçme kısmına gelen ve rölenin ayar değerini aşan akım veya gerilim değerine mekanik bir hareket olmaksızın, elektronik, magnetik veya diğer elemanlar yardımıyla cevap veren röledir.

b) Çıkış kontaklı statik röle : Çıkış devresinde bir yada daha fazla kontak olan röledir. Daha önceleri bu rölelere yarı statik röle denilmiştir.

c) Çıkış kontaklı statik röle : Çıkış devresinde kontaklı olmayan röledir. Önceden bu röleye tam statik röle denilmiştir.

2.3.4. Statik Rölelerin Temel Yapısı

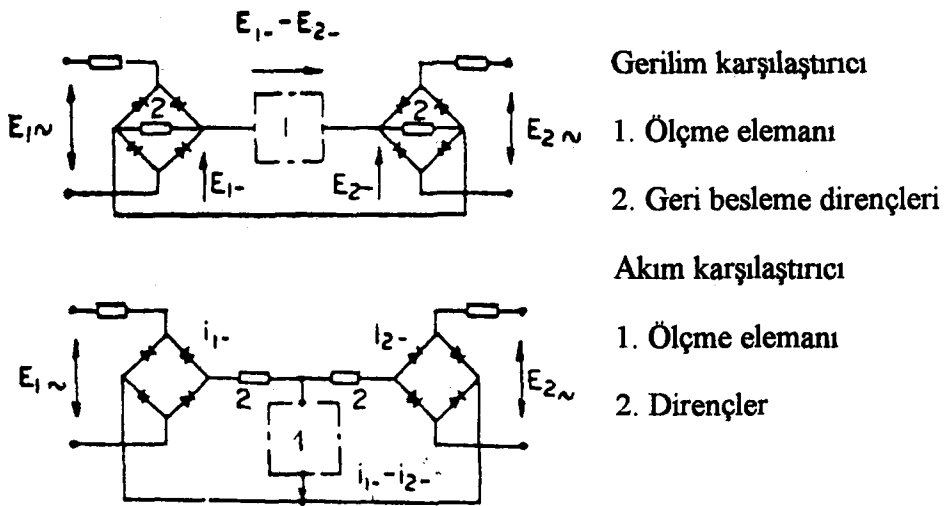
Koruma röleleri koruma fonksiyonlu analog-ikili sistem (binary) dönüştürücüleridir. Akım, gerilim, frekans ve faz açısı gibi değişkenler ile diferansiyel, integral veya diğer matematiksel işlemlerle türetilen değerler ölçüm ünitesinin girişine analog sinyaller olarak gelir. Daima çıkış bir binary sinyaldir. Röle kesiciyi açtırmayacak ise çıkış sinyali açık (OFF) sinyaldir. Eğer röle kesiciyi açtıracaksa çıkış sinyali kapalı (ON) sinyal olur. Bu çıkış sinyalleri bir sonraki kontrol elemanı tarafından değerlendirilir. Bir koruma rölesi şekil 2.22’de gösterilen temel blok diyagrama göre buradaki elemanların sırayla birleştirilmesinden meydana gelir. Bir akım veya gerilim ölçü transformatörü olan ölçme elemanından alınan ve sürekli değişken formda olan koruma rölesindeki dönüştürücü (konverter) üniteyi besler. Ölçme devresinden (1) alınan sinyaller dönüştürücüde (3) işlenecek hale getirilir ve şekildeki gibi ölçme elemanı tarafından değerlendirilir. Ölçme elemanı girişindeki sinyaller rölenin çalışması için gerekli olan eşik değeri aştığı zaman ölçme elemanı çıkışında kapalı bir sinyal elde edilir. Çıkış elemanı (5) ölçme elemanından alınan zayıf binary sinyali kuvvetlendirerek bir yada daha çok kontrol elemanına (7) iletir. Kontrol elemanı (7) bir besleme elemanı (8) tarafından ölçme veya çıkış elemanına verilen güç yardımıyla bir kesiciyi açtıracak şekilde bir anahtarlama fonksiyonu oluşturur. Kesiciyi açtıracak olan anahtarlama fonksiyonu oluşturur. Kesiciyi açtıracak olan anahtarlama fonksiyonu için gerekli olan güç ya bir yardımcı gerilim kaynağından (8) ya da direkt olarak ölçme devresinin (1) kendisinden temin eder.



2.3.4.1. Dönüştürme Elemanı (Konverter)

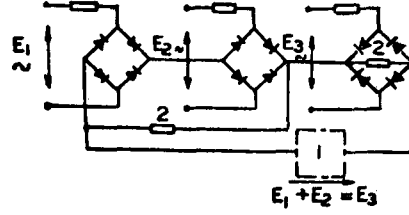
Bu eleman çıkışında istenen genlikte sinyaller elde etmek amacıyla eleman içine uygunlaştırıcı transformatörler yerleştirilir. Akım veya gerilimle çalışmak üzere yapılan bir koruma rölesi bu elektriksel büyüklüklerden birisi ile beslenir. Uygunlaştırıcı transformatör çıkışından alınan A.C akım veya gerilim bir köprü diyot yardımıyla doğrultularak dalgalı D.C akım veya gerilime dönüştürülür. Sabit ve değişken değerli dirençler, kırpma diyotları vs. gibi elemanları olan devrelerin ayarı sırasında rölenin çalışma hızı çok önemli değilse, ölçülen büyüklük bir harmonik filtresinden geçirilir. Bazı rölelerde dalgalanmaları süzmek için düzgünleştirici filtreler kullanılır fakat yüksek hızlı rölelerde bu filtreler kullanılmaz.

İki elektriksel büyüklükle çalışan rölelerde dönüştürme elemanı, röle girişlerindeki iki elektriksel büyüklükle beslenir. Her durumda akım veya gerilime dönüştürülen iki sinyal arasında genlik veya faz karşılaştırılması ya da bunların her ikisi yapılabilir. Darbe karşılaştırması yapılması durumunda değişkenlerden biri sıfırdan geçtiği zaman bir iğne darbeye dönüşür ve diğer değişken dikdörtgensel blok haline dönüştürülerek iğne darbesiyle blok çakıştığı zaman karşılaştırıcı devre çıkışında kapalı bir sinyal oluşur. Bu işlem son derece kısa bir cevap süresi oluşturur.



Şekil 2.23 İki girişli temel gerilim ve akım karşılaştırıcı.

Üç veya daha fazla elektriksel büyüklükle çalışan rölelerde dönüştürme elemanı bu giriş büyüklükleri ile beslenir. Şekil 2.24’de iki ölçme köprüsü arasındaki geri besleme direnci üçüncü köprü ile birleştirilmiştir.

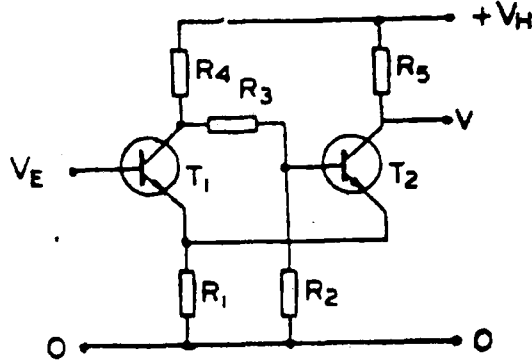


Şekil 2.24 Üç girişli temel gerilim karşılaştırıcısı.

1. Ölçme elemanı
2. Geri besleme direnci

2.3.4.2. Ölçme Elemanı

Ölçme elemanı, ölçme fonksiyonlu bir analog-binary dönüştürücüdür. En basit statik ölçme devresi şekil 2.25’de gösterilen bir Schmitt Trigger devresidir. Schmitt Trigger devresi son derece hızlı polarize olabilen bir röle ve bir seviye dedektörü gibi çalışır. Bu devrede transistörlerin emiterleri şaseye bağlı olduğu için (ortak emiter montajı) devrenin giriş direnci ve akım kazancı çok yüksektir. Giriş gerilimi belirli bir değeri aştığı zaman seviye dedektörü çıkış verir.



Şekil 2.25 Analog-Binary sinyal dönüştürücü (Schmitt Trigger)

2.3.4.3. Çıkış Elemanı

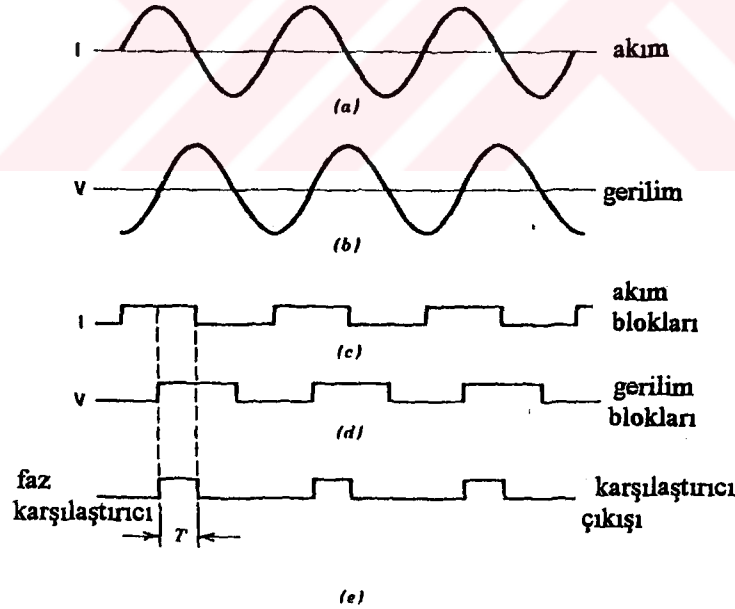
Çıkış elemanı, ölçme elemanından gelen çıkış sinyalinin kuvvetlendirir, gerekirse katlarını alır, bu sinyali diğer belirli sinyallerle birleştirebilir ve gerekirse bir zaman gecikmesi oluşturur. Çıkış elemanı sadece binary sinyalleri işlemek zorunda olduğu için bu devrenin çok hassas olması gerekli değildir, çıkış devresinde yardımcı röleler ve kontaktörler bulunabilir. Bu durum kontrol edilen devreyle kontrol eden devrelerin birbirinden bağımsız ve farklı değerlerdeki gerilimlerle çalışmasını sağlar. Çıkış devresi iki kararlı (bistable), tek kararlı (monostable) devrelerden oluşabilir gerekirse çıkış sinyali VE, VE DEĞİL lojik kapıları ve zamanlama elemanlarıyla modüle edilebilir. Çıkış elemanında kesicilerin açma bobinlerine kumanda edilmesi gibi büyük güçlerin söz konusu olduğu yerlerde tristörler kullanılır.

2.3.4.4. Besleme Elemanı

Bu elemanın görevi devrelerin çalışması için gerekli besleme gücünü temin etmektir. Besleme gücü ya tekrar şarj edilebilen Ni-Cd pillerden oluşan yardımcı kaynaktan yada akümülatör bataryalarından elde edilir. Bir çok koruma rölesinde bu güç doğrudan ölçme devresinin kendisinden temin edilir. Statik rölelerde ölçme doğruluğunun bozulmaması için statik devreleri besleyen besleme elemanı stabilize bir gerilim vermek zorundadır. Statik röleler ortaya çıkıp gelişmeye başladığı zaman ilk aşamada özellikle İngiltere’de imal edilen statik rölelerde buton piller olarak da bilinen ve tekrar şarj edilebilen Ni-Cd piller kullanılmış ancak zamanla tecrübelerle bu pillerin güvenilirliğinin az olduğu görülmüştür. Bu gün bunların yerine uygun gerilimlerde ara uçlar çıkartılmış olan sabit akümülatörler kullanılmaktadır. Bazı rölelerde besleme kaynağı doğrudan akım veya gerilim ölçü transformatörünün kendisidir. Böyle rölelerde sadece hata dedektörü tarafından bir hata tesbit edildiği zaman güç kaynağı röleye bağlanır.

2.3.5. Statik Rölelerin Koruma Uygulamalarında Kullanılması

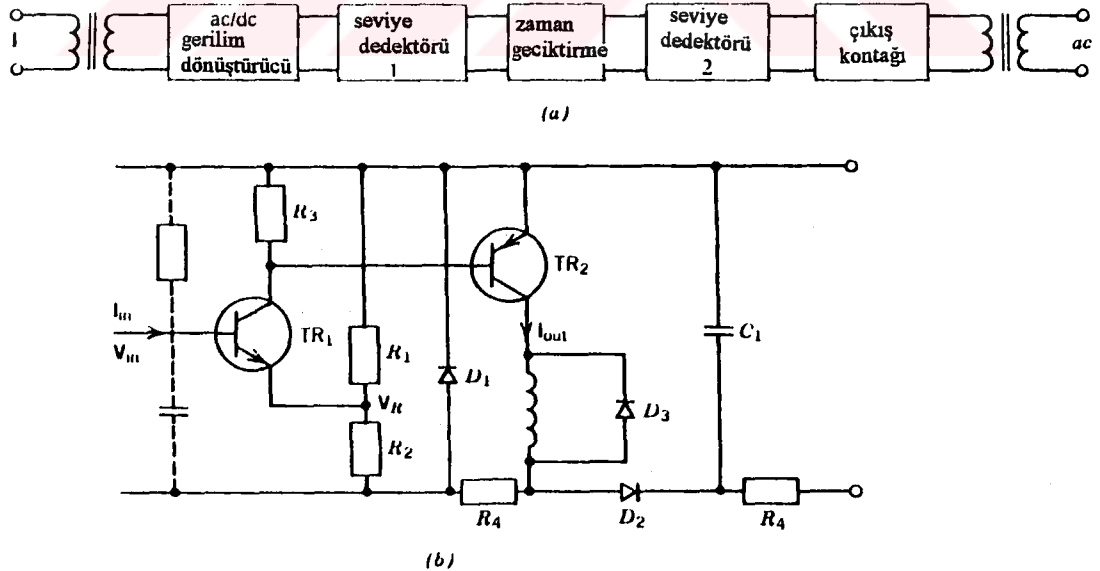
Daha öncede belirtildiği gibi statik rölelerin hareketli parçaları olmadığı için bu röleler çok hızlı çalışırlar ve cevap süreleri de çok kısadır. Bu gün statik röleler yapılarında bulunan çok yüksek güvenilirlikteki performansa sahip silikon planer transistörler yüzünden güvenilirliği son derece yüksek olan rölelerdir. Statik rölelerde akım ve gerilim büyüklükleri ile faz açılarını saptamak için uygun devre tasarımları yapılır. Şekil 2.26'da bir statik rölenin akım ve gerilim arasındaki faz açısını nasıl ölçtüğü gösterilmiştir. Şekil 2.26a ve b'de görülen sinüsoidal değişim gösteren akım ve gerilim dalgaları, sinüs dalgalarını kare dalgaya çeviren ve negatif yarım periyod boyunca sıfır çıkış veren kare dalga amplifikatörünün girişine uygulanır. (Şekil 2.26c ve d). Genel olarak kare dalgalara "blok" adı verilir ve bu bloklar sadece akım ve gerilim blokları çakıştığı zaman çıkış veren bir karşılaştırmacı devreye gönderilir. Karşılaştırmacının çıkışı akım ve gerilimin bir fonksiyonudur.



Şekil 2.26 Statik röle ile faz açısının ölçülmesi.

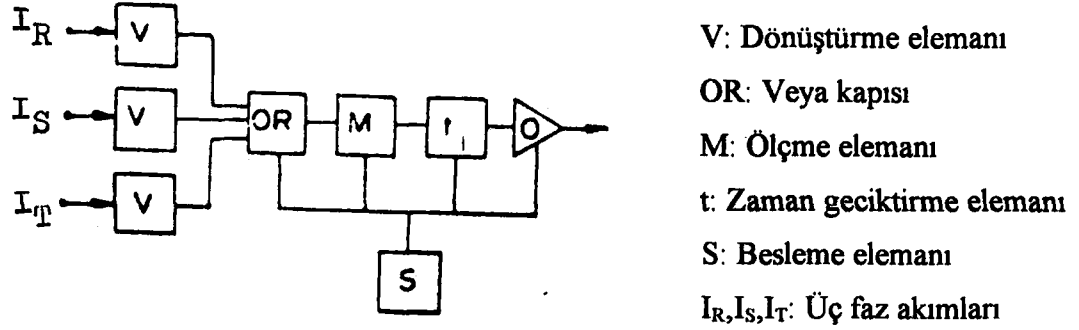
Statik rölelerde kullanılan lojik devreler (1) hata algılama ve bilgi işleme lojik üniteleri, (2) lojik kuvvetlendirme üniteleri ve (3) yardımcı lojik üniteler olarak

sınıflandırılabilir. Birinci tip lojik devrelerde hataları tesbit etmek için karşılaştırıcılar kullanılır. Ani ve ters zamanlı aşırı akımları tesbit etmek için genlik karşılaştırıcıları kullanılır. Şekil 2.27a'da bir fazlı belirli zamanlı aşırı akım rölesinde kullanılan elemanlar gösterilmiştir. Bu devrede A.C akım orantılı olarak D.C gerilime çevrilerek sabit bir D.C gerilim seviyesi ile karşılaştırılmaktadır. Referans seviye aşıldığı zaman zamanlayıcı çalışmaya başlar. Zamanlayıcının ayarlandığı zaman gecikmesi dolduğu zaman ikinci seviye dedektörü çıkış devresini çalışır hale getirir. Giriş devresi bir akım transformatöründen oluşur ve doğrultulan sekonder akımı ile bir şönt direnç beslenir. Akım transformatörünün sekonderinden ara uçlar çıkartılması suretiyle yada sekondere yük olarak bağlanmış olan şönt direncin değeri değiştirilerek rölenin akım ayarı yapılır. Zaman geciktirme ayarı, zaman geciktirme devresindeki R,C elemanlarından R direncinin kalibre edilmiş bir potansiyometre yardımıyla değerinin değiştirilmesi suretiyle gerçekleştirilir. Zaman geciktirme devresinin istenilen şartlarda by-pass edilmesi suretiyle ani çalışma gerçekleştirilir. Şekil 2.27b'de basitleştirilmiş bir seviye dedektörü gösterilmiştir. Bu dedektörün magnetik çekmeli armatürlü bir röleyi süren bir çıkış katı vardır. Giriş gerilimi ayarlanan değeri aştığı zaman her iki transistör iletme geçer ve çıkış rölesi çalışır.



Şekil 2.27 Sabit zamanlı aşırı akım rölesi
a) Blok diyagram
b) Seviye dedektörü devresi

Şekil 2.28’de bir statik aşırı akım rölesinin blok diyagramı görülmektedir. Üç fazlı sistemlerin korunmasında kullanılan statik rölelerde rölenin ekonomik olarak imal edilmesi amacıyla her faz için birer tane dönüştürme elemanı kullanılır. Bunun dışındaki devreler her üç faz içinde ortaktır.



Şekil 2.28 Ters zamanlı elektronik aşırı akım rölesinin blok diyagramı

Yarı iletken elemanlarla yapılan toprak arızalarına duyarlı mesafe rölelerinde değişken referanslı bir genlik karşılaştırıcı kullanılır. Faz karşılaştırıcı girişindeki iki elektriksel büyüklük arasındaki faz açısı çalışma değerini aşınca faz karşılaştırıcı çıkış verir. Buraya kadar anlatılan lojik devreler yüksek ve çok yüksek gerilimli enerji sistemlerini koruyan faz, mesafe ve yön rölelerinde kullanılır. Şekil 2.29’da bütün arıza çeşitlerine karşı mesafe fonksiyonları yardımıyla koruma sağlayan gelişmiş bir sistem görülmektedir.

şekil 2.29 Mesafe rölesi ile koruma prensibine dayanan SLS iletim hattı koruma sistemi blok devresi
(General Electric Company)

Şekil 2.29’da verilen SLS1000 modüler iletim hattı koruma sisteminde temel sistem kademeli mesafe korumasını gerçekleştirir. Ayrıca bu sistem bir haberleşme (kuranportör) kanalı yardımıyla hatların pilot koruma sistemiyle korunması amacıyla da kullanılabilir. Starterler olarak da bilinen faz seçiciler hata süresince hatalı olan faz veya fazları seçerler ve ölçme fonksiyonunu kontrol ederler. Her faz için birer tane faz seçici vardır. Ölçme fonksiyonu birinci bölgenin koruma sahasına göre ayarlanır. Ana ölçme fonksiyonu koruma sahası içinde arızanın ortadan kaldırılmasını temin eden faz seçicilerin aşağıda açıklanan işlemleri sonucunda açma işlemi birinci bölgeden başlatılır. Faz seçiciler kademeli mesafe koruması sağlamak üzere ölçme fonksiyonlarının da harekete geçirirler. Bu sistemde faz seçiciler aşağıdaki fonksiyonları gerçekleştirirler.

1. Bulundukları sistemin belirli bir kısmında ortaya çıkan bir arızayı tesbit etmek.
2. Tek faz toprak arızasında, arıza süresince hatalı fazları tesbit etmek.
3. Çok fazlı arızalarda arıza süresince hatalı fazları tesbit etmek.
4. Ana ölçme fonksiyonunun koruma sahasını, korunan bölgenin en uç noktasına erişecek şekilde genişletmek için zamanlamayı başlatmak.
5. Yük akımında çalışmaz ve böylece yanlış açmalara neden olmaz.

Eğer sistemde yük yoksa veya her durumda arıza akımları yük akımından çok büyükse en basit faz seçici tipi bir aşırı akım fonksiyonu olabilir. Ancak pratikte bazen arıza akımı yük akımından az olmaktadır. Bu durumda aşırı akım fonksiyonu koruma sağlayamaz. Bu nedenle hatların korunmasında arızalı hattın empedansı rölenin bulunduğu yer ile arıza noktası arasındaki mesafeye bağlı olduğu için mesafe tipi fonksiyon daha çok tercih edilir ve kullanılır.

2.4 Rölelerin Karşılaştırıcı Olarak Kullanılması

Koruma rölesinin görevi, normal ve arıza koşulları arasındaki değişikliği tesbit etmek ve bir arıza meydana geldiğinde bir sinyal göndererek kesiciyi a tırmaktır. Röle bu görevi, uygulanan büyüklüklerin değişik fonksiyonlarını ölçerek iki veya daha çok sayıdaki giriş arasında karşılaştırma yaparak veya ölçülen büyüklüğü daha önceden belirlenmiş standart referans değeriyle karşılaştırarak yerine getirir. Bu nedenle koruma rölesi de bir çeşit karşılaştırıcıdır. Muhtelif karşılaştırıcı tipleri vardır. Bunlardan rölelerde en çok kullanılanları faz ve genlik karşılaştırıcılarıdır.

Faz genlik karşılaştırıcıların arasındaki farkı görmek için aşağıdaki gibi tanımlanan A ve B büyüklüklerini göz önüne alalım:

$$A = |A|e^{j\theta} = A_p + jA_q \quad (2.21)$$

$$B = |B|e^{j\phi} = B_p + jB_q \quad (2.22)$$

A ve B büyüklükleri bir genlik karşılaştırıcının girişlerine uygulanırsa röle,

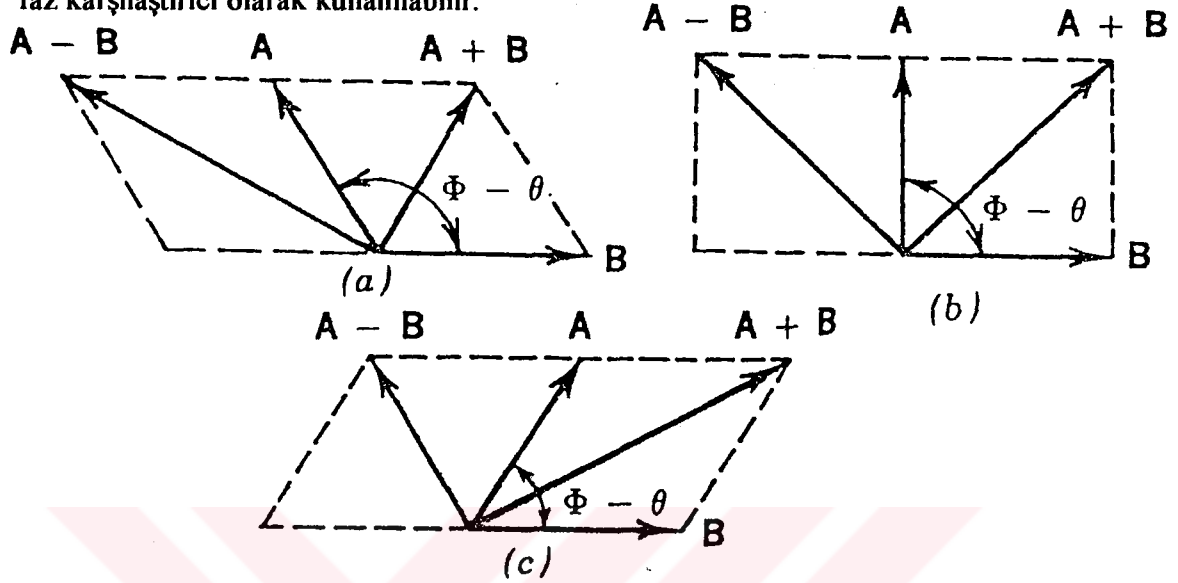
$$|A| > |B|$$

olduğu zaman çalışır. Giriş sinyalleri $|A+B|$ ve $|A-B|$ ise röle,

$$|A+B| > |A-B|$$

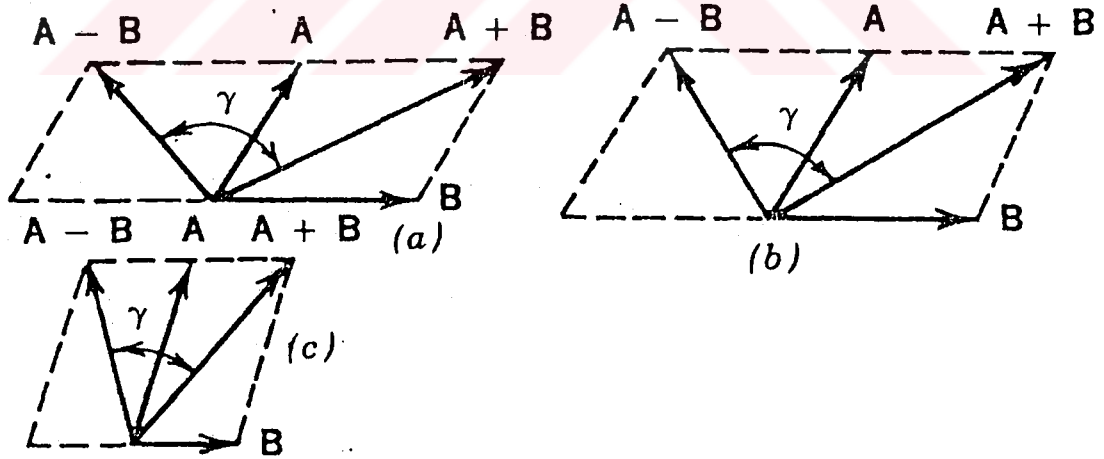
olduğu zaman çalışır. şekil 2.30' da görüldüğü gibi bu durumda röle bir faz karşılaştırıcı olarak çalışır. Bu şart ancak A ve B aynı polaritede olduğu zaman gerçekleşir. Aynı şekilde girişleri A ve B olan bir faz karşılaştırıcı A ve B aynı yönde yada polaritede olduğu zaman çalışır. Karşılaştırıcı girişleri şekil 2.31' de görüldüğü gibi $|A+B|$ ve $|A-B|$ olarak değiştilirse, $|A+B|$ ve $|A-B|$ aynı polaritede ise bu $|A| > |B|$ demektir. Bu

durumda röle bir genlik karşılaştırıcı olarak çalışır. Böylece röle girişindeki büyüklüklerin toplamının veya farkının alınması işleminin değiştirilmesi suretiyle bir genlik karşılaştırıcı faz karşılaştırıcı olarak kullanılabilir.



Şekil 2.30 Genlik karşılaştırıcı kullanarak faz karşılaştırmasının yapılması

- (a) $|A + B| < |A - B|, \Phi - \theta > 90^\circ$
 (b) $|A + B| = |A - B|, \Phi - \theta = 90^\circ$
 (c) $|A + B| > |A - B|, \Phi - \theta < 90^\circ$



Şekil 2.31 Faz karşılaştırıcı kullanarak genlik karşılaştırmasının yapılması

- (a) $|A| < |B|, \delta > 90^\circ$
 (b) $|A| = |B|, \delta = 90^\circ$
 (c) $|A| > |B|, \delta < 90^\circ$

2.4.1 Kompleks Düzlemler

İki fazör büyüklük aşağıdaki gibi tanımlansın.

$$A = |A|e^{j\theta} = A_p + jA_q \quad (2.23)$$

$$B = |B|e^{j\phi} = B_p + jB_q \quad (2.24)$$

buradan,

$$\frac{A}{B} = \left| \frac{A}{B} \right| \cos(\theta - \phi) + j \left| \frac{A}{B} \right| \sin(\theta - \phi) \quad (2.25)$$

Bu fazör büyüklüklerden B fazörü referans seçilirse,

$$\frac{A}{B} = \left| \frac{A}{B} \right| \cos\theta + j \left| \frac{A}{B} \right| \sin\theta \quad (2.26)$$

(2.26) eşitliğinin reel ve imajiner bileşimleri

$$\frac{A}{B} = \left| \frac{A}{B} \right|_p + j \left| \frac{A}{B} \right|_q \quad (2.27)$$

(2.27) eşitliğinde A gerilim, B akım ise empedans diyagramı elde edilir. Eğer (B/A) dikkate alınırsa reel bileşen kondüktans (G), imajiner bileşen süseptans (B) olur ve admittans diyagramı elde edilir. Warrington tarafından (A/B) ve (B/A) bileşenleri α ve β ile temsil edilmiştir.

$$\alpha = \frac{A}{B} = \left| \frac{A}{B} \right| e^{j(\theta - \phi)} = \left| \frac{A}{B} \right|_p + j \left| \frac{A}{B} \right|_q \quad (2.28)$$

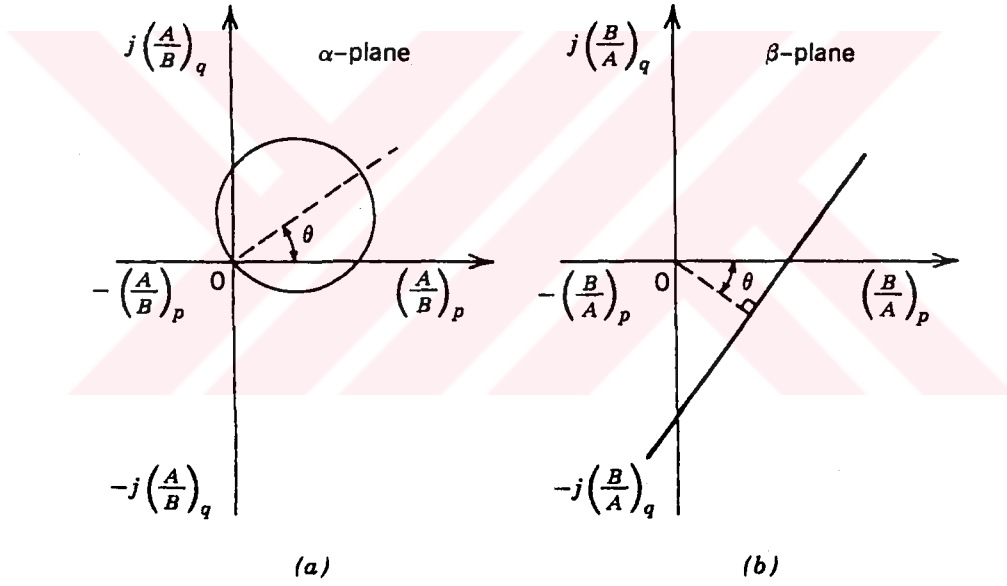
$$\alpha = \alpha_p + j \alpha_q \quad (2.29)$$

Buradan elde edilen değerlerde α düzlemine işaretlenerek α diyagramı elde edilir.

$$\beta = \frac{B}{A} = \left| \frac{B}{A} \right| e^{j(\phi - \theta)} = \left| \frac{B}{A} \right|_p + j \left| \frac{B}{A} \right|_q$$

$$\beta = \beta_p + j\beta_q \quad (2.30)$$

Buradan elde edilen değerler de β düzlemine işaretlenerek β diyagramı elde edilir. α düzleminde çizilen, orjinden geçen bir daire şeklindeki röle karakteristiği β düzleminde orijinden geçmeyen bir doğru şeklinde olur. Bu durum şekil 2.32’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.32 Röle çalışma karakteristiği (a) α düzleminde, (b) β düzleminde

2.4.2 Karşılaştırıcıların Genel Denklemleri

Şekil 2.33a’ da görüldüğü gibi koruma rölesinin lojik yapısı iki toplayıcı ve bir de karşılaştırıcıdan ibarettir. S_1 ve S_2 girişlerindeki sinyaller başlangıç çalışma koşullarına uygun ise açma işlemi başlar. S_1 ve S_2 girişleri,

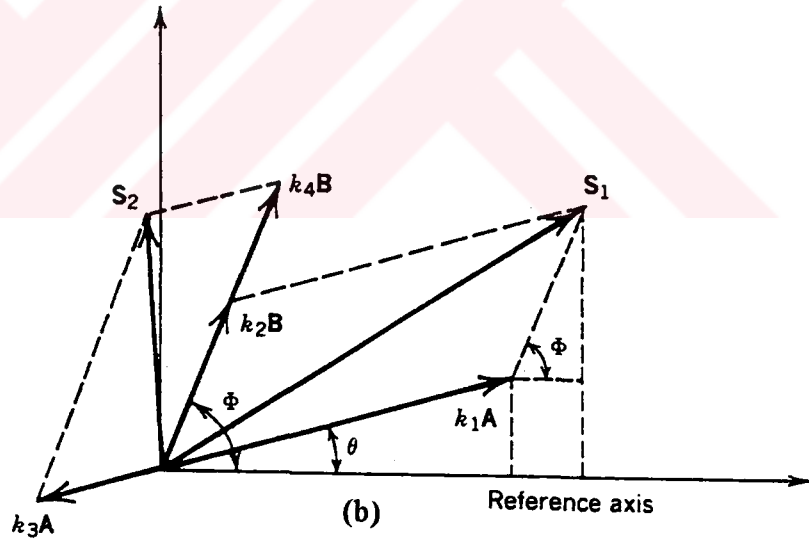
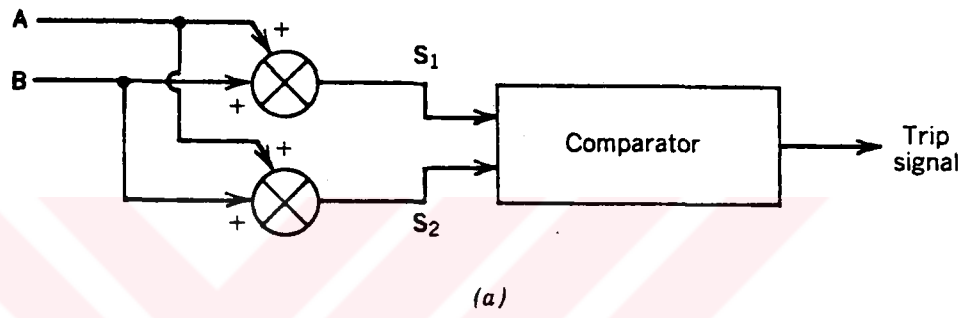
$$\begin{aligned} S_1 &= k_1 A + k_2 B \\ S_2 &= k_3 A + k_4 B \end{aligned} \quad (2.31)$$

biçiminde olup, k_1 , k_2 , k_3 ve k_4 tasarımıyla ilgili sabitlerdir. Buradan,

$$S_1 = (k_1 |A| \cos \theta + k_2 |B| \cos \phi) + j(k_1 |A| \sin \theta + k_2 |B| \sin \phi) \quad (2.32)$$

$$S_2 = (k_3 |A| \cos \theta + k_4 |B| \cos \phi) + j(k_3 |A| \sin \theta + k_4 |B| \sin \phi) \quad (2.33)$$

olarak bulunur.



Şekil 2.33 Karşılaştırıcıların genel gösterilimi

(a) Blok diyagram (b) Fazör diyagram

Şekil 2.33b' de görüldüğü gibi S_1 ve S_2 girişlerinden $|S_2| > |S_1|$ olmalıdır. Bu genlik karşılaştırma modunda çalışan karşılaştırıcı bir açma sinyali verir.

2.4.3 Genlik Karşılaştırmacı

Genlik karşılaştırmacının açma sinyali verebilmesi için $|S_2| > |S_1|$ olmalıdır. Bu durumda çalışma başlangıç sınırı, $|S_2| = |S_1|$ olmalıdır.

$$\begin{aligned} & (k_1|A|\cos\theta + k_2|B|\cos\phi)^2 + (k_1|A|\sin\theta + k_2|B|\sin\phi)^2 \\ &= (k_3|A|\cos\theta + k_4|B|\cos\phi)^2 + (k_3|A|\sin\theta + k_4|B|\sin\phi)^2 \end{aligned} \quad (2.34)$$

Bu eşitlik biraz daha düzenlenirse,

$$(k_1^2 - k_3^2)|A|^2 + 2(k_1k_2 - k_3k_4)|A||B|\cos(\phi - \theta) + (k_2^2 - k_4^2)|B|^2 = 0 \quad (2.35)$$

Her iki taraf $(k_2^2 - k_4^2)|A|^2$ terimine bölünürse,

$$\left|\frac{B}{A}\right|^2 + 2\left|\frac{B}{A}\right|\left(\frac{k_1k_2 - k_3k_4}{k_2^2 - k_4^2}\right)\cos(\phi - \theta) + \left(\frac{k_1^2 - k_3^2}{k_2^2 - k_4^2}\right) = 0 \quad (2.36)$$

$\frac{B}{A} = \beta$ dönüşümü ile,

$$|\beta|^2 + 2|\beta||\beta_0|\cos(\phi - \theta) + \beta_0^2 = r^2 \quad (2.37)$$

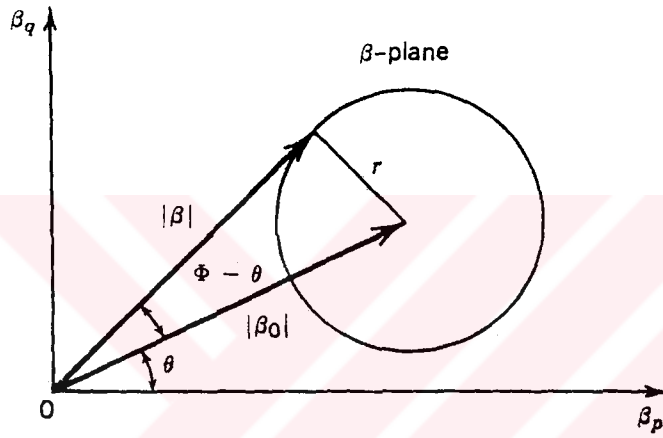
Bu ifade β ve β_0 terimleri,

$$\beta = \left|\frac{B}{A}\right|e^{j(\phi - \theta)} \quad (2.38)$$

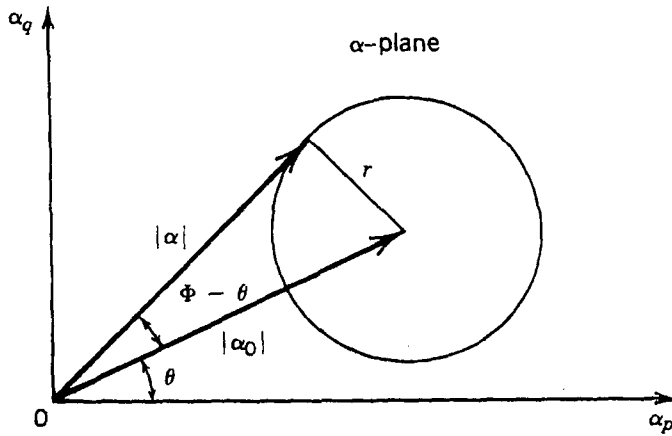
$$\beta_0 = \frac{k_1k_2 - k_3k_4}{k_2^2 - k_4^2} = |\beta_0|e^{j\theta} \quad (2.39)$$

$$r = \frac{k_1 k_4 - k_2 k_3}{k_2^2 - k_4^2} \quad (2.40)$$

(2.37) eşitliği merkezi β düzleminde β_0' da olan ve yarıçapı r olan, $|\beta_0| \cos \theta$ koordinatı β_p ve $|\beta_0| \sin \theta$ koordinatı β_q ile gösterilen şekil 2.34' deki daireyi tanımlar. Benzer şekilde (2.34) denklemi α düzlemine göre yazılırsa,



Şekil 2.34 β düzleminde karşılaştırmacının çalışma başlangıcı karakteristiği



Şekil 2.35 α düzleminde işaretlenmiş, karşılaştırmacının çalışma başlangıcı karakteristiği

$$|\alpha|^2 + 2|\alpha|\cos(\phi - \theta) + |\alpha_0|^2 = r^2 \quad (2.41)$$

Bu eşitlikte α , α_0 ve r şöyle tanımlanır.

$$\alpha = \frac{|A|}{|B|} e^{j(\theta - \phi)} \quad (2.42)$$

$$\alpha_0 = \frac{k_1 k_2 - k_3 k_4}{k_1^2 - k_3^2} \quad (2.43)$$

$$r = \frac{k_1 k_4 - k_2 k_3}{k_1^2 - k_3^2} \quad (2.44)$$

(2.41) denklemi şekil 2.35’de görüldüğü gibi α düzleminde merkezi α_0 ’da olan r yarıçaplı bir daire tanımlar.

2.4.4 Faz Karşılaştırıcı

S_1 ve S_2 giriş sinyallerinin çarpımı pozitif ise faz karşılaştırıcı açma sinyali üretir.

$$S_1 = |S_1| e^{j\theta_1} \quad (2.45)$$

$$S_2 = |S_2| e^{j\theta_2} \quad (2.46)$$

S_1 ve S_2 aynı fazda olduğu zaman bunların çarpımı maksimumdur. Bu nedenle çalışma başlangıcı,

$$\theta_1 - \theta_2 = \pm 90^\circ \quad (2.47)$$

Her iki tarafın tanjantı alınırsa,

$$\tan(\theta_1 - \theta_2) = \pm \infty \quad (2.48)$$

veya

$$\frac{\tan \theta_1 - \tan \theta_2}{1 + \tan \theta_1 \tan \theta_2} = \pm \infty \quad (2.49)$$

$$1 + \tan \theta_1 \tan \theta_2 = 0 \quad (2.50)$$

$$\tan \theta_1 = -\frac{1}{\tan \theta_2} \quad (2.51)$$

$\tan \theta_1$ ve $\tan \theta_2$ terimleri (2.32) ve (2.33) eşitlikleri yardımıyla yazılırsa,

$$\tan \theta_1 = \frac{k_1 |A| \sin \theta + k_2 |B| \sin \phi}{k_1 |A| \cos \theta + k_2 |B| \cos \phi} \quad (2.52)$$

$$\tan \theta_2 = \frac{k_3 |A| \sin \theta + k_4 |B| \sin \phi}{k_3 |A| \cos \theta + k_4 |B| \cos \phi} \quad (2.53)$$

(2.52) ve (2.53) eşitlikleri, (2.51) eşitliğinde yerine konulursa,

$$k_1 k_3 |A|^2 + k_2 k_4 |B|^2 + (k_1 k_4 + k_2 k_3) |A| |B| \cos(\phi - \theta) = 0 \quad (2.54)$$

Eşitliğin her iki tarafı $(k_1 k_4 |A|)^2$ ile bölünürse,

$$\left| \frac{B}{A} \right|^2 + \left| \frac{B}{A} \left(\frac{k_1 k_4 + k_2 k_3}{k_2 k_4} \right) \right| \cos(\phi - \theta) + \frac{k_1 k_3}{k_2 k_4} = 0 \quad (2.55)$$

$$\beta_0 = -\frac{k_1 k_4 + k_2 k_3}{2 k_2 k_4} \quad (2.56)$$

$$r = \frac{k_1 k_4 - k_2 k_3}{2 k_2 k_4} \quad (2.57)$$

$$\beta = \frac{B}{A} \quad (2.58)$$

(2.55) eşitliğinde β_0 , r ve β yerine konulursa,

$$|\beta|^2 - 2|\beta| |\beta_0| \cos(\phi - \theta) + \beta_0^2 = r^2 \quad (2.59)$$

(2.59) eşitliği r yarıçaplı, β düzleminde merkezi β_0 olan bir daire denklemdir. Benzer şekilde (2.55) eşitliği α düzleminde de tanımlanabilir.

$$\alpha = \frac{A}{B} \quad (2.60)$$

$$\alpha_0 = -\frac{k_1 k_4 + k_2 k_3}{2k_1 k_3} \quad (2.61)$$

$$r = \frac{k_1 k_4 - k_2 k_3}{2k_1 k_3} \quad (2.62)$$

terimleri (2.55) eşitliğinde yerine konulursa,

$$|\alpha|^2 - 2|\alpha||\alpha_0|\cos(\phi - \theta) + |\alpha_0|^2 = r^2 \quad (2.63)$$

(2.63) eşitliği, r yarıçaplı, α düzleminde merkezi α_0 olan bir daire denklemdir. Menteşeli armatürlü, dengeli kirişli, gölge kutuplu indüksiyon disk rölesi gibi elektromagnetik röleler genlik karşılaştırıcı olarak çalışırlar. Buna karşılık çan tipi indüksiyon rölesi gibi diğer elektromagnetik röleler de faz karşılaştırıcı olarak çalışırlar. Yarı iletken rölelerin tasarımı ise isteğe bağlı olarak genlik ya da faz karşılaştırıcı olarak çalışacak şekilde yapılabilir.

2.4.5 Rölelerin Genel Denklemi

Rölelerin çoğunda k_1 , k_2 , k_3 ve k_4 tasarım sabitlerinden en az biri sıfırdır, geriye kalanların iki tanesi genellikle birbirine eşittir. Bu nedenle pratikte incelemeler oldukça basitleşir. Örneğin, ikiden fazla girişi olmayan bir rölenin çalışmasını incelemek için aşağıdaki ifade yeterlidir.

$$T = k_a |A|^2 - k_b |B|^2 + k_c |A||B|\cos(\phi - \theta) - k_s \quad (2.64)$$

(2.64) eşitliğindeki terimler şunlardır:

- k_a, k_b, k_c : Sayısal sabitler
 k_s : Röle yayının çalışmayı engelleyici mekanik momentini temsil eden ayarlanabilir yay sabiti
 $|A|, |B|$: Karşılaştırılan elektriksel büyüklükler
 ϕ : A ve B arasındaki faz açısı
 θ : Karakteristik röle açısı (elektromagnetik rölede maksimum moment veya statik rölede maksimum çıkış)

Kararlı hal koşulları altında çalışma başlangıcında,

$$k_a |A|^2 - k_b |B|^2 + k_c |A||B| \cos(\phi - \theta) - k_s = 0 \quad (2.55)$$

(2.55) denklemi iki girişli herhangi bir röleden elde edilebilen bütün doğrusal ve dairesel karakteristikleri ifade eder. Bu büyüklükler I akımı ve V gerilimi ise,

$$k_a |I|^2 - k_b |V|^2 + k_c |I||V| \cos(\phi - \theta) - k_s = 0 \quad (2.56)$$

(2.56) eşitliğinde akım bobininin oluşturduğu moment $k_a |I|^2$, gerilim bobininin oluşturduğu moment $k_b |V|^2$, akım ve gerilim sargılarının birbirlerini etkilemesinden oluşan moment $k_c |I||V| \cos(\phi - \theta)$ ' dir.

Tek büyüklükle çalışan rölelerde (Bir girişli röle), k_s bir sabit olup bir seviye dedektörü olarak kullanılır. Ancak iki girişli rölelerde k_s değeri sıfıra indirilir. Böylece k_s sıfıra ayarlandıktan sonra (2.56) denklemi $k_b |I|^2$ ye bölünürse,

$$\frac{k_a}{k_b} - \frac{|V|^2}{|I|^2} + \frac{|V|}{|I|} \cdot \frac{k_c \cos(\phi - \theta)}{k_b} = 0 \quad (2.57)$$

$k_c=1$ ise

$$\frac{|V|^2}{|I|^2} + \frac{|V|}{|I|} \frac{\cos(\phi - \theta)}{k_b} = \frac{k_a}{k_b} \quad (2.58)$$

Eşitliğin her iki tarafına $|1/(2k_b)|^2$ eklenirse,

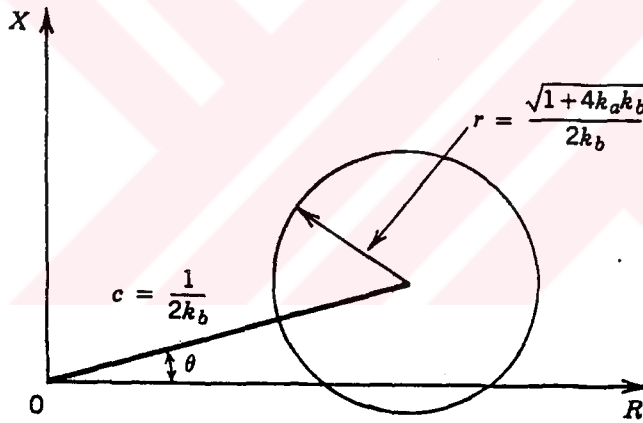
Eşitliğin her iki tarafına $|1/(2k_b)|^2$ eklenirse,

$$\left|\frac{V}{I}\right|^2 - \left|\frac{V}{I}\right| \frac{\cos(\phi - \theta)}{k_b} + \left|\frac{1}{2k_b}\right|^2 = \left|\frac{k_a}{k_b}\right|^2 + \left|\frac{1}{2k_b}\right|^2 \quad (2.59)$$

(2.59) denklemi R-X kompleks düzleminde $|V/I| \cos\phi$ ve $j|V/I| \sin\phi$ koordinatlı bir dairedir. Şekil 2.36' da görüldüğü gibi dairenin yarıçapı,

$$r = \frac{\sqrt{1 + 4k_a k_b}}{2k_b} \quad (2.60)$$

Dairenin merkezi orijinden $1/2 k_b$ uzakta, referans eksenden θ açısı kadar ileridedir.



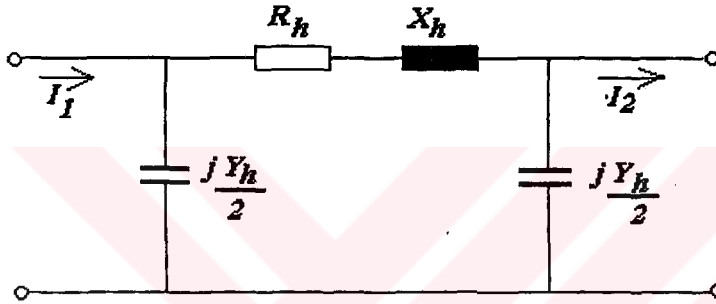
Şekil 2.36 İki girişli rölenin karakteristiği

BÖLÜM-3

MESAFE RÖLELERİ

3.1 Giriş

Mesafe röleleri ile koruma, hattın başındaki gerilimin hattan hata noktaya doğru akan akıma oranının yani hatalı olan hat kısmının empedansının hat başında rölenin bulunduğu yer ile hata noktası arasındaki uzunlukla orantılı olması prensibine dayanır.



Şekil 3.1 İletim hattının π eşdeğer devresi

Şekil 3.1' de bir iletim hattının π tipi eşdeğer devresi gösterilmiştir. Hattın km başına direnci r (Ω/km), km başına empedansı l (Ω/km) ise bu hattın empedansı;

$$Z_h = R_h + j.X_h \quad (3.1)$$

$$R_h = r.l \quad (3.2)$$

$$X_h = x.l \quad (3.3)$$

(3.2) ve (3.3) eşitlikleri (3.1) eşitliğinde yerine konulursa

$$Z_h = r.l + jx.l \quad (3.4)$$

$$Z_h = (r+jx).l$$

haline gelir.

$$z = r + jx \quad (3.5)$$

$$Z_h = z.l \quad (3.6)$$

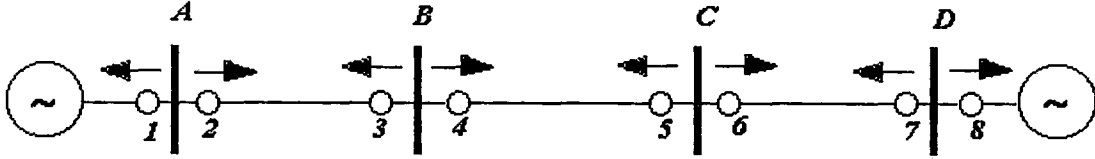
haline gelir. (3.6) eşitliğinden de görüldüğü gibi hattın empedansı hattın uzunluğu ile orantılıdır. Bu nedenle mesafe rölesinin açma zamanı hatanın besleme noktasına olan uzaklığına bağlıdır. Modern rölelerde rölenin açma zaman karakteristiği kademelidir. Zaman kademesi ayarlanabilir olup hat empedansına göre tespit edilir. Mesafe röleleri yerleştirildikleri yerin yakınında meydana gelen hatalarda kısa açma süresi ile ve uzaktaki hatalarda uzun açma süresi ile çalışırlar. Hata yeri, röle ile hata yeri arasındaki hattın empedansı ile sabit bir referans empedans değerinin röle tarafından karşılaştırılması ile tespit edilir.

Bir şebeke kısa devresinde, hattın empedansı küçüldüğü için bütün mesafe rölelerinin ikaz elemanları çalışmaya başlar ve hata noktasına kadar olan empedans ile referans empedansı karşılaştırırlar. Ancak arıza yerine en yakın olan röle en küçük empedansı, yani en kısa hat mesafesini ölçer ve en kısa açma zaman kademesinde ilk olarak bu röle açma kumandası verir. Eğer arıza yerine en yakın olan rölede herhangi bir arıza yok ise bu röle en küçük empedansı yani en kısa hat mesafesini ölçer ve en kısa açma zamanı kademesinde bu röle açma kumandası verir, diğer rölelerin açma zamanı daha uzun olduğundan onlar açma kumandası veremez. Böylece hatalı kısmın kendisine en yakın istasyon ile bağlantısı dolayısıyla beslemesi kesilir, geri kalan diğer tesisler normal olarak işletmeye devam edebilirler. Arıza yerine en yakın röle çalışmadığı takdirde bir sonraki röle biraz daha uzun açma zamanıyla açarak yedek koruma sağlar.

Birden fazla noktadan beslenen hatlarda mesafe rölelerinin sadece hata noktasını besleyen yöndeki kesicilere açma kumandası vermesi için mesafe röleleri bir de yön elemanı ile donatılırlar.

Örneğin şekil 3.2' de B ve C baraları arasındaki hat parçasının F1 noktasında meydana gelen üç fazlı kısadevre hatasında 2, 4, 5 ve 7 nolu röleler seçici koruma yapar

ve rölelerin koordinasyonu iyi yapılmışsa önce 4 ve 5 nolu röleler çalışarak kesicilere açma kumandası verir. Bu röleler çalışmazsa bu durumda 2 ve 7 nolu röleler belirli bir zaman gecikmesiyle çalışarak seçici ve yedek koruma sağlarlar.



Şekil 3.2 İki taraftan beslenen hatlarda yönlü koruma

3.2 Mesafe Rölelerinin Çalışma Karakteristikleri

Yukarıda da açıklandığı gibi mesafe rölesi, rölenin bulunduğu yer ile arıza noktası arasındaki uzaklığın bir fonksiyonu olan ve röle girişlerine uygulanan elektriksel büyüklüklere kesici veya kesicileri açtırmak üzere bir kumanda kontağının açılarak veya kapanarak pozisyon değiştirmesi suretiyle cevap veren koruma elemanıdır. Mesafe rölesi, yalnızca rölenin bulunduğu yer ile seçilen nokta arasında yer alan arızalarda çalışacak şekilde dizayn edilir. Bu nedenle mesafe rölesi bir arıza meydana geldiğinde arıza yerinin rölenin çalışma bölgesinin içindemi yoksa dışındamı olduğunu belirlemek için güç sisteminin akım ve gerilimini karşılaştırır ve hattın farklı kısımları arasında yer alan arızaları tespit eder.

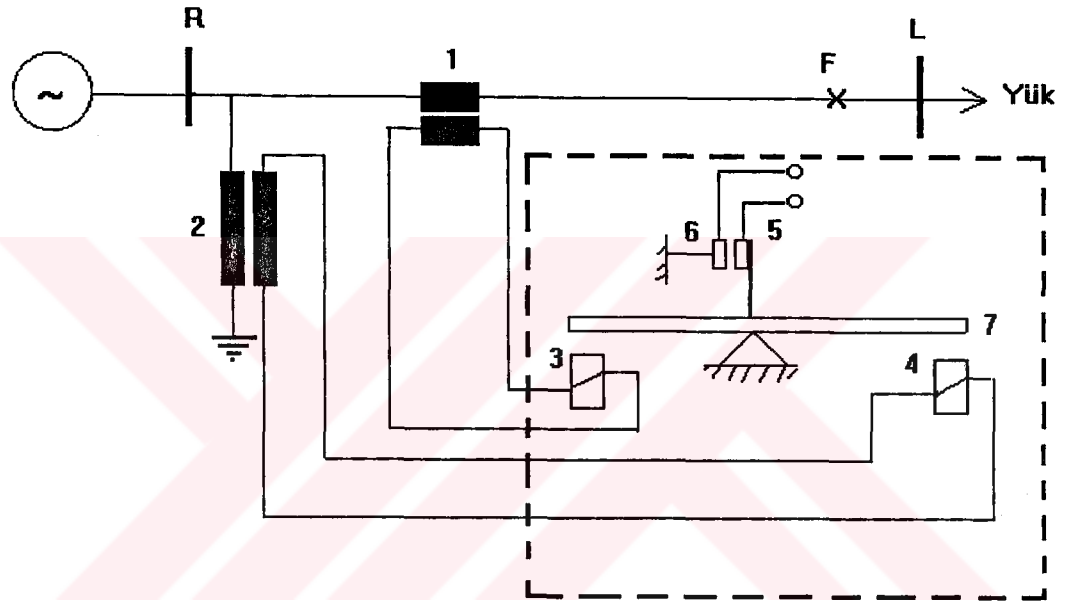
Şekil 3.3' de gösterilen bir iletim hattını göz önüne alalım: Elektromagnetik yapılı dengeli-kirişli tip (terazi tipi) mesafe rölesi R barasına yerleştirilmiştir. Mesafe rölesi standart cihaz numarası olan 21 ile gösterilmiştir.

Şekil 3.3' de R barasına yerleştirilen mesafe rölesinin akım bobinine akım transformatörünün sekonderinden alınan ve primerdeki eşdeğer arıza akımıyla orantılı akım, gerilim bobinine de gerilim transformatörünün sekonderinden arıza akımının

oluşturduğu primerdeki gerilimle orantılı bir gerilimin geldiğini kabul edelim. R barasından hattın F arıza noktasına kadar olan kısmının empedansı,

$$V_F = Z_F \cdot I_F \quad (3.7)$$

olur

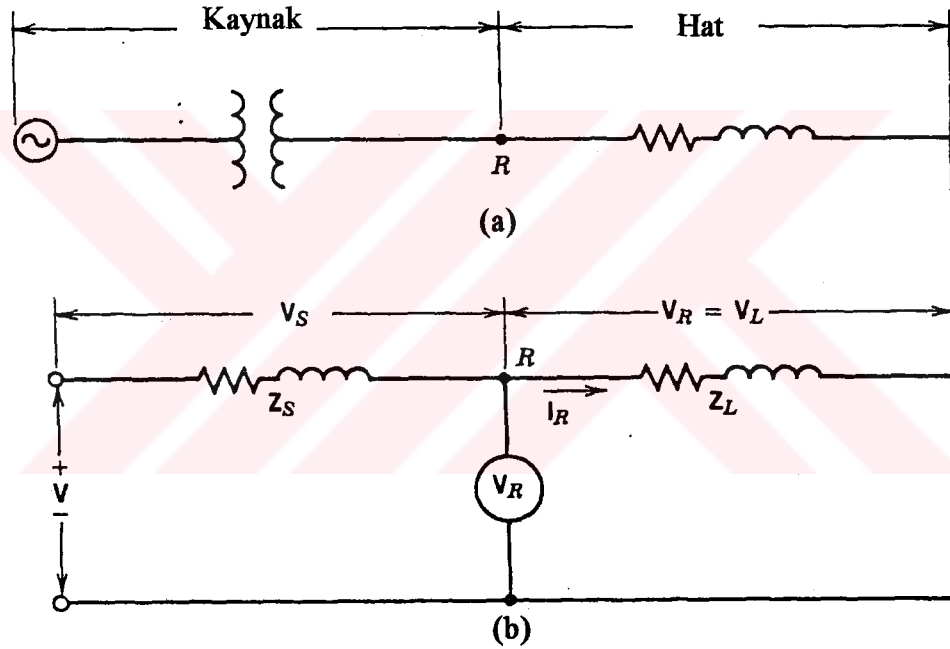


Şekil 3.3 İki bara arasındaki hat bölümünün mesafe rölesi ile korunmasına ait basitleştirilmiş devre (Bir bölgesel koruma)

- 1 Akım ölçü transformatörü
- 2 Gerilim ölçü transformatörü
- 3 Mesafe rölesi akım bobini (çalıştırma bobini)
- 4 Mesafe rölesi gerilim bobini (Engellem bobini)
- 5 Hareketli kontak
- 6 Sabit kontak
- 7 Kontakları tahrik eden giriş armatür
- F Arıza noktası

Rölenin gerilim bobini çalışmayı engelleyici momenti, akım bobini de rölenin çalışmasını sağlayan momenti oluşturur. Hatta herhangi bir hata yok iken her iki bobinin de amper sarımları birbirine eşit olduğu için röle çalışmaz. Bu noktaya rölenin denge

noktası denir. Herhangi bir hata anında gerilim bobininin amper sarımında bir değişiklik olmaksızın akım bobininin amper sarımındaki akımın artması sebebiyle ortaya çıkan herhangi bir değişiklik kırıının dengesinin bozulmasına, dolayısıyla rölenin çalışmasına neden olacaktır. (U/I) oranı daha önceden belirlenen değerin üzerinde ise engelleyici moment daha büyük olur; ve röle çalışmaz. Rölenin akım bobini ile gerilim bobini arasındaki amper-sarım dengesinin değiştirilmesi ile rölenin çalışma empedansı değiştirilir. Çalışma ve engelleyici momentlerin eşit olduğu noktalar yardımıyla R-X düzlemi üzerinde mesafe rölesinin sınır karakteristiği çıkarılır.



Şekil 3.4 a) R noktasında mesafe rölesi bulunan güç sisteminin tek hat şeması

b) Hat sonunda üç fazlı hata meydana gelmesi durumunda eşdeğer devre

Şekil 3.4' de görüldüğü gibi hat başına V gerilimi uygulanmış ve hat sonunda üç fazlı hata meydana gelmiştir. Şekil 3.4b' de gösterilen eşdeğer devredeki V gerilimi hatanın tipine bağlı olarak güç sisteminin yıldız veya üçgen açık devre gerilimi olabilir. Mesafe rölesi R noktasına yerleştirilmiştir. Bu noktada akım I_R ve gerilim V_R ' dir Z_S ve Z_L kaynak ve hat empedanslarıdır. Şekil 3.4b' deki eşdeğer devreye göre:

$$V_R = Z_L \cdot I_R \quad (3.8)$$

olur. Ancak geçen I_R akımı V gerilimine bağlıdır.

$$I_R = \frac{V}{Z_L + Z_S} \quad (3.9)$$

(3.8) ve (3.9) eşitlikleri yardımıyla V_R gerilimi,

$$V_R = \frac{Z_L}{Z_S + Z_L} V \quad (3.10)$$

veya

$$V_R = \left(\frac{1}{1 + \frac{Z_S}{Z_L}} \right) V \quad (3.11)$$

olarak elde edilir. Ancak faz arızalarında (hatalarında) V gerilimi faz arası gerilim ve (Z_S/Z_L) oranı pozitif-sequence kaynak empedansının pozitif-sequence hat empedansına oranıdır. Bu yüzden V_R gerilimi,

$$V_R = \left[\frac{1}{1 + (Z_{S1} / Z_{L1})} \right] V_{F-F} \quad (3.12)$$

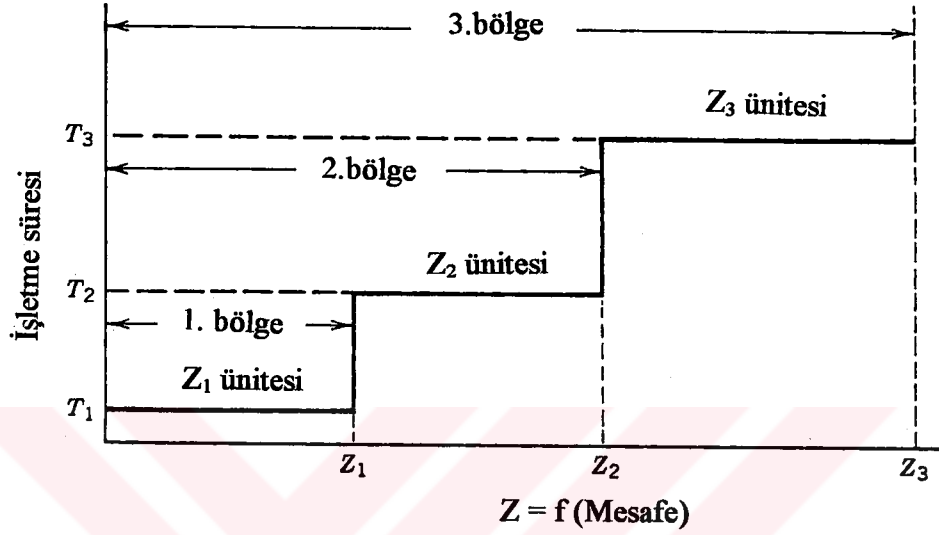
olarak bulunur. (3.12) eşitliğinde Z_{S1} ve Z_{L1} kaynak ve hat empedanslarının pozitif sequence bileşenleridir. Ancak toprak hatalarında V gerilimi faz-nötr gerilimi ve (S_S/Z_L) ise pozitif, negatif, sıfır sequence empedanslarının bileşiminden elde edilir. Bu durumda V_R röle gerilimi,

$$V_R = \left[\frac{1}{(1 + (Z_S / Z_L))} \right] V_{F-N} \quad (3.13)$$

$$Z_S = Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0} \quad (3.14)$$

$$Z_L = Z_{L1} + Z_{L2} + Z_{L0} \quad (3.15)$$

olarak bulunur.



Şekil 3.5 Empedans tipi mesafe rölesinin çalışma zamanı-empedans diyagramı

Normal koşullarda mesafe rölesi hatta bağlı yükün empedansını da ölçtüğü için koruduğu hattın empedansından daha büyük bir empedans ölçer. Bir toprak arızasında yük kısa devre olacağı için röle sadece arıza noktasına kadar olan empedansı ölçer. Oysa arıza toprak arızası değilse, örneğin bir ark arızası ise, arıza empedansı ile yükün empedansı paralel olur ve röle arızayı gerçekte olduğu yerden daha uzaktaynmış gibi tespit eder. Bu durum rölenin koruma mesafesini küçültür. Kısım bu nedenle ve kısmen de rölenin % 100 doğrulukta imal edilememesi yüzünden hattın bir sonraki baraya yakın ucunda koruma sağlamak için ikinci bir mesafe ölçüm ünitesi kullanılır. Şekil 3.5' de görüldüğü gibi bir sonraki hat bölgesinde ilk iki üniteye yedek koruma sağlamak için üçüncü bir ünite daha kullanılır.

Mesafe rölesi terimi, girişine gelen U ve I büyüklükleri yardımıyla bir empedans veya empedans bileşeni ölçen röle topluluğu için kullanılır. Mesafe röleleri akım ve

gerilimden oluşan iki elektriksel giriş büyüklüğünü R-X diyagramı üzerinde doğru şeklinde veya dairesel şekilli karakteristikleri elde etmek üzere genlik ve faz açısı yönünden karşılaştırılırlar. Başlıca mesafe rölesi tipleri şunlardır.

1. Empedans rölesi
2. Reaktans rölesi
3. Admittans (Mho) rölesi
4. Offset veya düzeltilmiş empedans rölesi
5. Ohm rölesi

Şimdi bu röle tiplerinin çalışma karakteristiklerini inceleyelim.

3.2.1 Empedans Rölesi

Dengelenmiş kırıy yapılı röleden oluşan bir genlik karşılaştırıcıda (2.35) eşitliğinin kırıyın denge noktasına başka bir deyişle çalışma sınırına uygulandığını kabul edelim. (Bakınız Bölüm 2.4)

$$(k_1^2 - k_3^2) |A|^2 + 2(k_1 k_2 - k_3 k_4) |A| |B| \cos(\phi - \theta) + (k_2^2 - k_4^2) |B|^2 = 0 \quad (2.35)$$

(2.35) eşitliğinde A ve B akım ve gerilim türündeki karşılaştırıcı rölenin girişine uygulanan büyüklükler, k_1 , k_2 , k_3 ve k_4 ise röle ile ilgili tasarım sabitleridir. Sabitler öyle ayarlanır ki, S_1 ve S_2 giriş sinyalleri,

$$S_1 = k_1 \cdot V \quad (3.16)$$

$$S_2 = k_4 \cdot V \quad (3.17)$$

olur. $k_2 = k_3 = 0$, $A = V$ ve $B = I$ olarak bunları (2.35) eşitliğinde yerine koyarsak,

$$k_1 |V|^2 = k_2 |I|^2$$

olur. Buradan,

$$\frac{V}{I} = \frac{k_4}{k_1} = k \quad (\text{sabit}) \quad (3.18)$$

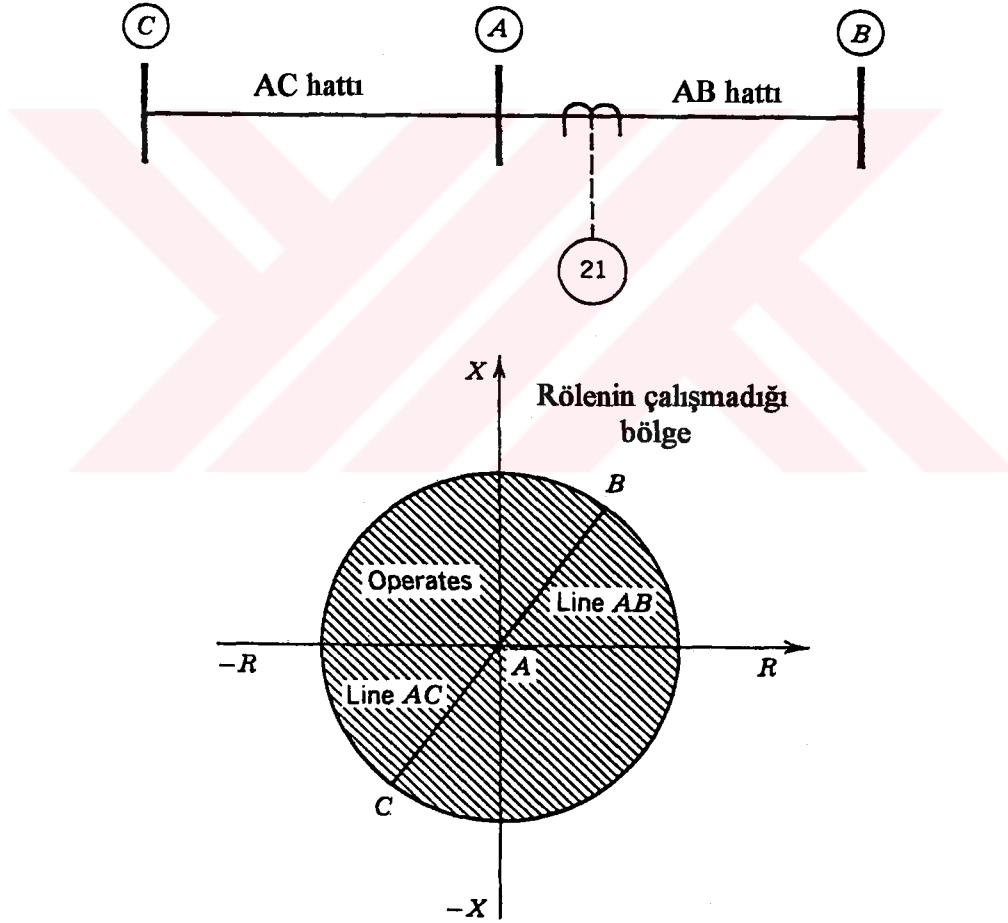
olarak bulunur. ($Z=V/I$) olduğuna göre

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{k_4}{k_1} = k \quad (\text{sabit}) \quad (3.19)$$

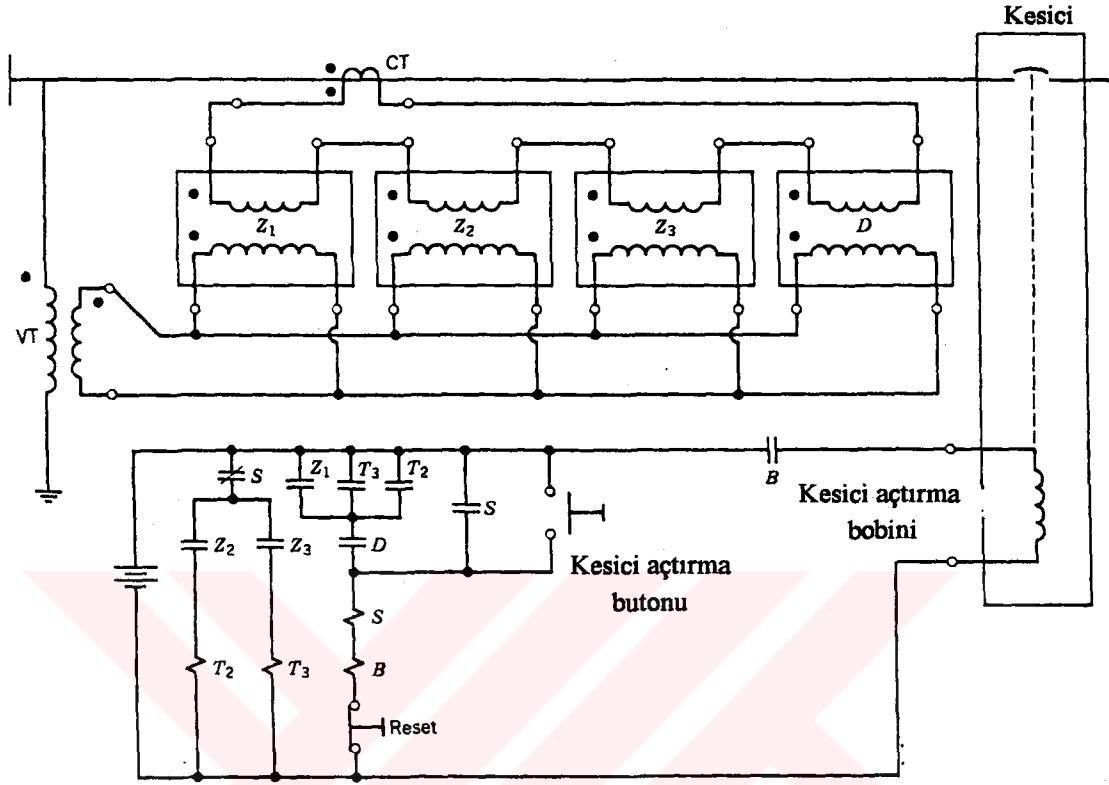
olarak empedans bulunur. (3.19) eşitliğinde de görüldüğü gibi empedans rölesi kendisine uygulanan akım ve gerilim arasındaki faz açısını dikkate almaz. Bu nedenle şekil 3.6b' de gösterildiği gibi R-X düzlemi üzerine çıkarılan empedans rölesi karakteristiği, yarıçapı ayarlandığı empedans değerine eşit ve merkezi koordinatların orijininde olan bir dairedir. Röle ayarlandığı empedanslardan küçük olan bütün empedanslarda çalışır. Yani rölenin çalışması için hattın empedansı dairenin içindeki bölgede olmalıdır.

Şekil 3.6' da gösterildiği gibi mesafe rölesi A barasına yönsüz olarak yerleştirilmiştir. AB vektörü boyunca bütün arızalarda ve A barasının gerisinde de AC empedansına kadar röle çalışır. Şekil 3.6' da mesafe rölesi A barasına yerleştirilmiştir. Şekil 3.6b' deki karakteristik eğri rölenin yönlü olmadığını göstermektedir. Bara ve hatlarda geride kalan kısımdaki arızalara karşı bölgeyi duyarsız yapmak için yön kontrolü esas çözümdür. Bu sorun bir yön ünitesi ilavesi ile çözülebilir. Şekil 3.7' de enerji iletim hattını korumak için yönlü ve üç bölgeli bir mesafe rölesinin bir faz devresinin bağlantısı gösterilmiştir. Yönlü rölenin empedans karakteristiği R-X düzleminde bir doğru şeklindedir. Yön ünitesinin ve mesafe rölesinin birleştirilmiş karakteristiği şekil 3.8' de gösterilen yarım dairedir. Z_1 , Z_2 ve Z_3 üç bölgenin empedans röleleridir. Birleştirilmiş bölgelere koruma bölgeleri denir. Pratik uygulamalarda standart olarak 1. bölge rölesi hat empedansının % 80' ine ayarlanır ve zaman gecikmesiz olarak ani çalışır. Bu nedenle 1. bölgeye "Düşük Etki Sahası" denir. 2. ve 3. bölge röleleri daha uzun mesafelere etkir ve zaman gecikmelidir. Örneğin 2. bölge rölesinin etki sahası hat terminalinin arkasına, hatta

uzaktaki baraya bağılı hatlara kadar uzanır. Bu nedenle 2. bölgeye “Aşırı Etki Sahası” denir. Genel olarak 2. bölge rölesi % 120 uzağa ve bu rölenin T_2 zaman gecikmesinde 12-18 periyoda ayarlanır. Herhangi bir olayda 2. bölge rölesinin etki sahası, yanyana hat bölümlerindeki hat rölelerinin, hattın diğer ucundaki baradaki transformatörün diferansiyel röleleri veya hattın diğer ucundaki barada bulunan diferansiyel rölelerin en yavaş çalışanı ile seçicilik sağlayacak kadar uzun olmalıdır. 3. bölgeye yanyana hat bölümlerinin yedek koruma bölgesi olduğu için ark arızası gibi empedansı yüksek, dolayısıyla ölçülen mesafeninde uzun olduğu arızalarda bile en sondaki hattın ardına kadar ulaşarak yedek koruma sağlayacak kadar etki sahası uzun olmalıdır. 3. bölge rölesi korunan iletim hattının % 250’ sine ayarlanır ve T_3 zaman gecikmesi 60 periyot olur.



Şekil 3.6 Empedans rölesinin karakteristiği



Z_1 = 1.bölge mesafe rölesi

Z_2 = 2.bölge mesafe rölesi

Z_3 = 3.bölge mesafe rölesi

D = Yön rölesi

T_2 = 2.bölge zaman elemanı

T_3 = 3.bölge zaman elemanı

B = Kesici açtırma rölesi

S = Kesici kilitleme rölesi

Şekil 3.7 Yön üniteli üç bölgeli mesafe rölesinin bir faz bağlantı devresi

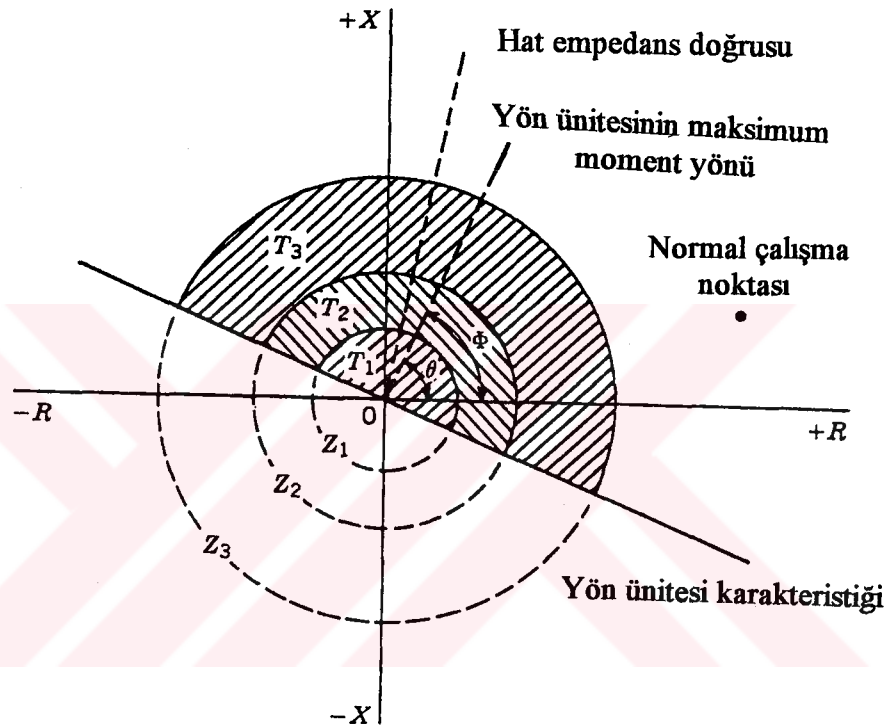
Şekil 3.8' de ϕ açısı yön rölesinin maksimum açısı ve θ açısı da hat empedans açısıdır. Bu orijin röle yerleşimini temsil eder. Belirli bir hat kısmı için Z_1 ve Z_2 ana (esas) koruma sağlar. Z_1 ve Z_2 yanyana bara ve hat bölümleri için yedek koruma sağlar.

Empedans rölelerinin bazı dezavantajları vardır. Bunlar;

1. Yön özelliği yoktur. Bu nedenle empedans rölesi bulunduğu noktanın ilerisindeki ve gerisindeki arızaları tespit eder. Bu sorunu ortadan kaldırmak için mesafe rölesinin bir yön ünitesine ihtiyacı vardır.

2. Korunan hat üzerinde ark şeklinde meydana gelen arızalarda arıza süresince ark direncinden etkilenir.

3. Empedans dairesinin büyük bir alanı kaplaması yüzünden güç salınımlarına karşı duyarlılığı yüksektir.



Şekil 3.8 Empedans tipi yönlü mesafe rölesinin çalışma ve zaman gecikme karakteristiği

Empedans röleleri faz arası gerilimlerden (üçgen gerilimleri, V_b-V_c gibi) ve hat akımları arasındaki fark akımlara (üçgen akımlar, I_b-I_c gibi) göre çalışacak şekilde yapıldıysa bunlara “Faz Röleleri” denir. Şekil 3.9’ da üçgen bağlantı da denilen böyle bir faz rölesi bağlantısı gösterilmiştir.

Faz röleleri şu empedansları tespit ederler.

$$Z_{ab} = \frac{V_{ab}}{I_{ab}} \quad (3.20)$$

$$Z_{bc} = \frac{V_{bc}}{I_{bc}} \quad (3.21)$$

$$Z_{ca} = \frac{V_{ca}}{I_{ca}} \quad (3.22)$$

Yukarıdaki empedansların tespit edilmesi için gerilim ve akımlar şöyle belirlenmelidir:

$$V_{ab} = \frac{1}{\sqrt{3}} (V_{an} - V_{bn}) \quad (3.23)$$

$$V_{bc} = \frac{1}{\sqrt{3}} (V_{bn} - V_{cn}) \quad (3.24)$$

$$V_{ca} = \frac{1}{\sqrt{3}} (V_{cn} - V_{an}) \quad (3.25)$$

$$I_{ab} = \frac{1}{\sqrt{3}} (I_a - I_b) \quad (3.26)$$

$$I_{bc} = \frac{1}{\sqrt{3}} (I_b - I_c) \quad (3.27)$$

$$I_{ca} = \frac{1}{\sqrt{3}} (I_c - I_a) \quad (3.28)$$

Faz röleleri üç faz arızalarına, bütün iki faz arızalarına ve faz-faz-toprak arızalarına uygun olarak çalışırlar. Yalnız sadece faz arası akım ve gerilim değerleriyle çalıştıkları için faz-toprak arızalarında çalışamazlar. Böyle arızalar için faz-nötr gerilimlerini, hat akımlarını ve sıfır-sequence akımlarını kullanan üç adet ilave röleye ihtiyaç vardır. Bu rölelere “Toprak Röleleri” denir. Şekil 3.9a’ da “Yıldız Bağlantı” da denilen böyle bir toprak rölesi bağlantıları gösterilmiştir. Yıldız değerlerinin simetrik bileşenlerini kullanarak yapılan arıza incelemelerinden okunabilecek şekilde yıldız değerlerinin elde edildiği durumda toprak rölesi şunları tespit edebilir.

$$Z_a = \frac{V_a}{I_a} \quad (3.29)$$

$$Z_b = \frac{V_b}{I_b} \quad (3.30)$$

$$Z_c = \frac{V_c}{I_c} \quad (3.31)$$

Toprak röleleri yalnızca bir faz-toprak arızasında değil, üç fazlı arıza ve iki faz-toprak arızasında da uygun şekilde çalışır. Yalnızca faz-faz arızasında çalışmaz.,

3.2.2 Reaktans Rölesi

İndüksiyon silindiri yapısındaki bir karşılaştırıcı göz önüne alarak karşılaştırıcının genel denklemini olan (2.54) eşitliğinin uygulanabileceği bir çalışma başlangıcı olduğu kabul edilirse,

$$k_1 k_2 |A|^2 + k_1 k_2 |B|^2 + (k_1 k_4 + k_2 k_3) |A| |B| \cos(\phi - \theta) = 0 \quad (2.54)$$

S_1 ve S_2 giriş sinyalleri aşağıdaki gibi ise,

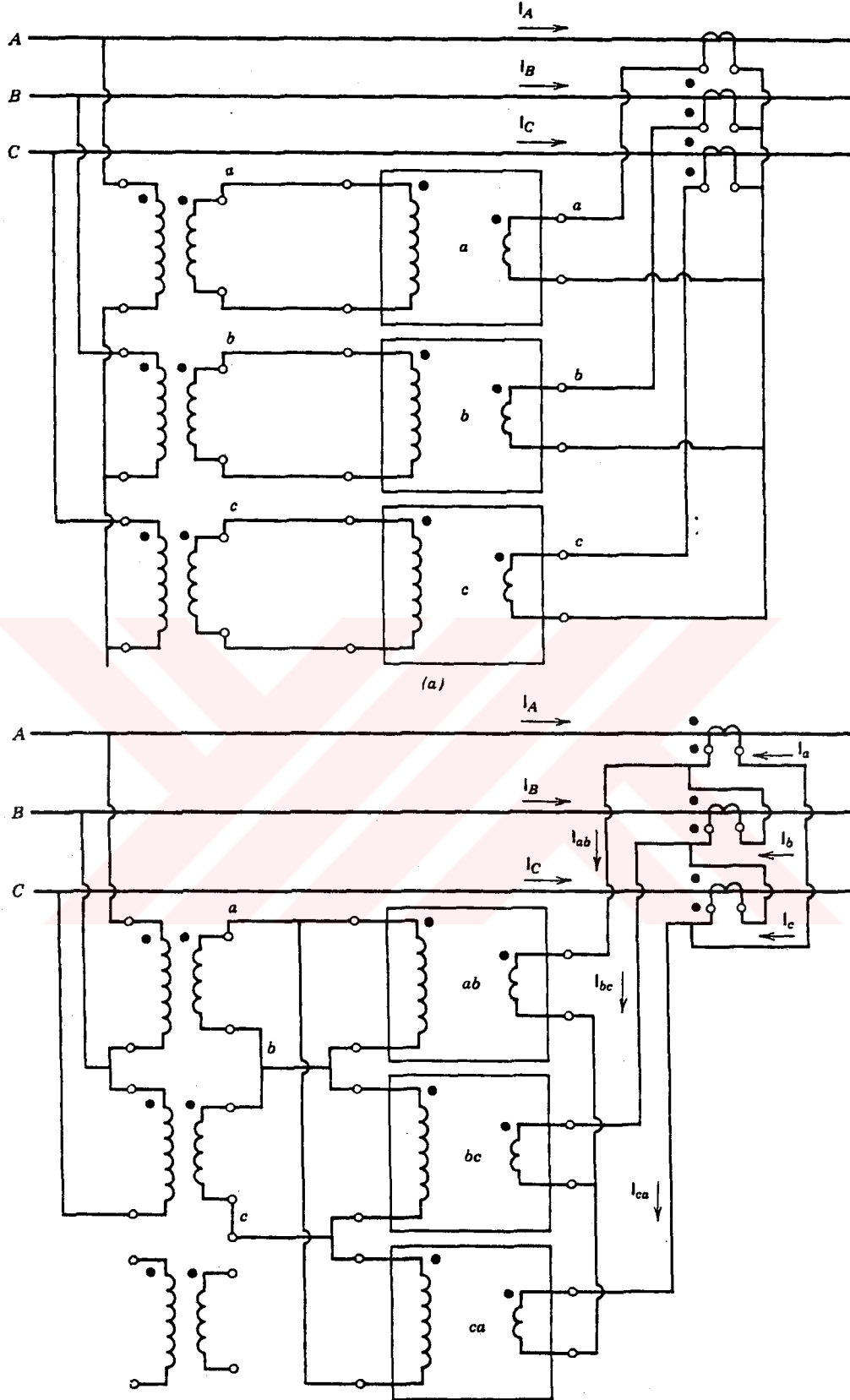
$$S_1 = -k_a V + k_b I \angle \phi - \theta \quad (3.32)$$

$$S_2 = k_b I \angle \phi - \theta \quad (3.33)$$

ve $k_1 = -k_a$, $k_2 = k_4 = k_b \angle \phi$, $k_3 = 0$, $A = V$ ve $B = V$ ise (3.32) ve (3.33) eşitlikleri (2.54) eşitliğinde yerine konulursa,

$$k_b^2 |I|^2 - k_a k_b |V| |I| \cos(\phi - \theta) = 0 \quad (3.34)$$

$$Z \cos(\phi - \theta) = \frac{k_b}{k_a} \quad (3.35)$$



Şekil 3.9 Mesafe rölesi bağlantıları (a) Toprak rölesi, (b) Faz rölesi

(3.35) eşitliğine göre,

$$\text{Eğer } \phi = \frac{1}{2}\pi \text{ ise}$$

$$Z \cdot \sin \theta = \frac{k_b}{k_a} \quad (3.36)$$

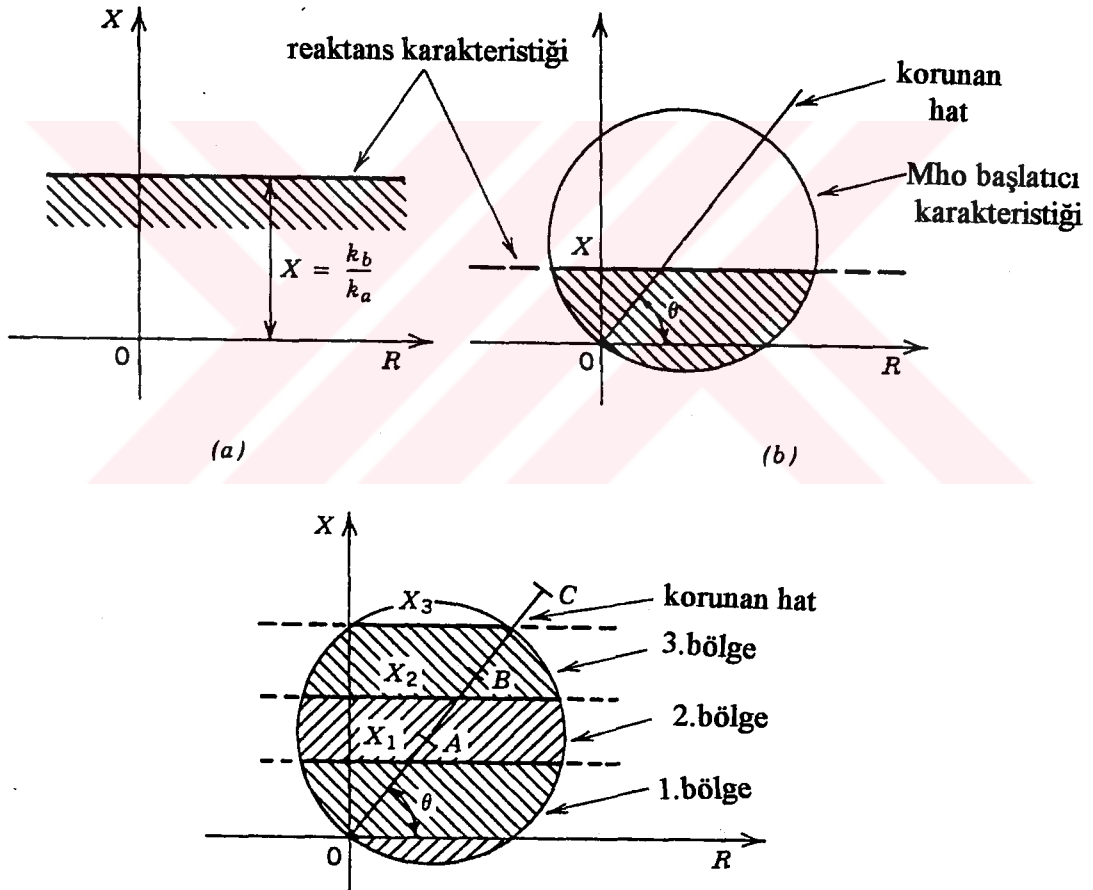
$X = Z \cdot \sin \theta$ olduğu için

$$X = \frac{k_a}{k_b} = k, \text{ (sabit)} \quad (3.37)$$

(3.37) eşitliğinden de anlaşılacağı üzere reaktans rölesinin karakteristiği şekil 3.10' da gösterildiği gibi R-X düzlemi üzerinde R yatay eksenine paralel bir doğru ile gösterilir. Reaktans rölesinin karakteristiği dirençten bağımsızdır. Röle sadece empedansın reaktans bileşenine tepki gösterir. Böylece röle, çalışma karakteristiğinin altındaki herhangi bir noktanın R ekseninin altında veya üstünde olmasına bakılmaksızın çalışır. (3.35) eşitliğinde $(\phi \neq \frac{1}{2}\pi)$ ise doğru çizgi şeklindeki karakteristik R eksenine paralel olmayacaktır. Böyle bir röleye "Empedans-açı Rölesi" denir.

Reaktans rölesi sistem empedansının sadece reaktif bileşenine cevap verdiği için bir arızada oluşan ark direncinden etkilenmez. Ancak ark direncinin değeri yüksek olursa arıza akımı ile yük akımı aynı seviyede olur ve bu durumda rölenin çalışma noktası yükün değeri ve güç faktörü ile değişebilir ve çalışma noktası koruma bölgesinin içine veya dışına getirilebilir. Bu yüzden yön seçmek ve normal koşullar altında rölenin yanlış yere çalışmasını önlemek için röleye bir gerilim tutucu ünite (mho rölesi) ilave edilir. Şekil 3.10b' de böyle bir mho ve reaktans karakteristiğinin birleşimi gösterilmiştir. Şekil 3.10c reaktans rölesinin bir bölgeyi korumak üzere kullanılmasını göstermektedir. Bu şekilde (o) rölenin bulunduğu yer, OA hattın birinci bölgesi, AB ikinci bölge, BC üçüncü bölgedir ve θ empedans açısıdır.

Reaktans rölesi sistem empedansının sadece reaktif bileşenine cevap verdiği için bir arızada oluşan ark direncinden etkilenmez. Ancak ark direncinin değeri yüksek olursa arıza akımı ile yük akımı aynı seviyede olur ve bu durumda rölenin çalışma noktası yükün değeri ve güç faktörü ile değişebilir ve çalışma noktası koruma bölgesinin içine veya dışına getirilebilir. Bu yüzden yön seçmek ve normal koşullar altında rölenin yanlış yere çalışmasını önlemek için röleye bir gerilim tutucu ünite (mho rölesi) ilave edilir. Şekil 3.10b' de böyle bir mho ve reaktans karakteristiğinin birleşimi gösterilmiştir. Şekil 3.10c reaktans rölesinin bir bölgeyi korumak üzere kullanılmasını göstermektedir. Bu şekilde o rölenin bulunduğu yer, OA hattın birinci bölgesi, AB ikinci bölge, BC üçüncü bölgedir ve θ empedans açısıdır.



Şekil 3.10 Reaktans rölesinin karakteristiği

(a) R-X düzleminde

(b) Mho ve reaktans karakteristiklerinin birleştirilmesi

(c) Bölgesel koruma uygulanması

3.2.3 Admittans (Mho) Rölesi

Bir faz karşılaştırıcıda (2.54) eşitliğinin uygulanabildiği bir çalışma başlangıcı gözönüne alınsın.

$$k_1 k_3 |A|^2 + k_2 k_4 |B|^2 + (k_1 k_4 + k_2 k_3) |A| |B| \cos(\phi - \theta) = 0 \quad (2.54)$$

S_1 ve S_2 giriş sinyalleri aşağıdaki gibi ise,

$$S_1 = -k_a V + k_b I \angle \phi - \theta \quad (3.39)$$

$$S_2 = k_a V \quad (3.39)$$

ve $k_1 = -k_a$, $k_2 = k_b$, $\angle \phi$, $k_3 = k_a$, $k_4 = 0$, $A = V$ ve $B = I$ ise (3.38) ve (3.39) eşitlikleri (2.54) eşitliğinde yerine konulursa,

$$-k_a^2 |V|^2 + k_a k_b |V| |I| \cos(\phi - \theta) = 0 \quad (3.40)$$

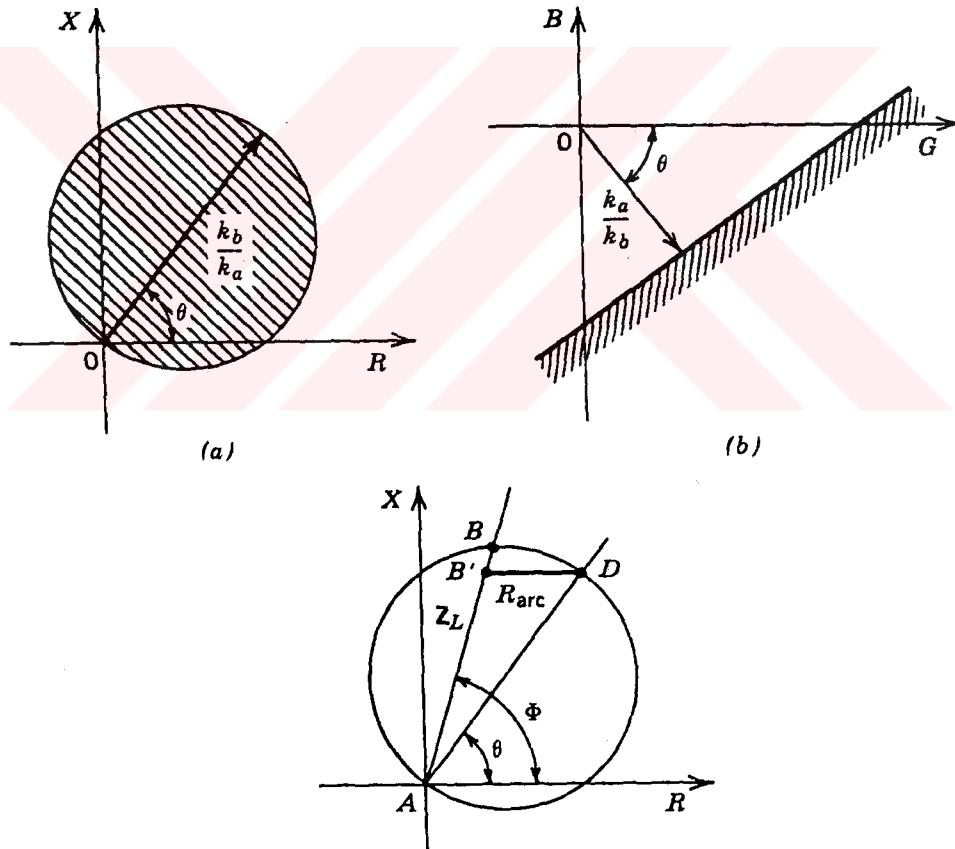
olur. Buradan,

$$\frac{I}{V} \cos(\phi - \theta) = \frac{k_a}{k_b} \quad (3.41)$$

$$Y \cos(\phi - \theta) = \frac{k_a}{k_b} \quad (3.42)$$

(3.42) eşitliği bir admittans rölesinin karakteristiğini tanımlar. Şekil 3.11a' da gösterildiği gibi (3.42) eşitliği nokta nokta R-X düzleminde çizilirse, orijinden (0,0) geçen bir daire elde edilir. Şekil 3.11b' de gösterildiği gibi (3.42) eşitliği nokta nokta admittans düzlemine (G-B) çıkarılırsa bir doğru elde edilir.

Şekil 3.11c' de elde edilen Mho rölesinin karakteristik dairesinin orijinden geçmesi doğal olarak rölenin yön özelliğine sahip olmasını sağlar. Bu nedenle Mho karakteristikli bir röle sadece bir yönde mesafe koruması yapar. Bu sayede röle ayrıca bir yön ünitesine gerek duymaz. Admittans (Mho) rölesinin koruma sınırlarının ayarı, bütün açılar için empedans ölçümünün sabit olmaması gerçeğinden dolayı arıza açısıyla değişir. Bu yüzden arıza açısı R ve X' in bağlı değerlerine bağlıdır. Bir ark kazasında, arıza açısının değişimine neden olan R_{ark} direncinin değerine bağlı olarak R değeri artacaktır. Bu durum koruma bölgesinin daralmasına neden olacaktır. Bu nedenle pratikte rölenin karakteristik hattın açısına göre ayarlanır. Böylece şekil 3.11c' de görüldüğü gibi koruma bölgesi daralmadan ark direnci gözönüne alınabilir.



Şekil 3.11 Mho rölesinin karakteristiği

(a) R-X düzleminde

(b) G-B düzleminde

(c) Arıza ark direncinin rölenin çalışma karakteristiğini daraltması

Warrington tarafından çıkarılan bir ampirik formülle ark direncinin değeri yaklaşık olarak belirlenebilir.

$$R_{ark} = \frac{8750I}{I^{1.4}} \quad (3.43)$$

(3.43) Warrington ampirik formülündeki terimler,

I : Durgun havadaki ark boyu [feet]

I : Ark akımı [A]

Ark boyu, hatlar arasındaki arızalarda iletkenler arasındaki mesafeye, hat-toprak arızalarında ise iletken ile direk arasındaki mesafeye eşittir. 2. ve 3. bölgelerdeki gibi bir bölgede arızanın ortadan kaldırılması geciktiği zaman karşı yönden gelen rüzgarın etkisiyle ark direnci ihmal edilemeyecek bir şekilde artar. Böylece özellikle 2. ve 3. bölgelerde yüksek hızlı rüzgarlar rölenin koruma bölgesinin daralmasına neden olabilirler. Bu durumda ark direnci aşağıda verilen ve Warrington tarafından çıkarılan ampirik formül yardımıyla hesaplanır.

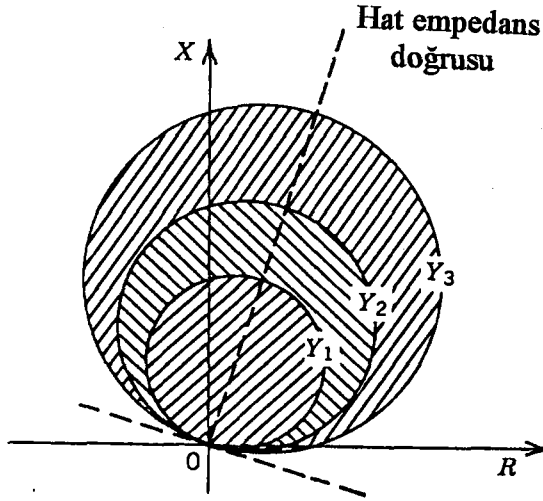
$$R_{ark} = \frac{8750 (d + 3vt)}{I^{1.4}} \Omega \quad (3.44)$$

d : İletkenler arasındaki açıklık [feet]

v : Rüzgar hızı [mil/saat]

t : Süre [saniye]

Kısa hatlarda ve gece olduğu gibi hatlardan az akım çekildiği zamanlarda ve arıza akımları 2000 A' den az olduğu durumlarda ark direncinin etkisi çok önemlidir. Şekil 3.12' de admittans rölesi ile bölge koruması gösterilmiştir. Rölenin ani çalışma bölgesinde (1. bölge) oluşan ark rölenin orta seviyedeki zamanla çalışmasına (2. bölge), orta zamanlı çalışma bölgesindeki (2. bölge) ark rölenin yedek zamanlı çalışmasına (3. bölge) ve yedek koruma bölgesindeki (3. bölge) ark ise rölenin tamamen çalışmamasına neden olur.



Şekil 3.12 Üç bölgeli admittans rölesinin çalışma karakteristiği

Rölenin ani çalışma bölgesi olan 1. bölgede bir ark arızası meydana gelirse, rölenin ani olarak çalışmaya kadar ark önemli miktarda uzayabilir ve bu nedenle ark direnci artar. Rölenin çalışması açısından ark direncinin başlangıç değeri önemlidir.

3.2.4 Offset Mho (Değiştirilmiş Empedans) Rölesi

Bir faz karşılaştırıcının girişlerine aşağıdaki gibi S_1 ve S_2 sinyalleri geldiği varsayılırsa,

$$S_1 = -k_a V + k_2 I \angle \phi - \theta \quad (3.45)$$

$$S_2 = k_a V + k_4 I \angle \phi - \theta \quad (3.46)$$

(3.45) ve (3.46) eşitliklerinde, $k_1 = -k_a$, $k_2 = k_2 \angle \phi$, $k_3 = k_a$, $k_4 = k_4 \angle \phi$, $A = V$ ve $B = I$ dir. (3.45) ve (3.46) eşitlikleri genel karşılaştırıcı denklemi olan (2.54) eşitliğinde yerine konulursa,

$$-k_a^2 V^2 + k_2 k_4 I^2 + k_a (k_2 - k_4) \cdot V \cdot I \cdot \cos(\phi - \theta) = 0 \quad (3.47)$$

Eşitliğin her iki tarafı (I^2) ' ye bölünürse,

$$-k_a^2 Z^2 + k_2 k_4 + k_a Z (k_2 - k_4) \cos(\phi - \theta) = 0 \quad (3.48)$$

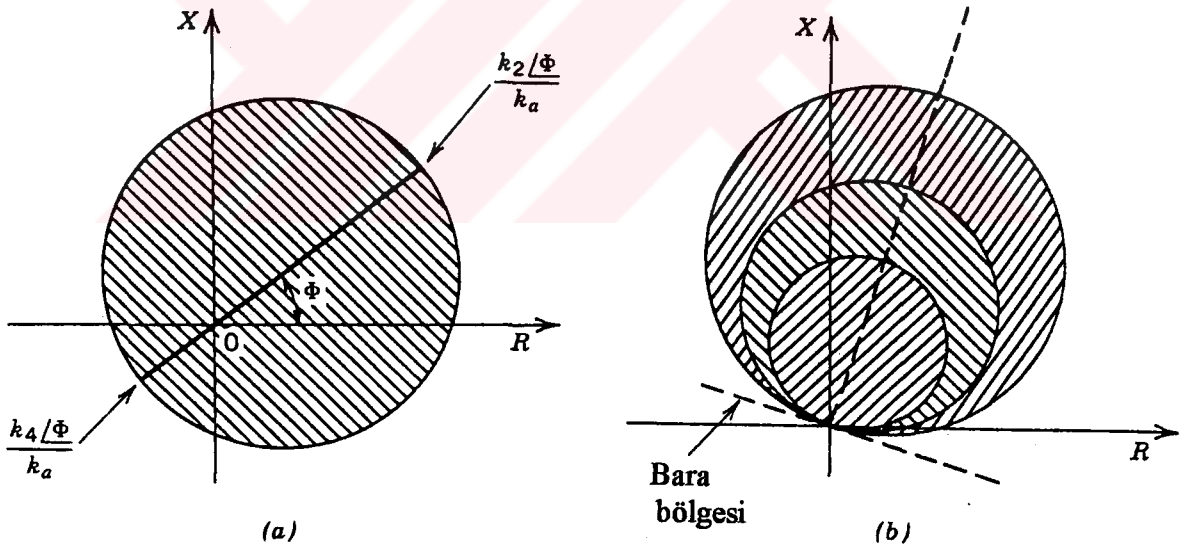
$Z^2 = R^2 + X^2$ koyarak eşitliğin her iki tarafını $(-k_a^2)$ 'ye bölünürse,

$$R^2 + X^2 - \frac{k_2 k_4}{k_a^2} - \frac{k_2 - k_4}{k_a} (R \cos \phi + X \sin \phi) \quad (3.49)$$

elde edilir. Bu eşitlik biraz daha düzenlenirse,

$$\left[R - \frac{(k_2 - k_4) \cos \phi}{2k_a} \right]^2 + \left[X - \frac{(k_2 - k_4) \sin \phi}{2k_a} \right]^2 = \left[\frac{k_2 + k_4}{2k_a} \right]^2 \quad (3.50)$$

olarak karakteristik denklem elde edilir.

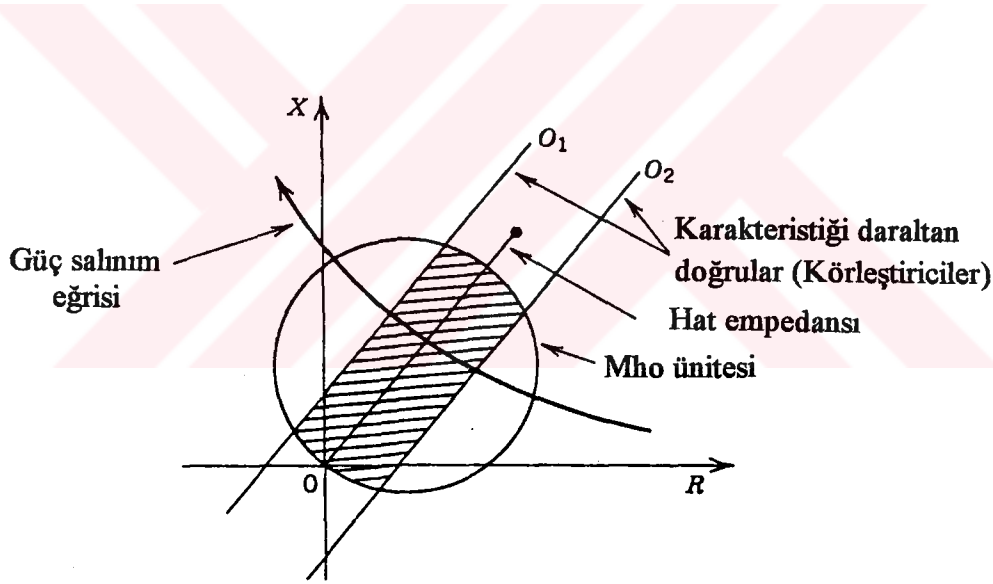


Şekil 3.13 Offset Mho rölesi karakteristiği

Şekil 3.13' de görüldüğü gibi bu rölenin R-X düzlemindeki karakteristiği, yarıçapı $[(k_2 + k_4) / 2k_a]$ olan ve merkezi $[(k_2 - k_4) / 2k_a \cos \phi]$ de bulunan bir dairedir. Besleme noktasında yakın bir yerdeki arıza durumunda admittans (mho) rölesine sıfır veya sıfıra

yakın bir gerilim uygulandığı zaman gerilim devresinden bir akım geçmedikçe röle hatalı çalışabilir. Bu nedenle şekil 3.13a' da gösterildiği gibi mho karakteristiği orijin noktasını içine alacak şekilde kaydırılır. Offset ve mho ünitesi, mho ölçme üniteleriyle birlikte arıza dedektörü ve 3.bölge ölçüm ünitesi olarak kullanılır. Geri yönde bara bölgesini de kapsayacak şekilde rölenin koruma bölgeleri genişletilerek şekil 3.13b' de görüldüğü gibi offset mho ünitesi bara arızaları için yedek koruma imkanı sağlar. Ancak reaktans ölçme ünitelerinin bara arızalarında ana koruma bölgeleri arasındaki ayırımı ortadan kalkmasına sebep olarak ani çalışmalarından dolayı yukarıdaki özellik reaktans üniteli devrelerde görülemez.

3.2.5 Ohm Rölesi



Şekil 3.14 Ohm rölesinin güç salınımlarında kullanılması

$$Z \cdot \cos(\phi - \theta) = \frac{k_b}{k_a} \quad (3.35)$$

(3.35) eşitliğinden elde edilen ohm rölesi karakteristiği R-X diyagramı üzerinde bir doğru şeklindedir. Buradan hareket ederek reaktans rölesinin ohm rölesinin özel bir

hali olduğu söylenebilir. Empedans açma rölesi de denilen bu röleler uzun hatlardaki şiddetli güç salınımları sebebiyle mesafe rölelerinin kesicileri açtırmalarını önlemek için körleştirici eleman olarak kullanılırlar. Sistemden kaynaklanan şiddetli salınımların süresince salınım kaynağını sistemden ayırmadıkça tüketiciye iyi hizmet verilemez. Sistemdeki bozulmaları minimuma indirmek için ohm ünitelerine sahip bir açma düzeni kullanılır. Şekil 3.14' de görüldüğü gibi bu düzen, karakteristikleri her iki yönden empedans vektörüne paralel olan iki adet ohm ünitesi içerir. Salınım süresince empedans değiştiği için, ohm üniteleri çalışmaya başladıktan sonra empedansı temsil eden nokta Q_1 ve Q_2 doğruları arasında güç salınım eğrisi üzerinde hareket eder. Güç salınımı olmadığı zaman empedans vektörünün dışında koruma olmadığından bu düzen arıza durumlarında çalışmaz, sadece güç salınımı süresince çalışır.

3.3 Mesafe Rölelerinin Yapısı

Mesafe rölesi, çeşitli fonksiyonları olan rölelerden meydana gelmiş bir röle kompleksidir. Mesafe rölesinin görevi, elektrik tesislerinde bir kısa devre meydana geldiğinde arıza noktasının besleme noktasından uzaklığına bağlı bir açma süresi ile kısa devre enerjisinin akış yönüne uygun olarak devreyi açmaktır. Mesafe rölesi bu görevi aşağıda açıklanacak elemanlar yardımıyla yerine getirir.

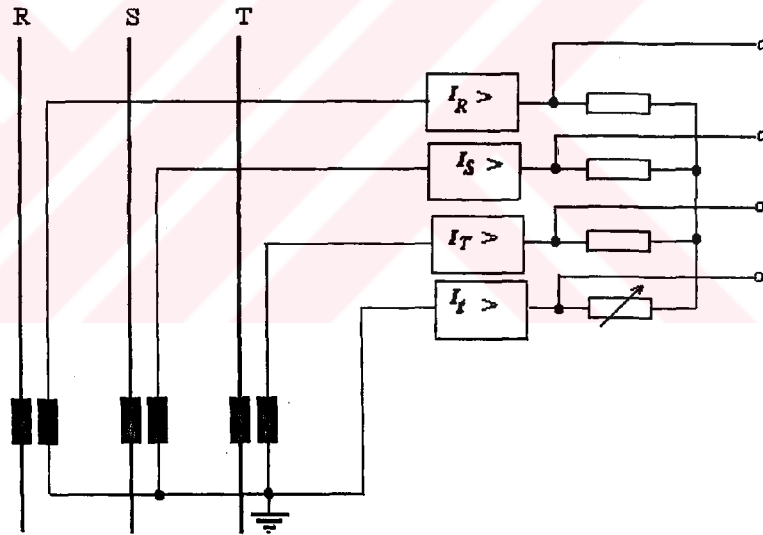
3.3.1 Uyarma (Başlatma) Elemanı

Uyarma elemanın görevi, bir arıza halinde röleyi faaliyete geçirmektir. R, S ve T fazları arasında meydana gelebilecek toprak teması veya toprak temassız her türlü kısa devre halinde uyarma elemanının gecikmesiz olarak faaliyete geçerek, mesafe ölçme elemanının doğru bir şekilde arıza devresine bağlanmasını, yön elemanı ile zaman elemanının faaliyete geçmesini sağlar ve arızanın hangi fazda olduğunu tespit eder. Çeşitli hata durumlarına göre ölçme için gerekli gerilim ve akım değerlerini de uyarma elemanı sağlar.

Yapılış ve çalışma tarzı bakımından aşırı akımla, düşük gerilimle ve düşük empedansla uyarma elemanları yaygın olarak kullanılır. Aşağıda bu uyarma türleri açıklanmıştır.

3.3.1.1 Aşırı Akımla Uyarma

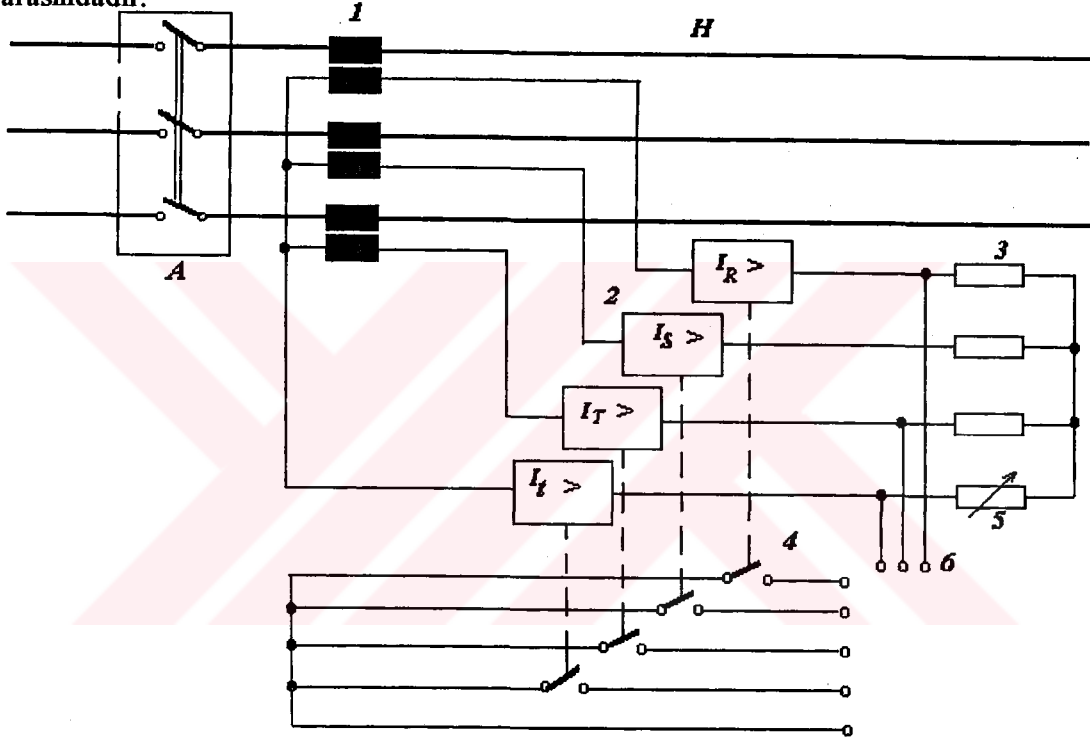
Eğer en küçük kısa devre akımı her zaman ve kesin olarak en büyük işletme akımından büyük ise, hat akımının kontrol edilmesi yeterlidir, buna aşırı akımla uyarma adı verilir. Bu durumda uyarma elemanı olarak bir aşırı akım rölesi kullanılabilir. Genel olarak yıldız noktası direkt topraklanmış şebekelerde kullanılan mesafe rölelerinde R, S ve T fazlarında üç adet ve endüktif topraklanmış şebekelerde kullanılan mesafe rölelerinde ise yalnızca R ve T fazlarına iki adet aşırı akım uyarma elemanı bulunur.



Şekil 3.15 Yıldız noktası yalıtılmış veya kompanze edilmiş şebekelerde aşırı akımla uyarma

Yıldız noktası yalıtılmış veya Peterson bobini üzerinden topraklanmış O.G. şebekelerinde çift toprak temaslarının tespiti için R ve T fazlarındaki iki akım transformatörü toplam akım yolu üzerine bağlanır. Yıldız noktası direkt topraklanmış şebekelerde her üç iletken ile toplam akım yolu üzerine birer akım transformatörünün bağlanması gerekir.

Aşırı akımla uyarmanın ayarlanması rölelerin faaliyete geçme ve geri dönüş değerlerini dikkate almak gerekir. Normal olarak uyarma elemanı düşük değerlere ayarlanarak hattın iletebileceği güç gereksiz yere küçültülmemelidir. Akım transformatörleri sürekli olarak $1.2 I_n$, büyük transformatörler ise $2 I_n$ değerine kadar aşırı yüklenebilirler. Örneğin paralel hatlarda hatlardan birinin açılmasıyla bütün güç devrede kalan hat üzerinden iletebilir. Bu durumda uyarma elemanları gereksiz yere faaliyete geçmemelidir. Aşırı akım uyarma rölelerinin ayar bölgeleri normal olarak $1-2 I_n$ değerleri arasındadır.



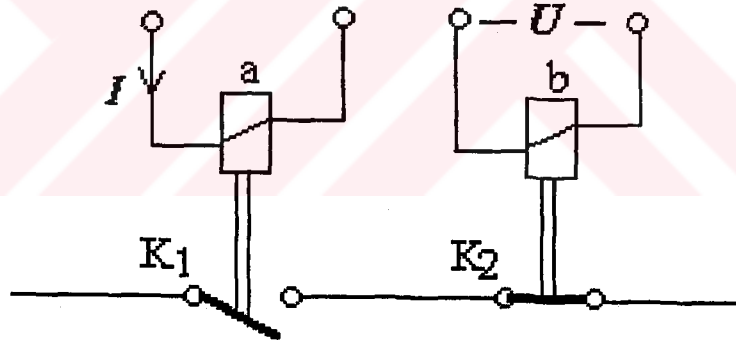
Şekil 3.16 Yıldız noktası direkt topraklanmış şebekede aşırı akım uyarma elemanlarının bağlanması

- | | |
|---|--|
| H | Korunacak hat |
| A | Kesici |
| 1 | Ana akım transformatörleri |
| 2 | Aşırı akım röleleri |
| 3 | Yük dirençleri |
| 4 | Kumanda kontakları |
| 5 | Topraktan geçen akımla orantılı gerilim elde etmeye yarayan ayarlı direnç |
| 6 | Mesafe ölçme elemanını ve yön elemanını beslemek için hata akımı ile orantılı gerilim. |

Akım transformatörlerinin yıldız noktasına bağlanan iletken üzerinde de toplam akım uyarma elemanı bulunuyorsa, bu rölenin ayar bölgesi $0.4-1 I_n$ arasındadır. Şekil 3.15 ve 3.16' da görüldüğü gibi aşırı akım uyarma röleleri birer direnç ile seri bağlanmıştır. Bu dirençler kısa devre akımlarıyla orantılı gerilim büyüklüklerinin elde edilmesi için kullanılır.

3.3.1.2 Düşük Empedansla Uyarma

Tüketiciler tarafından çekilen gücün çok azaldığı zamanlarda oldukça az sayıda santral tarafından beslendiğinden, ortaya çıkan kısa devre akımları puant zamanında çekilen en büyük yük akımı mertebesinde veya daha küçük olabilir. Bu durumda aşırı akımla uyarma yapılamaz. Aşırı akımla uyarma yerine veya aşırı akımla uyarmanın yanısıra düşük empedanslı uyarma yapılır.



Şekil 3.17 Bir aşırı akım rölesi ve bir düşük gerilim rölesinden meydana gelen düşük empedans uyarma elemanı

Düşük empedansla uyarma elemanı çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir. Bunlardan en basiti bir aşırı akım rölesi ile bir düşük gerilim rölesinden meydana gelen bağlama tarzıdır. Bu bağlantıda, aşırı akım rölesinin açık kontağı ile, düşük gerilim rölesinin kapalı kontağı seri bağlanmıştır. Şekil 3.17' de bu uyarma tarzı şematik olarak gösterilmiştir.

Şekil 3.17' de gösterilen düşük empedans uyarma elemanında örnek olarak (a) ile gösterilen aşırı akım rölesi $0.5 I_n$ değerine ve (b) ile gösterilen düşük gerilim rölesi $0.75 U_n$ değerine ayarlanmıştır. I akımı normal olduğu zaman K_1 kontağı açık ve U gerilimi normal değerinde ise düşük gerilim rölesi enerjilenerek K_2 kontağını açmış olur. Bir kısa devre durumunda I akımı yükselir ve K_1 kontağı kapanır, arıza sebebiyle U geriliminin de düşmesi sebebiyle K_1 kontağı kapalı kalır. K_1 ve K_2 kontağı seri olduğundan uyarma devresi kısıadevre sebebiyle bir kumanda sinyali verir.

En çok kullanılan düşük empedansla uyarma elemanı elektromekanik veya elektrikli terazi kollu röledir. Şekil 3.18' de elektromekanik ve şekil 3.19' da da elektrikli terazi kollu röle gösterilmiştir. Terazi kollu rölelerde akım ve gerilimin mutlak değeri birbiri ile karşılaştırılır. Şekil 3.18' de gösterilen elektromekanik rölede, terazi kolu orta noktasında hareket edecek şekilde yataklanmıştır. Kolun bir ucundaki gerilim bobininin bulunduğu elektromıknatıs,

$$T_u = k_u \cdot U^2 \quad (3.51)$$

momentini ve kolun diğer ucundaki akım bobininin bulunduğu elektromıknatıs,

$$T_i = k_i \cdot I^2 \quad (3.52)$$

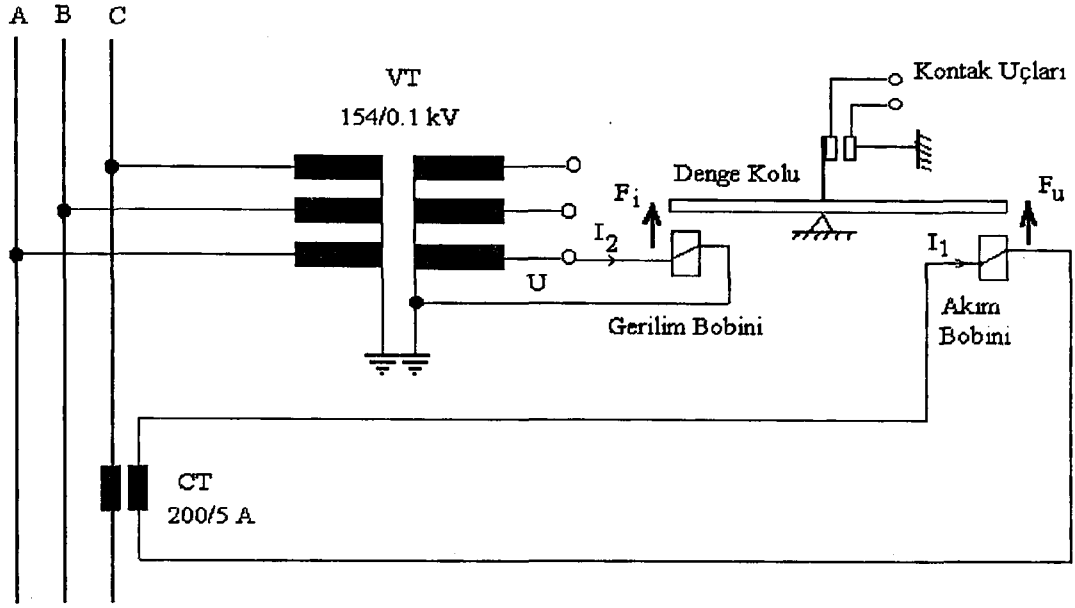
momentini meydana getirir. Denge durumunda

$$T_u = T_i \quad (3.53)$$

Yani;

$$k_u \cdot U^2 = k_i \cdot I^2 \quad (3.54)$$

olur. Buradan rölenin faaliyete geçme empedansı:



Şekil 3.18 Elektromekanik terazi kollu rölenin düşük empedans uyarma elemanı olarak kullanılması

VT : Gerilim ölçü transformatörü (154/0.1 kV)

CT : Akım ölçü transformatörü (200/5 A)

I_2 : Gerilim bobininden geçen akım

I_1 : Akım bobininden geçen akım

F_i : Akım bobininin oluşturduğu, röleyi çalıştıran kuvvet

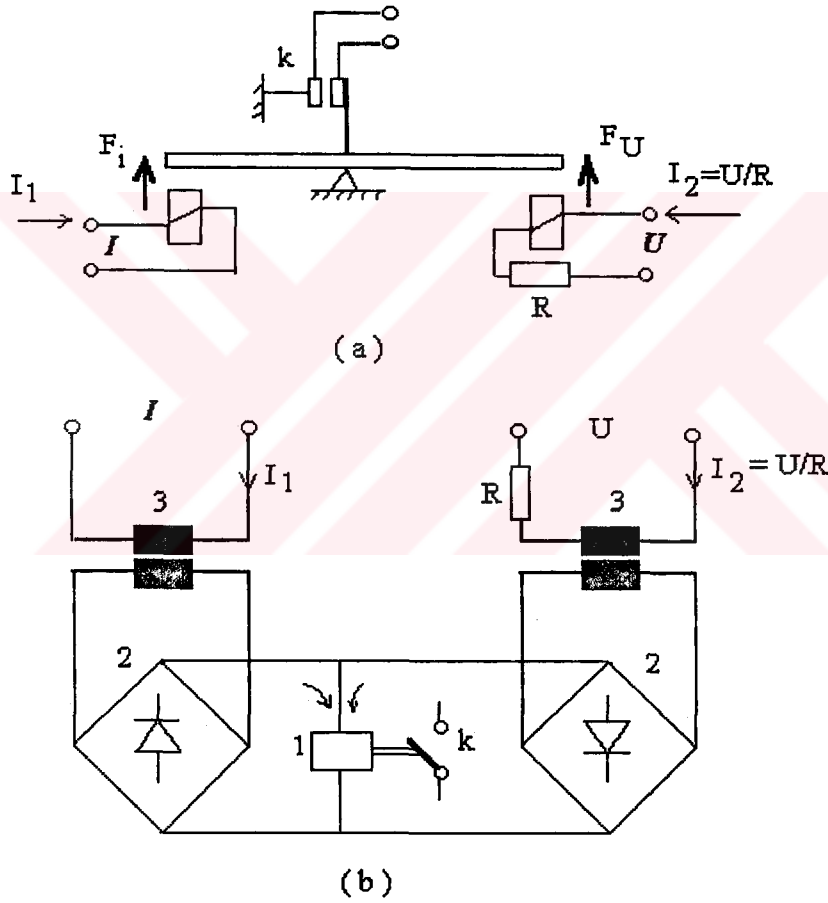
F_u : Gerilim bobininin oluşturduğu, çalışmayı engelleyen kuvvet

$$Z_f = \frac{U}{I} = \sqrt{\frac{k_i}{k_u}} \quad (3.55)$$

elde edilir. Burada k_i ve k_u bobinlerle ilgili sabitlerdir.

Bir arıza halinde $T_u < T_i$, yani $Z_f < \sqrt{k_i/k_u}$ olduğundan terazi kolunun dengesi bozulur ve röle kumanda kontağını kapatır.

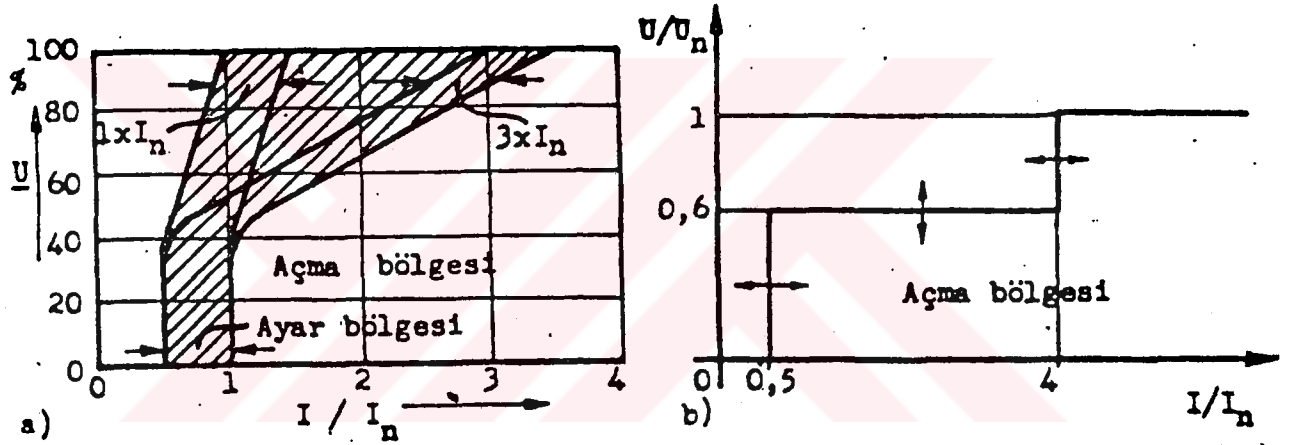
Mekanik terazi kolu yerine istenen karşılaştırma elektriksel olarak da yapılabilir. Şekil 3.19' da elektriksel terazi kollu rölenin yapısı gösterilmiştir. Bu düzende iki adet küçük yardımcı ölçü transformatörlerinin sekonder taraflarında primer akım ve primer gerilimle orantılı akım ve gerilim değerleri köprü doğrultucular tarafından doğrultulur ve diferansiyel bağlantıda birbiriyle karşılaştırılır. Köprü doğrultucuların diferansiyel bağlantı elde etmek amacıyla ters paralel bağlı olan d.c çıkışlarına paralel olarak bir polarize röle bağlanmıştır. Köprü kollarından hangisinin akımı daha büyük ise röle o yönde sapar. Rölenin akım yönünde sapması ile uyarma kumandası verilmiş olur.



Şekil 3.19 (a) Elektromagnetik, (b) Elektrikli terazi kollu rölenin düşük empedans elemanı olarak kullanılması

1. Döner bobinli röle
2. Köprü doğrultucular
3. Yardımcı ölçü transformatörleri

Düşük empedans rölesine gerilim uygulayan gerilim transformatörünün sekonder tarafındaki bir iletkenin kopması sonucu röleye uygulanan gerilim sıfır olacağından yanlış uyarma durumları ortaya çıkabilir. Bunu önlemek için düşük empedans rölesinin uyarma karakteristiği şekil 3.20' deki gibi seçilir. Bu karakteristikten de görüldüğü gibi gerilim sıfır olsa bile, röleden geçen akım $0.5-1.0 I_n$ ' den küçükse uyarma yapılmamaktadır. Şekil 3.20a' daki karakteristiğe göre röle en küçük akım değerinden itibaren, ölçülen empedansa göre uyarılmaktadır. Karakteristiğin empedansa bağlı olan kısmının eğimi $1-3 I_n$ arasında değiştirilebilmektedir. Yeni rölelerde kullanılan başka bir uyarma karakteristiği ise şekil 106b' de gösterilmiştir.



Şekil 3.20 Düşük empedans rölelerinin uyarma karakteristikleri

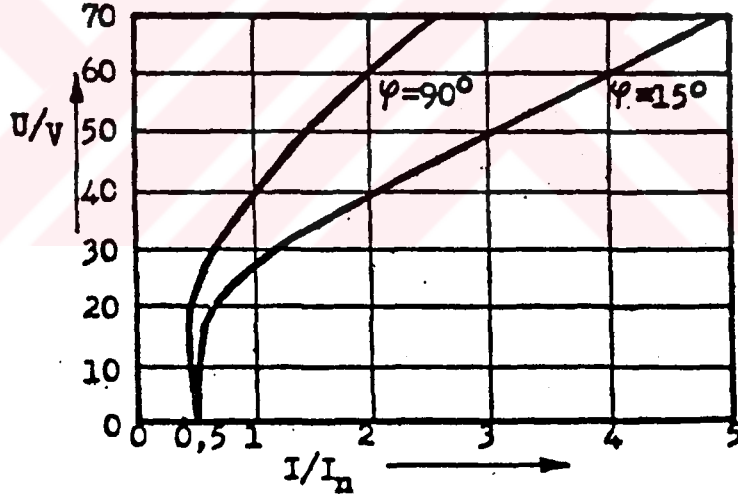
a) Elektromekanik röleler

b) Elektronik röleler

Düşük empedans uyarmasının karakteristiği gerilim ile akım arasındaki açığa da bağlı kılınarak daha hassas bir uyarma yapılması sağlanmıştır (Şekil 3.21). Bu açı kısa devre durumlarında, normal işletme durumlarına göre daha büyük olduğundan düşük empedans rölesinin, örneğin paralel hatlarda ortaya çıkabilecek aşırı yüklerde yanlış uyarma yapması önlenmiş olur.

Şekil 3.22' de AEG firması tarafından imal edilen Z13 düşük empedans rölesinin iç bağlama şeması örnek olarak gösterilmiştir. Burada her faz için bir empedans ölçme devresi kullanılmış olup, her köprüye teker teker faz akımları ve faz gerilimleri uygulanmakta ve ($Z=U/I$) değeri ölçülmektedir. Belirli bir empedans değerinin altında hatalı iletkenine ait döner babini röle kontağını kapatarak mesafe rölesini uyarır. Düşük empedans rölesinin kumanda kontakları, aşırı akım rölesinin kumanda kontaklarıyla paralel bağlanır

Şekil 3.22'deki röle hem faz arası ve hem de faz-nötr gerilimi ile çalışacak şekilde yapılmıştır. (1) nolu kumanda şalteri kapatıldığı zaman gerilim devresi faz arası gerilim ile (2) nolu şalter kapatıldığı zaman ise faz-nötr gerilimi ile çalışır.

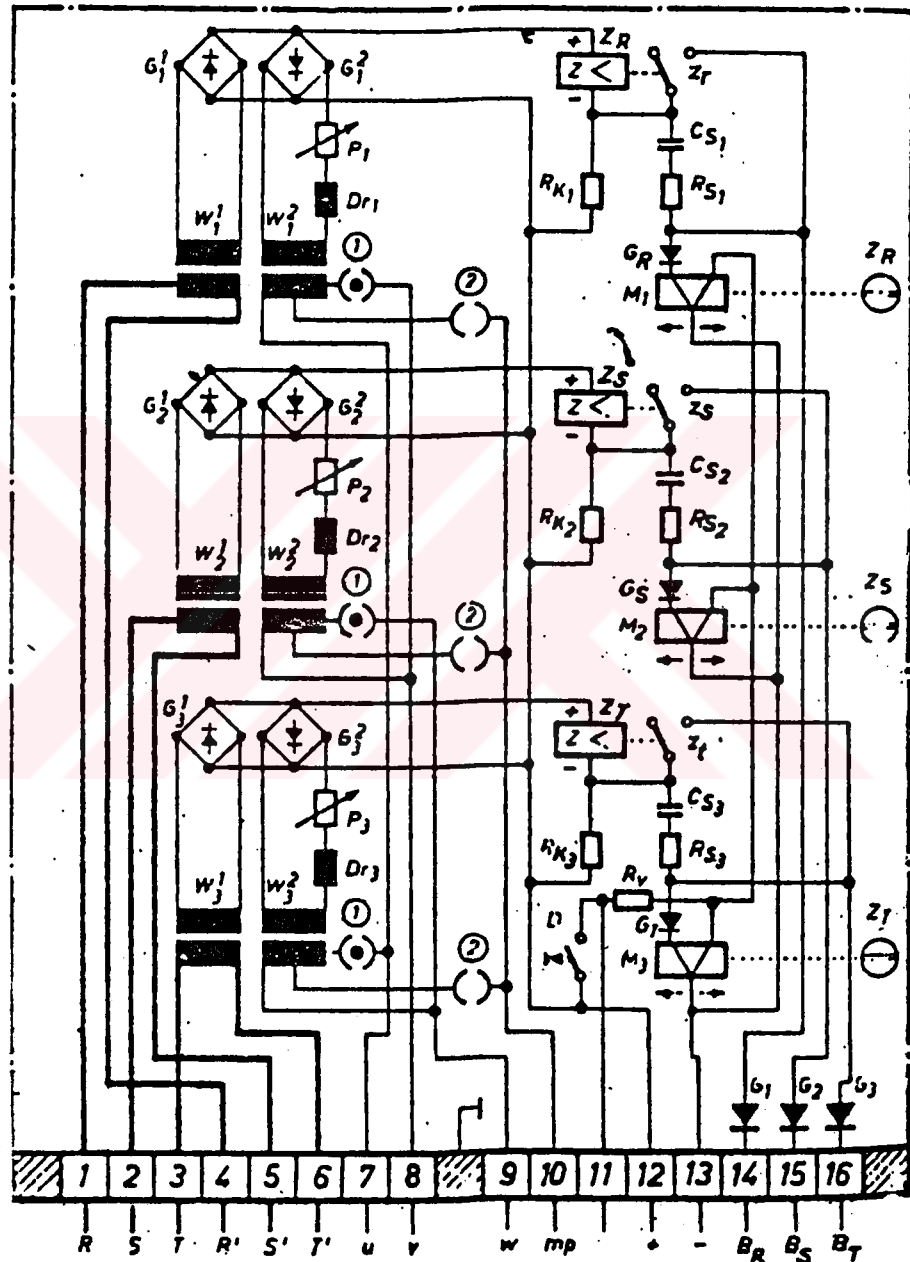


Şekil 3.21 Düşük empedans rölesinin açrya bağı faaliyete geçme karakteristiği

3.3.2 Yön Elemanı

Mesafe rölesi ile korunan bir elektrik güç sisteminde bir arıza meydana geldiğinde, arıza hat üzerinde baranın hangi tarafında olursa olsun rölenin uyarma elemanı

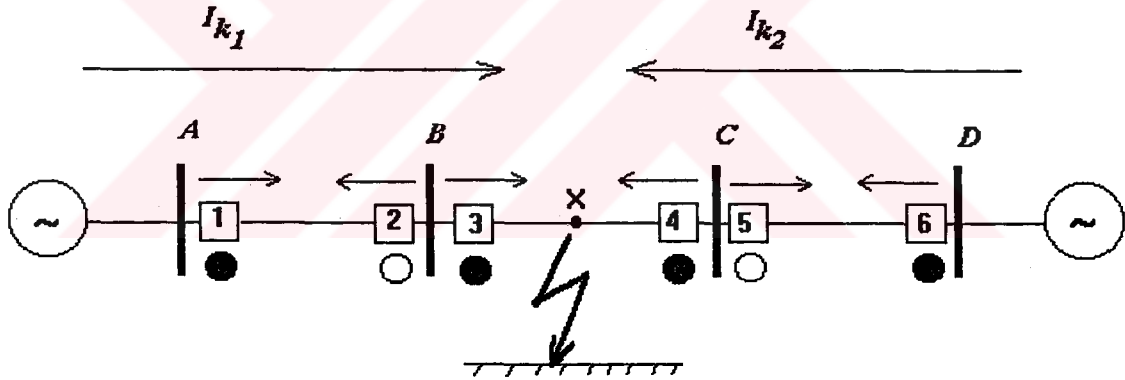
çalışır. Oysa seçici korumanın sağlanabilmesi için arızalı hattın belirlenerek yalnızca o hattın sistemden ayrılarak servis dışı edilmesi gerekir. Bu amaca yönelik olarak kullanılan elemanlardan biri de yön elemanıdır.



Şekil 3.22 AEG Z13 tipi düşük empedans rölesi bağlantı şeması

Yön elemanı, hattın akımının, rölenin çalışması istenilen yönde akması halinde çalışır ve kontağını kapatır. Bu bölümün başında şekil 3.2’de örnek olarak çift yönlü beslenen bir şebekede santral ve transformatör merkezlerinde bulunan yön elemanlarının çalışma yönleri gösterilmiştir. Santral ve transformatör merkezleri A,B,C,D harfleriyle belirtilmekte, santrallerde hatların çıkışlarında, transformatör merkezlerinde ise hat giriş ve çıkışında birer mesafe koruma rölesi ve bu rölelere ait yön ünitesi bulunmaktadır.

Söz konusu yön elemanları, 1-2-3-4-5-6 gibi sayılarla temsil edilmiş olup, her yön elemanının kontağını kapatması gereken akım akış yönleri de ok ile gösterilmiştir. Örneğin hat akımı akış yönü A santralinden B transformatör merkezine doğru ise, 1 nolu yön elemanının kontağı kapanmaktadır. Dikkat edilirse yön elemanının kontakları, akım akış yönü karşı merkeze doğru ise kapanmaktadır



Şekil 3.23 Hat arızasında yönlü koruma

• Enerjili röleler o Enerjisiz röleler

I_{k1} , I_{k2} Kısa devre akımları

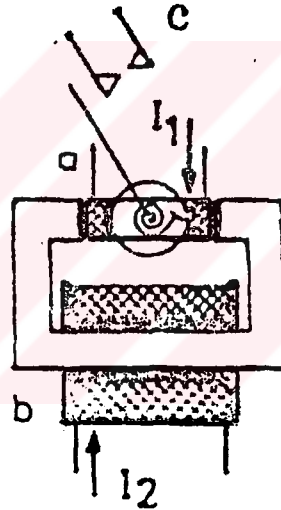
A,B,C,D Santral ve transformatör merkezleri

1....6 Yön röleleri ve hat kesicileri

Şekil 3.23’ de bir güç sisteminde hattın X noktasında bir arıza meydana gelmesi durumunda arıza akımının akış yönü gösterilmiştir. Burada heriki santralin de arıza

akımının akış yönüne göre 1-3-4-6 nolu yön rölelerinin kontakları kapanır ve böylece yönlü koruma sağlanır.

Yön elemanı yardımıyla akım kaynağı (veya bara) yönündeki hatalar, hat (yani şebeke) yönündeki hatalardan ayırt edilir. Akım kaynağı yönündeki bir hatada bir yardımcı röle uyarılır ve bu röle mesafe ölçme elemanının devresini keserek bir empedansın ölçmesine engel olur. Böylece mesafe rölesinin açma kumandası vermesi önlenir. Sonuç olarak koruma işleminin sadece akım kaynağına göre hata yerinden evvelki röleler tarafından yapılması sağlanır. Bir sebek e kısa devresinde gücün yönü bir veya birkaç periyod içinde (10-30 ms) bir güç rölesi tarafından tesbit edilir ve mesafe ölçme elemanına ait kumanda devresi tamamlanarak koruma (kesiciyi açtırma) kumandası verilir.



Şekil 3.24 Elektrodinamik yön elemanı

a Akım bobini, b Gerilim bobini, c Kumanda kontağı

I_1 Hata akımı ile orantılı akım

I_2 Röle gerilimi ile orantılı akım

Yön elemanı Wattmetrik bir elemandır. Hareketli bobine hata akımı ile orantılı bir akım ve sabit bobine de hata gerilimi ile orantılı bir gerilim uygulanır.

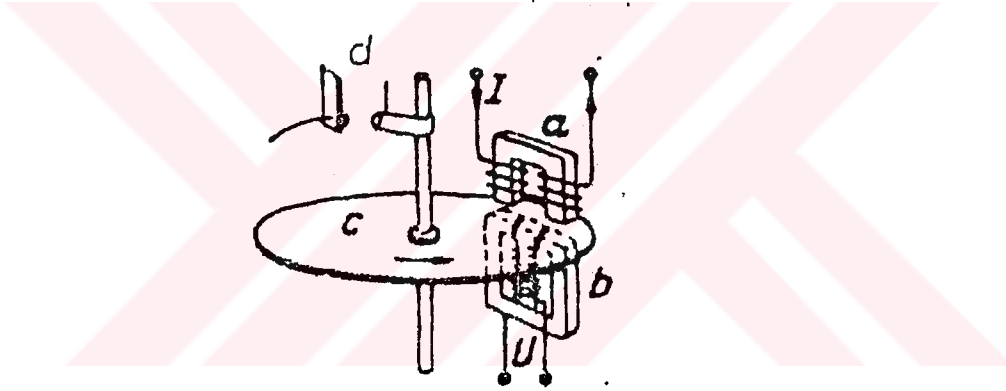
Yön elemanı yapısı bakımından çeşitli sistemlere göre imal edilebilir. Şekil 3.24 de bir elektrodinamik röle gösterilmiştir.

Elektrodinamik rölenin biri sabit biri hareketli olmak üzere iki bobini vardır. Bu bobinlerden geçen akımların efektif değerleri I_1 ve I_2 , aralarındaki faz açısı φ ve hareketli bobinin sapma açısı α ise, rölede meydana gelen dönme momentinin zaman bakımından ortalama değeri,

$$T = k \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi \cdot \sin\alpha \quad (3.56)$$

ile bulunur. Burada k rölenin yapısıyla ilgili bir sabittir.

Şekil 3.26' da gösterilen Ferraris tipi endüksiyonlu röle de yön rölesi olarak kullanılabilir.



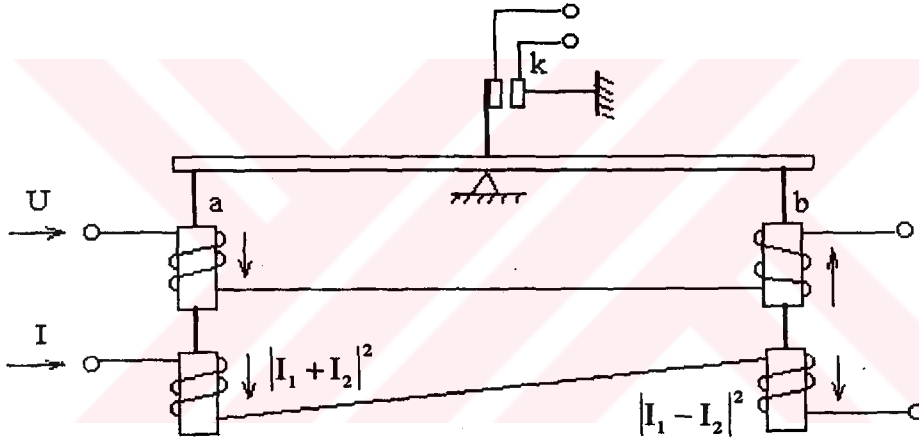
Şekil 3.26 Ferraris tipi endüksiyonlu yön rölesi

- (a) Akım bobini, (b) Gerilim bobini,
(c) Ferrari diski, (d) Kumanda kontağı

Mesafe rölelerinde terazi kollu röleler de yön elemanı olarak yaygın olarak kullanılır. Şekil 3.26' da mekanik, şekil 3.27' de elektrik tip terazi kollu yön röleleri prensip şekilleri gösterilmiştir. Şekil 3.26' daki mekanik tipte her kolda bir akım için ve bir de gerilim için olmak üzere toplam dört bobin vardır. Bu bobinlerden akım ile orantılı olarak I_1 ve gerilimle orantılı olarak I_2 akımı geçer. Terazinin bir kolunda vektörel toplam olarak $(I_1 + I_2)^2$ ile, diğer kolda da $(I_1 - I_2)^2$ ile orantılı momentler meydana gelir.

Her bir koldaki çekme kuvveti akımların karesi ile orantılı olduğundan kuvvetlerin farkı da güç ile orantılıdır. Terazi kolunun sağ tarafı açma ve kumanda tarafıdır.

Elektrikli terazi kolu rölesinde (şekil 3.27), mekanik tipteki her koldaki iki bobin yerine iki adet üçer sargılı ölçü transformatörü kullanılmıştır. Ölçü transformatörü sargılarının birinden I akımı ile orantılı I_1 akımı ve ikincisinden U gerilimiyle orantılı ($I_2=U/R$) I_2 akımı geçer. Gerilim sargısının ikincisi ters bağlı olduğundan buradan ($-I_2$) akımı geçer. Üçüncü sargılardan birincisinde akımların geometrik toplamı (I_1+I_2), ikincisinde akımların geometrik farkı ($I_1 - I_2$) elde edilir. Bu akımlar köprü doğrultucularla doğrultularak birbiriyle karşılaştırılır ve bir polarize röle yardımıyla ölçülür.



Şekil 3.26. Mekanik tipten terazi kollu yön rölesi

a Toplam akım bobini, b Fark akım bobini, k Kumanda kontağı

I_1 Hata akımı ile orantılı akım

I_2 Hata gerilimi ile orantılı akım

Şekil 3.27' deki elektrikli tip terazi kollu yön rölesindeki polarize röle bir doğru akım rölesidir ve bir sürekli mıknatıs alanı ile polarize edilmiştir. Bu röle doğrultulan akımların hangisinin mutlak değerinin büyük olduğunu tesbit eder ve ona göre sağa veya sola saparak kumanda verir. Eğer akımlar birbirine eşitse,

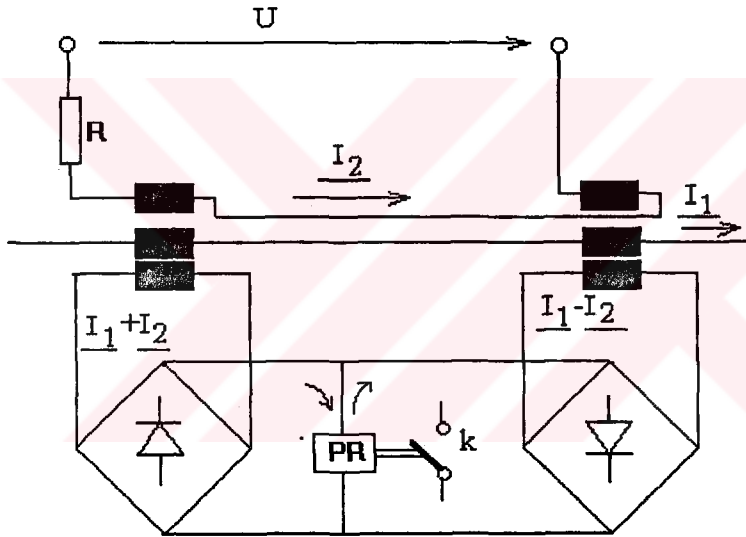
$$|I_1 + I_2| = |I_1 - I_2|$$

$$I_1^2 + 2I_1I_2 \cos\varphi + I_2^2 = I_1^2 - 2I_1I_2 \cos\varphi + I_2^2 \quad (3.57)$$

Bunun olabilmesi için

$$I_1I_2 \cos\varphi = 0 \quad (3.58)$$

olmalıdır. Bu durumda doğru akım devresi dengededir. Şekil 3.27b' deki fazör diyagramda akımların fazör olarak karşılaştırılması gösterilmiştir. Polarize röle üzerinden akan fark akım, her iki koldan geçen akımların mutlak değerleri arasındaki farka eşittir.



Şekil 3.27 Elektrikli tip terazi kollu yön rölesi

Rölenin prensip şeması,

I_1 , Ana akım ile orantılı akım,

I_2 , Gerilim ile orantılı akım

PR , Polarize röle

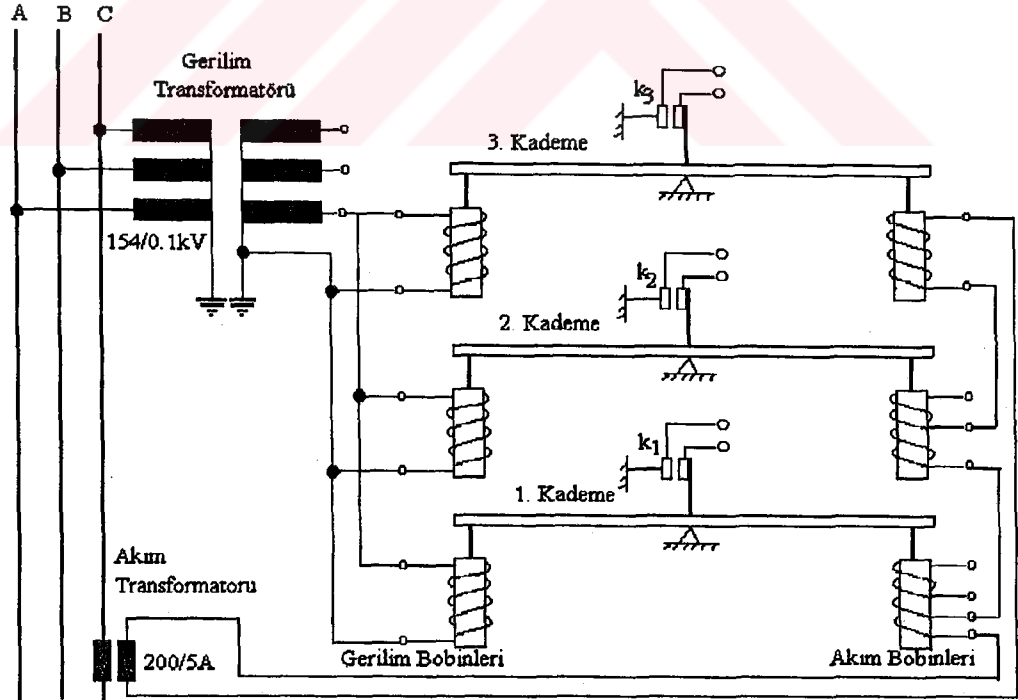
k , Kumanda kontağı

$$\Delta I = |I_1 + I_2| - |I_1 - I_2| = I_1 \cdot I_2 \cos\varphi \quad (3.59)$$

Fark akım ϕ açısına bağlıdır. Örneğin $\phi=90^\circ$ için $\Delta I=0$ olur. Böylece bu köprü bağlantısı bir Wattmetrik röle gibi çalışır. Polarize rölenin kontağı çok küçük bir yay kuvveti ile kapalı durumda tutulur. Eğer yön rölesi uyarılır ve kontrol edilen enerji yönü de buradan şebekeye doğru ise, söz konusu kontak daha kuvvetli olarak kapalı durumda kalır. Enerji yönü ters ise bu kontak açılır.

3.3.3 Ölçme Elemanı

Mesafe koruma rölesinin işlevini yerine getirebilmesi için başka bir deyişle seçici korumayı sağlayabilmesi için uyarma (başlatma) ve yön tayininden sonra üçüncü çalışma zincirinin de tamamlanmış olması gerekir. Bunu sağlayan eleman ölçme elemanıdır ve eleman arıza yeri ile röle arasındaki mesafeyi ölçer. eğer arıza yeri, rölenin koruma bölgesi içinde ise, ölçme elemanının kontağı kapanır ve hat çıkışındaki kesiciye açma kumandası gider. Böylece arızalı hat parçası, üçüncü aşama olan ölçme elemanının çalışması sonunda servis dışı kalmış olur.



Şekil 3.28 Tek fazlı üç kademeli ölçme elemanının prensip devresi

Şekil 3.28’de tek fazlı ve üç kademeli ölçme elemanının prensip devresi görülmektedir. Kademe elemanlarının gerilim bobinlerine aynı gerilim uygulandığı halde, akım bobinlerinin sarım sayıları değiştirilerek her kademeden farklı bir empedans değerinde çalışması sağlanmaktadır. 3 kademeden çalışma empedansı, 1. ve 2. kademelerin çalışma empedanslarından daha büyüktür. Yani 3. kademe ölçme elemanı, 1. ve 2. kademe ölçme elemanlarına göre daha uzak mesafedeki arızayı belirleyebilmektedir.

Aynı şekilde 2. kademe ölçme elemanı, 1. kademe ölçme elemanına göre daha uzak mesafedeki arızayı koruma bölgesi içine alır. Durum böyle olunca, 1. kademeden çalışacağı her arızada 2. ve 3. kademe ölçme elemanında çalışır. Ancak 1. kademe ani çalışmalı, 2. ve 3. kademeler sabit zaman gecikmelidir.

Kademe elemanlarının çalışma zamanı genellikle,

1. Kademe: Ani
2. Kademe: 0.7 saniye
3. Kademe: 1.5 saniye olarak belirlenmektedir.

3.3.3.1 Empedans Ölçme Organı

Mesafe ölçme organının çalışma durumu R-X düzleminde bir diyagram ile gösterilebilir. Bu diyagram tarafından R-X düzlemi iki bölgeye ayrılır. Bu bölgelerden birindeki ölçme değerlerinde ölçme organı sükunette kalır ve ikinci bölgedeki ölçme değerlerinde ise faaliyete geçer. Rölenin faaliyete geçtiği sınır değerlerin geometrik yeri bir doğru, daire veya elips oluşturur.

Burada tesir büyüklüğü olarak empedans gözönüne alınacaktır. Rölenin ölçtüğü ve tam faaliyete geçtiği empedans Z_f ile gösterilirse, bundan küçük değerlerde ($Z_k < Z_f$), yani yer eğrisinin içinde kalan bölgede röle, faaliyete geçme kumandası verir, bunun

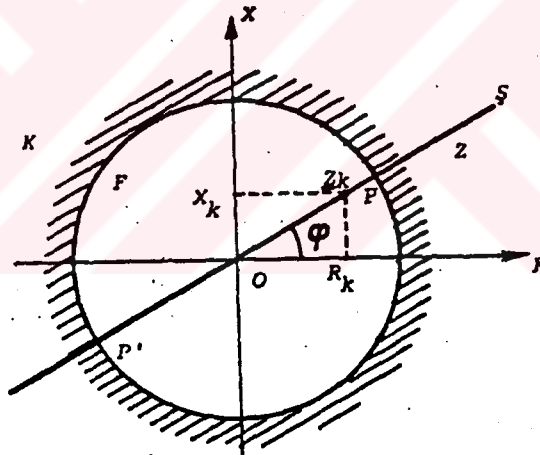
dışında kalan bölgede ($Z_k > Z_f$) ise röle açma kumandası vermez. Z_f faaliyete geçme empedansının tüm ohmik ve reaktif bileşenleri için

$$Z_f = R_f + j.X_f \quad (3.60)$$

veya

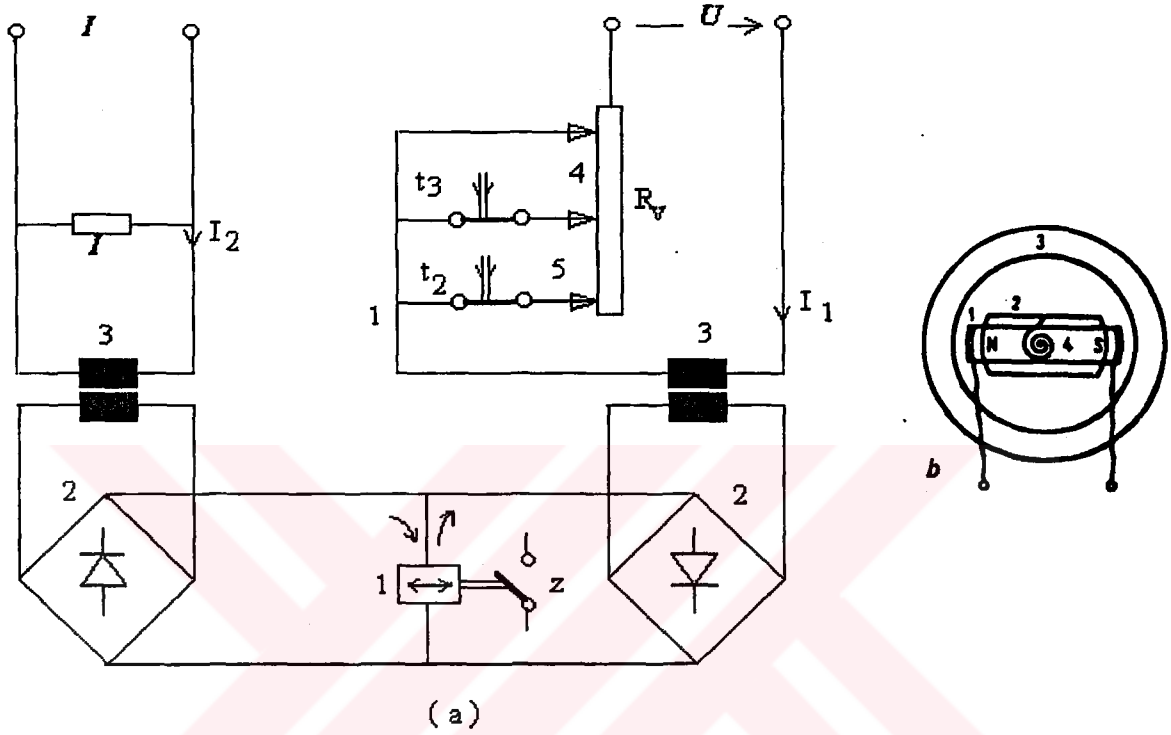
$$Z_f = Z_f e^{j\varphi} \quad (3.61)$$

ifadelerine göre yer eğrisi, yani empedans ölçümünün karakteristiği, merkezi orijinde (0,0) olan bir dairedir. Şekil 3.29' da Z_f empedans diyagramı ile bir hattın empedans doğrusu gösterilmiştir.



Şekil 3.29 Empedans ölçen mesafe ölçme organının Z-düzleminde çalışma diyagramı

O	Rölenin bulunduğu istasyonun yeri
Z	Korunacak hat (Ş; Şebeke tarafı, B; Bara Tarafı)
Z_f	Faaliyete geçme empedansının yer eğrisi
Z_k	Kısa devre empedansı
φ	Kısa devre açısı
F	Faaliyet bölgesi (Dairenin içi)
K	Kapatma bölgesi (Dairenin dışı)



Şekil 3.30 Karakteristiği bir daire olan elektrikli terazi kollu röle

- | | |
|---|-------------------------|
| a) Empedans ölçme elemanı | b) Döner bobinli röle |
| 1 Döner bobinli röle | 1 Döner bobin çerçevesi |
| 2 Doğrultucu | 2 Sürekli mıknatıs |
| 3 Ara ölçü transformatörü | 3 Magnetik devre |
| 4 Faaliyete geçme değerini ayarlayan direnç | 4 Yay |
| 5 Zaman elemanına ait gecikmeli kontak | |
| Z Kumanda kontağı | |

Şekil 3.29' da hattın empedans doğrusu ile rölenin Z_f faaliyete geçme empedans eğrisinin kesiştiği P noktası, mesafe ölçme organının açma kumandası verebileceği en büyük sınır uzaklığını gösterir. Şu halde dairenin dışında ölçülen empedans değerlerinde, yani dairenin dışında kalan hat parçası üzerinde meydana gelen hatalarda röle açma

kumandası vermez. Buna karşılık O noktası ile P kesişme noktası arasında, hattın daire içinde kalan kısmında herhangi bir yerde bir hata meydana gelirse, mesafe ölçme organı faaliyete geçerek açma kumandası verir. Ancak yön elemanının da aracılığıyla bu açma kumandası yalnız X ekseninin sağında kalan bölgede verilebilir. Şu halde yön elemanı empedans dairesinin sol yarısını keser ve faaliyet bölgesi olarak sağ yarı daire kalır. Onun için empedans doğrusu ile dairenin kesiştiği ikinci bir P' noktası faaliyet noktası değildir.

Mesafe rölelerinde kademeli zaman karakteristiğine göre empedans dairesinin yarıçapı, zaman elemanı tarafından kademe kademe büyütülerek ölçme organının faaliyet bölgesi kademeli olarak genişletilir.

Empedans ölçme organı da aynen düşük empedans uyarma organı gibi mekanik veya elektrikli terazi kollu rölelerle gerçekleştirilebilir. Şekil 3.18' de de gerilimle akımın karelerinin oranını alan mekanik terazi kolu empedans rölesi gösterilmiştir. Burada akım bobininin olduğu taraf kumanda kontağını kapatmaya, buna karşılık gerilim tarafı kontağı açık tutmaya çalışır.

Şekil 3.30' da empedans ölçümü için karakteristiği, merkezi (0,0) noktasında bulunan bir daire olan elektrikli terazi kollu empedans rölesinin şeması verilmiştir. Bunun yapısı şekil 3.19' da verilen röleyle tamamen aynıdır.

BÖLÜM-4

ENERJİ İLETİM HATLARINI MESAFE RÖLELERİ İLE KORUMA PRENSİPLERİ

4.1 Giriş

İletim devreleri çok kaynaklı kapalı çevrim sistemleridir. Elektrik enerjisini üretim merkezlerinden dağıtım merkezlerine ileten bu devrelerde genellikle arıza akımlarının genliği yüksektir. Arızalar hızla ortadan kaldırılamazsa, sistemde maddi değeri yüksek hasarlara ve personel için hayati tehlikelere neden oldukları gibi sistemi kararsız hale de getirebilirler. Bu mahsurları önlemek için enerji iletim hatlarının koruma düzenleri ile korunması gereklidir. Bu bölümde uygulamada yaygın olarak kullanılmakta olan hat koruma yöntemlerinden birisi olan mesafe röleleri ile koruma ele alınacaktır.

Hat koruma düzenlerin aşağıdaki arızalara karşı koruma yapması beklenir:

- 1. Üç fazlı kısa devre:** Her üç iletkenin birden birbiri ile temas etmesi veya her üç iletkenin bir noktada toprakla temas etmesi (Üç-faz-toprak kısa devresi)
- 2. İki fazlı kısa devre:** İki iletkenin birbiri ile veya iki iletkenin bir noktada toprak ile temas etmesi (İki -faz-toprak kısa devresi)
- 3. Bir faz toprak kısa devresi:** Yıldız noktası direkt veya bir empedans üzerinden topraklanmış şebekelerde bir faz iletkenini toprağa temas etmesi. Yıldız noktası topraklanmamış şebekelerde bir fazın toprak ile temasına "Toprak kaçağı" adı verilir.
- 4. Hat kopmaları:** Hat iletkeninin aşırı akım sebebiyle ısıp eriyerek kopması veya hattın mekaniksel gerilmelere maruz kalarak kopması.

Enerji iletim hatlarının yukarıda açıklanan arızalara karşı hızlı çalışan bir koruma sistemi ile korunması ile elde edilen bazı avantajlar şöyle sayılabilir:

1. Arızalı hat kısmının hızla sistemden ayrılması, paralel çalışan santral ve generatörlerin kararlılığını artırır. Böylece tüketicilere verilen enerjinin kesintiye uğraması önlenmiş olur.

2. Koruma rölelerinin hızlı olarak çalışması tüketicilerin düşük gerilim altında kalma süresini kısaltarak; hem santrallerin iç ihtiyaç enerjisinin sürekli olmasını ve hem de tüketicilere ait motorların işletmede kalmasını temin eder. Aynı zamanda kağıt ve iplik sanayiinde çalışan motorların devir sayısı ve dönme momentinin arıza esnasında değişmesi kısa süreceğinden imalata zarar ihtimali ortadan kalkar veya azalır.

3. Arızalı olan kısmın hızla devre dışı edilmesi sebebiyle sistemde meydana gelecek hasar minimuma inecektir. Ark atlamalarının hızlı bir şekilde kesilmesi izolator hasarlarını ve hat kopmalarını azaltacağı gibi tamir müddeti ve masrafları da düşürecektir.

4. Tekrar kapama sisteminin hızı ve tesiri artacak, dolayısıyla tüketiciler gerilim kesintisini pratik olarak hissetmeyecektir.

4.2. Mesafe Rölesi ile Korumanın Temelleri

Mesafe rölesi, rölenin bulunduğu yer ile arıza noktası arasındaki elektriksel devre uzunluğunun bir fonksiyonu olan giriş büyüklüğüne bir kumanda kontağının açılıp kapanarak konum değiştirmesi şeklinde bir cevap veren koruma elemanıdır.

Esas olarak mesafe rölesi, varolan bir arızanın çalışma bölgesinin içinde mi yoksa dışında mı olduğunu belirlemek için güç sisteminin akım ve gerilimini karşılaştırır. Bu rölelerin çalışma prensiplerini açıklamak için dengeli-kirşli tip mesafe rölesi iyi bir örnektir. Bir ucunda akım bobini diğer ucunda gerilim bobini olan, merkezden bir noktaya tesbit edilmiş, aşağı-yukarı hareket edebilen bir kirş gözönüne alalım. Bu bobinler bir hattın akım ve gerilim ölçü transformatörlerine bağlanmıştır. Hat üzerinde röleden $(n.Z_L)$ Ω empedansı kadar uzaklıkta bir arızanın meydana geldiğini varsayalım. Arıza noktasında gerilim sıfır olacağı için röle üzerindeki gerilim V , röleden arıza noktasına doğru $(n.I.Z_L)$ gerilim düşümüne neden olacaktır. Bu gerilim kirşin bir ucunda bir magnetik çekme kuvveti meydana getirecektir. Söz konusu arıza için akım veya çalışma kuvveti olan I , kirşin diğer ucundaki gerilim veya çalışmayı engelleyici kuvvet olan V 'ye eşit olarak ayarlanmışsa kirş dengede kalacaktır. Buradan,

$$\frac{V}{I} = \frac{n.I.Z_L}{I} = n.Z_L \quad (4.1)$$

Meydana gelen arıza nZ_L uzaklığından daha yakında ise bu durumda empedans, $(nZ_L - \Delta Z_L)$ olur ve bobin geriliminin oluşturacağı engelleyici kuvvet $nI(Z_L - \Delta Z_L)$ olacağı için akım bobininin oluşturacağı kuvvetten küçük olur. Bu durumda kırı, akım bobini tarafından çekilerek açık olan kontak kapanır. Arıza nZ_L uzaklığından daha ileride ise gerilim bobininin kuvveti $nI(Z_L - \Delta Z_L)$ ile orantılı olarak kırı gerilim bobinine doğru çeker ve kontak yine açık kalır. Modern mesafe röleleri oldukça farklı prensiplere göre çalışmalarına rağmen, mesafe rölesinin çalışma başlangıcını tanımlayan denge noktası ifadesi hepsinde aynıdır. Genel olarak silindir tipi bir mesafe rölesinde T çalışma momenti,

$$T = K_1 I^2 - K_2 V^2 \quad (4.2)$$

Başlangıçta veya denge noktasında $T = 0$ olduğu için ,

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{V^2}{I^2} \quad (4.3)$$

Buradan koruma mesafesi veya denge noktasının empedansı,

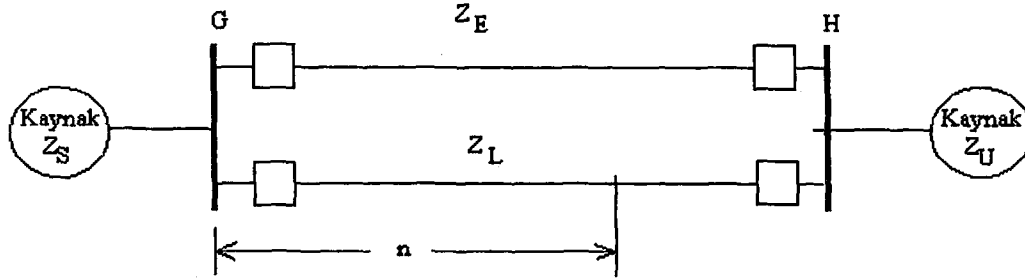
$$\frac{V}{I} = nZ_L = \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} \quad (4.4)$$

Üçgen gerilim ve akımları kullanılırsa, her faz için bir tane olmak üzere üçlü bir röle takımı bütün faz arızaları için koruma bölgesi sayısına göre bir ya da daha çok röle ile ayarlandıkları denge noktası empedansına kadar olan empedanslar (nZ_L) için çalışma imkanı sağlayacaktır.

Mesafe rölesinin asıl avantajı (4.1) ve (4.4) denklemlerinde açıkça görülmektedir. Rölenin çalışma bölgesi sadece korunan hattın, sabit değerli ve rölatif olarak akım ve gerilim genliklerinden bağımsız olan empedansının bir fonksiyonudur. Sistem koşullarının değişimine koruma mesafesi değişen aşırı akım ünitelerinin aksine mesafe rölesinin sabit bir koruma mesafesi vardır.

Bir güç sisteminin herhangi bir hat bölümü şekil 4.1 de görüldüğü gibi temsil edilebilir. Bu şekilde Z_L , G barasından H barasına kadar korunacak hattın empedansıdır. Z_S , G barasındaki eşdeğer kaynağın empedansı, Z_U , H barasındaki eşdeğer kaynağın

empedansdır. Şekil 4.1 de Z_E , Z_L ye paralel bir hat gibi görünmesine rağmen birçok durumda Z_E , Z_L hattı haricinde G ve H baraları arasındaki enterkonnekte sistemin eşdeğerini temsil eder.



Şekil 4.1 İki bara arasındaki hat kısımlarının genel temsili

Mesafe rölesi ile korunan ve rölenin G barasındaki terminallere yerleştirildiği bir hattın basitleştirilmiş eşdeğer devresi şekil 4.2 a’da gösterilmiştir. şekil 4.2 b’de görüldüğü gibi sistemin fazör diyagramı R-X düzleminde gösterilebilir. Bu düzlemde rölenin bulunduğu yer (G), orijin olarak alınır. Hattın Z_L fazör empedansı koordinat sisteminin birinci bölgesine çizilir. Pratikte mesafe rölelerinin akım bobinlerinin bağlandığı akım transformatörlerinin sekonder sargıları kendi aralarında yıldız bağlandığı için, akım ve gerilim transformatörlerinin primer taraflarına göre arızalı olan hattın gerçek empedansı Z_{pri} , mesafe rölesi tarafından sekonderde ölçülen arızalı hattın empedansı Z_{sek} , akım transformatörünün çevirme oranı n_{CT} , gerilim transformatörünün çevirme oranı n_{VT} olmak üzere röle tarafından ölçülen empedans;

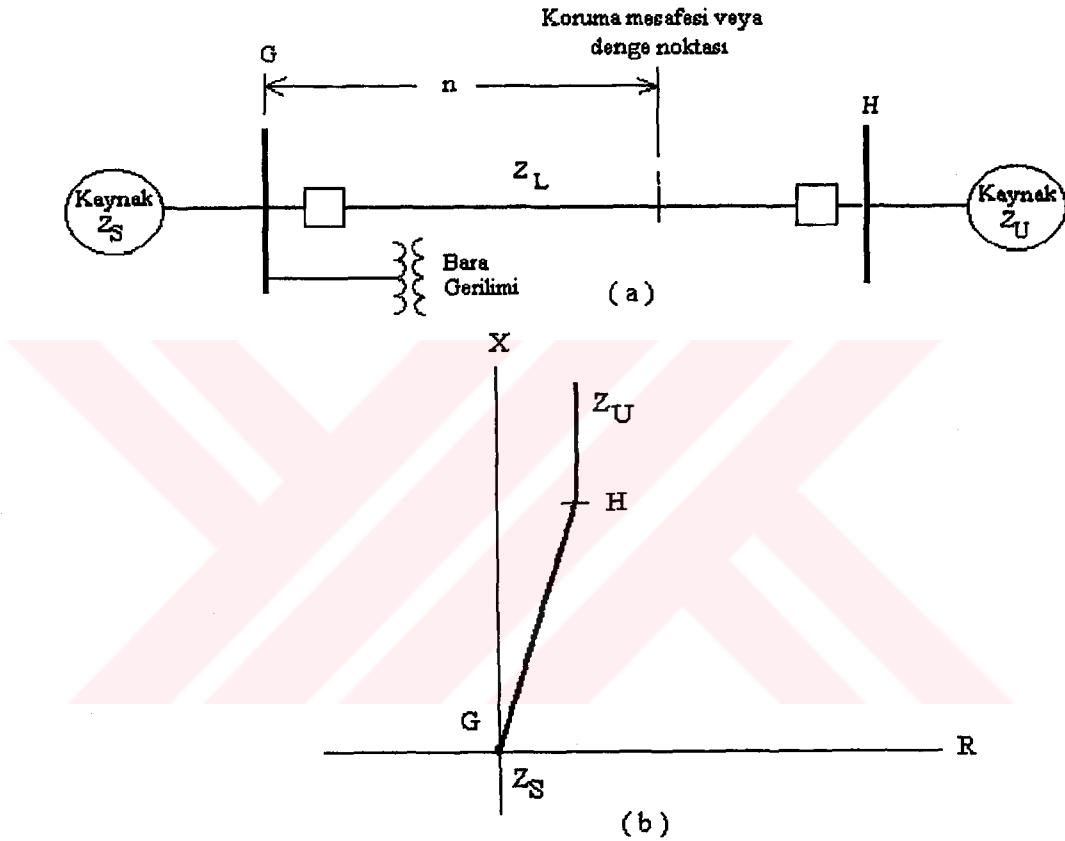
$$Z_{sec} = Z_{röle} = \frac{Z_{pri} \cdot n_{CT}}{n_{VT}} \quad (4.5)$$

olarak hesaplanabilir.

Şekil 4.2 de Z_S , G barasının gerisinde kalan kaynak empedansdır. Z_U , H barasının ilerisinde kalan kaynak empedansdır.

Bazı mesafe rölesi karakteristikleri R-X düzlemi üzerine çıkartılarak şekil 4.3 de gösterilmiştir. a, b ve c karekteristikleri ile temsil edilen mesafe rölelerinin çalışma bölgeleri dairenin içidir. Bu demektir ki, (V/I) fazör oranı dairenin içine denk geliyorsa

röle çalışacaktır. Daha önceki bölümlerde tarif edilen kirişli (Terazi kollu) mesafe rölesinin şekil 4.3 a'daki gibi yön seçme özelliği olmayan bir karakteristiği vardır. Sadece istenen yöndeki arızalara karşı koruma yapabilmek amacıyla ilave bir yön seçme ünitesi kullanılırsa bu durumda röle şekil 4.3 a'daki dairede kesik çizgilerle gösterilen doğrunun yalnızca üst kısmında çalışır.

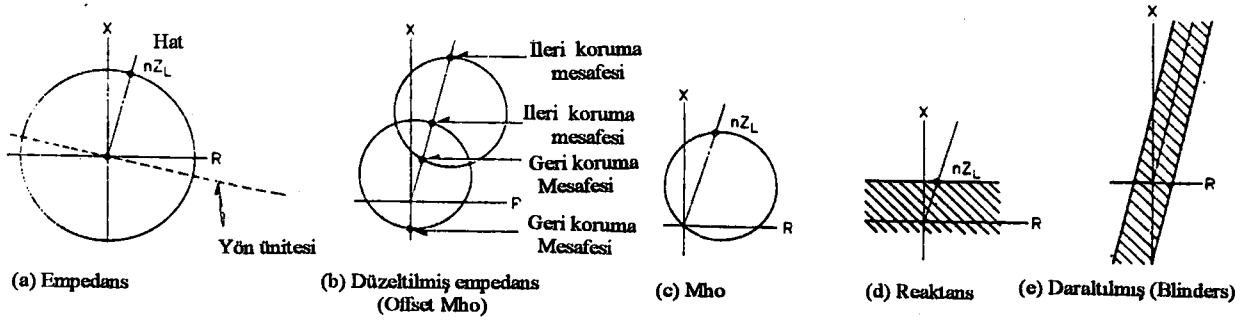


Şekil 4.2 (a) Hattın temsili, (b) R-X diyagramı

Dengeli kirişli röledeki engelleyici ve/veya çalışmayı sağlayıcı büyüklükleri değiştirerek şekil 4.3 b ve c'de görüldüğü gibi daireler kaydırılabilir. Şekil 4.3 d ve e'deki karakteristikler de aynı yolla elde edilebilir. Bu karakteristiklerin elde edilmesiyle ilgili daha detaylı bilgiler üçüncü bölümde verilmiştir.

R-X düzlemi üzerinde yük, R eksenine yakın bir empedans vektörü olarak temsil edilebilir. Yük akımı baradan korunan hatta doğru akarken, yük empedans fazörü sağa doğru yaklaşır, yük akımı korunan hattan baraya doğru aktığı zaman yük empedans

fazörü sola doğru yaklaşır. Arızasız durumda akım transformatörünün sekonderinde yük akımı 0 ile 5A arasında değişir ve gerilim transformatörünün sekonderindeki gerilim de anma gerilimine yakındır. Arızalarda genellikle akım çok yüksek gerilim de çok düşük değerler alır, empedans dairesinin çapı küçülür. yük fazörü üzerindeki çalışma noktaları rölenin çalışma dairesinin dışında kalır.



Şekil 4.3 Mesafe rölesi karakteristikleri

(a) Empedans, (b) Düzeltilmiş Empedans, (c) Mho

(d) Reaktans, (d) Reaktans (e) Daraltılmış band (Blinders)

Şekil 4.3e’de gösterilen daraltılmış band (Blinder) karakteristiği esasen hat açısına göre kaydırılmış iki reaktans ünitesinden oluşmuştur. Sağdaki ünitenin X ekseninin solunda, soldaki ünitenin ise X ekseninin sağında geniş bir çalışma alanı vardır. Her iki reaktans ünitesinin birlikte kullanılmasıyla şekil 4.3e’de gösterilen çalışma karakteristiği elde edilir.

Her bir faza bir mesafe elemanı ile bağlı olan bir fazlı tip rölelerin şekil 4.3’ deki R-X karakteristiklerini yalnızca arızalanan fazdaki üniteye uygularlar. Üç fazlı arızalar, yükler ve üç fazlı güç salınımlarında bir fazlı mesafe rölelerinin her üçüde hat boyunca $n.Z_L$ koruma mesafesine sahiptir (Eğer ark direnci ihmal edilirse). Rölenin bulunduğu yer ile ayarlandığı $n.Z_L$ noktasındaki herhangi bir üç fazlı arızada her fazdaki röleler çalışacaktır. Genel olarak faz-faz ve faz-faz-toprak arızalarında üç röleden yalnızca birisi sabit bir $n.Z_L$ koruma mesafesine sahip olacaktır. Örneğin B-C fazlarının arızası durumunda A ve C fazları farklı bir açıda büyük bir görünen empedans algılarken B rölesi çalışır. Benzer şekilde A-B fazlarının arızalarında B ve C röleleri daha büyük

görünen empedans algılarken A rölesi sabit bir $n.Z_L$ koruma mesafesine sahip olacaktır. C-A arızasında C sabit bir koruma mesafesine sahiptir, A ve B daha büyük görünen empedans algılayacaklardır. Bu etki reaktans rölelerinin kullanılması durumunda bir problem yaratabilir. Yanlış fazın denetim ünitesi kendi reaktans ünitesinin serbest bırakabilir ve yanlış çalışmaya sebep olabilir.

Üç fazlı tip röleler özel karışık durumlu fazları gözönüne almadan bütün arızalara cevap verirler. Örneğin (Westinghouse tarafından imal edilen) K-DAR rölelerinin iki çalışma ünitesi vardır. Birinci ünite röle ile ayarlı olduğu $n.Z_L$ mesafesi arasındaki herhangi bir üç fazlı arızaya cevap verir. İkinci ünite ise aynı mesafedeki herhangi bir faz-faz (A-B-toprak, B-C-toprak, C-A-toprak) arızasına cevap verir. İki ünitiden birisi veya her ikisi de rölelerin bulunduğu yer ile ayarlı olduğu $n.Z_L$ koruma mesafesi arasındaki bütün iki faz-toprak arızalarına (A-B-toprak, B-C-toprak, C-A-toprak) cevap verecektir.

4.3 K-DAR Mesafe Röleleri

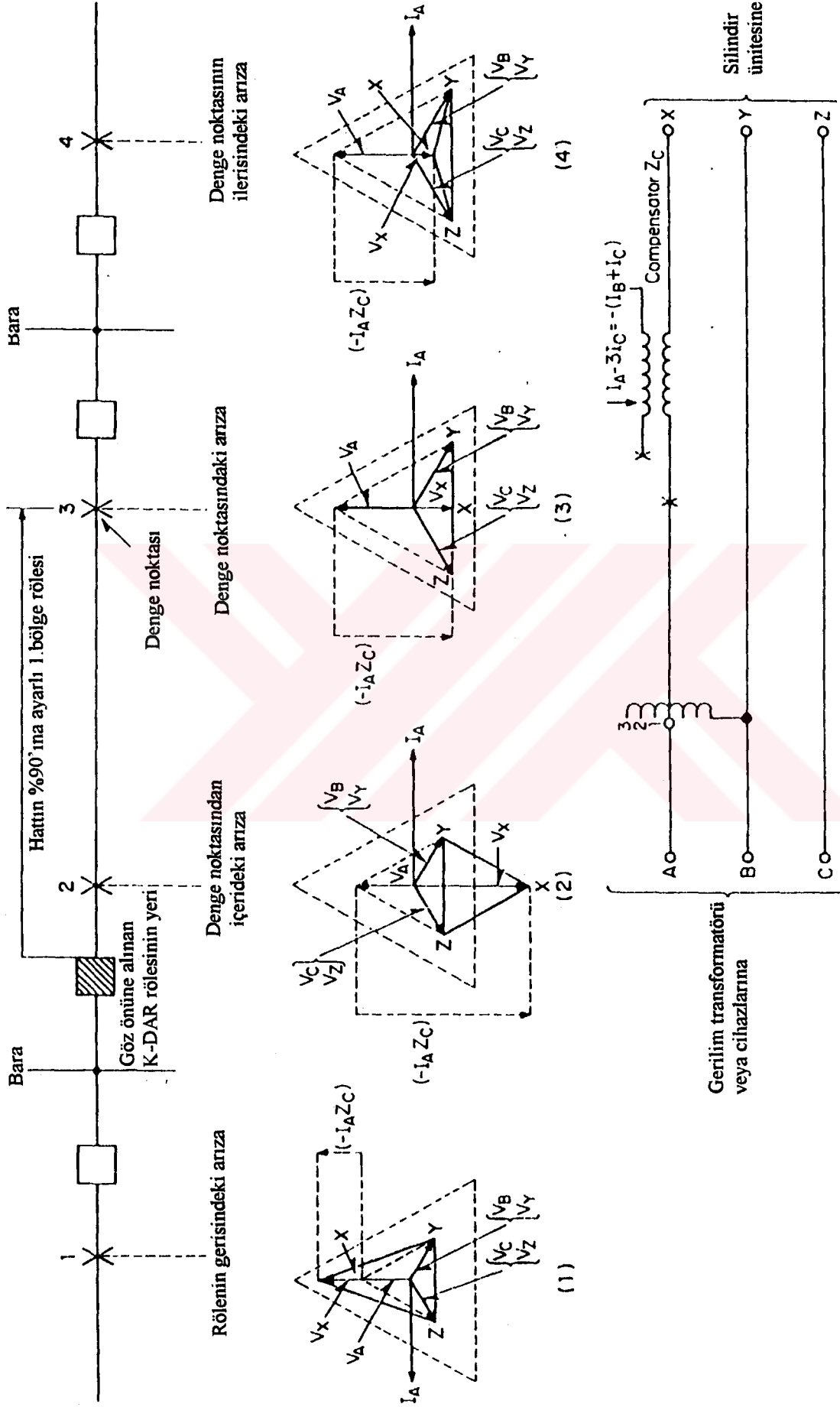
K-DAR faz-mesafe röleleri, denge noktasının veya koruma mesafesinin ayarlandığı noktada meydana gelen arızada devreye giren iki fazör gerilim üreten hat gerilim düşümü düzenleyicileri kullanır. Bu koşul çıkış vermez. Denge noktasından, içindeki arızalarda gerilimler rölenin çalışmasını sağlayacak yönde kayar, denge noktasının ilerisindeki arızalarda çalışmayı engelleyici yönde bir kayma meydana gelir. (Şekil 4.4 ve şekil 4.5)

Şekil 4.4a KD-4 ve KD-10 faz-mesafe rölelerinin üç fazlı ünitesinin çalışmasını göstermektedir. A, B ve C üç fazlı gerilimli uygulanan hat akımı (I_A-3I_0) olan

$$V_X = V_A - (I_A - 3I_0) \cdot Z_C \quad (4.6)$$

$$V_Y = V_B \quad (4.7)$$

$$V_Z = V_C \quad (4.8)$$



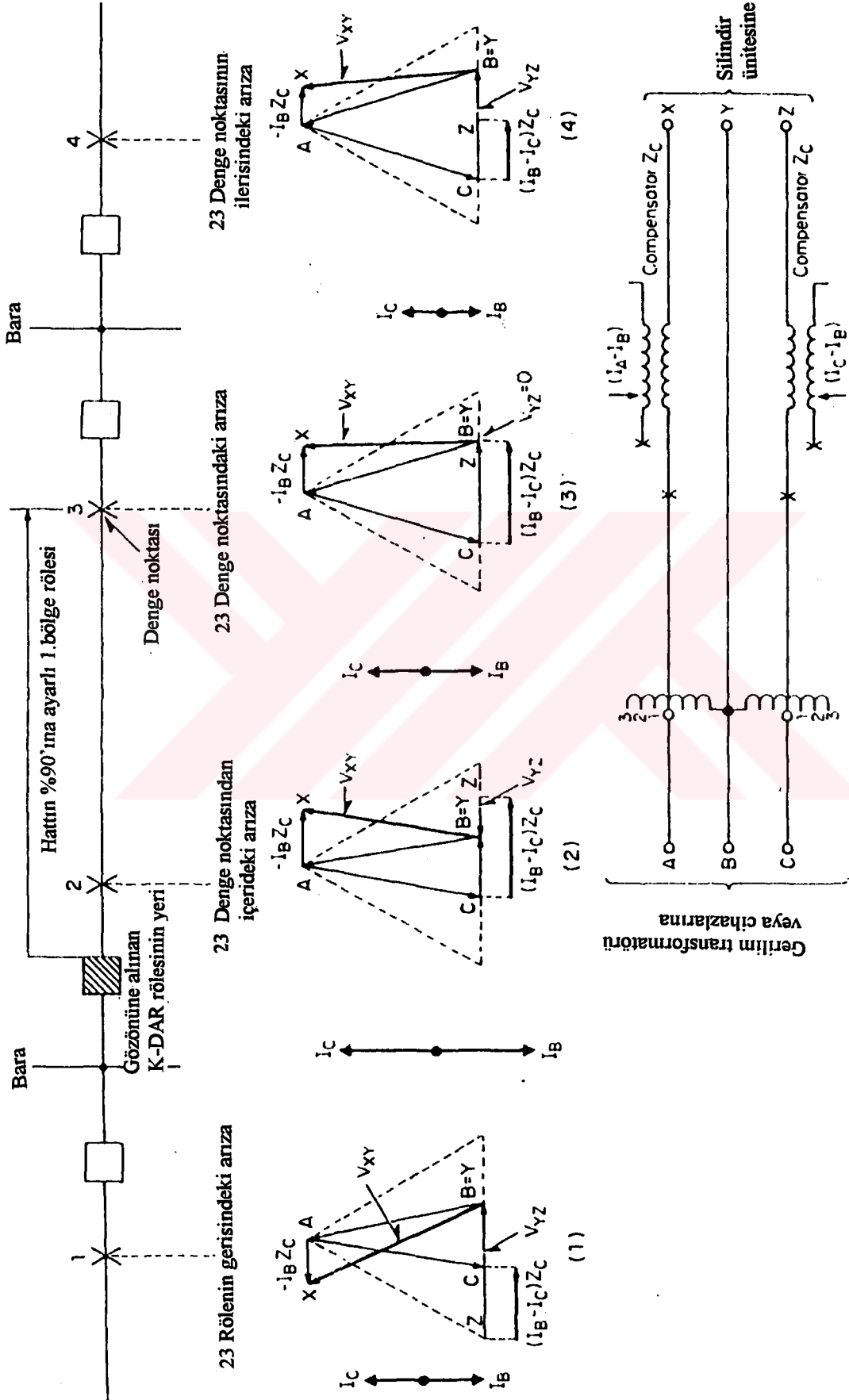
Şekil 4.4a Westinghouse imalatı KD-4 ve KD-10 faz mesafe rölelerinin çeşitli noktalardaki arızalar için fazör diyagramları (Üç faz ünitesi)

I_0 bileşeni, Z_0' ın Z_2' ye göre çok küçük olduğu sistemlerde iki faz-toprak arızasının incelenmesinin sağlar. Bu arıza için bileşen şebekelerinin üçüde paralel bağlanır. Eğer sınırdaki Z_0 sifıra yaklaşırsa negatif bileşen şebekesi kısa devre edilmiş olur. Geriye sadece pozitif bileşen şebekesi kalır, bu da üç fazlı arıza olarak incelenebilir. Bu nedenle Z_0' ı çok küçük olan sistemlerde iki faz-toprak arızaları üç fazlı arızalara benzer ve rölenin cevabı da üç faz ünitelerinkine aynıdır.

$3I_0$ arızanın incelenmesine imkan sağlar, fakat arıza Z_0' ın çok küçük olması sebebiyle üç fazlı arıza olarak incelendiği için I_0 akımı şekil 4.4a' daki fazörlere girmemiştir.

Düzenleyici (Kompansatör), Z_C röle ile denge noktası arasındaki empedansın ($n.Z_L$) pozitif bileşenine eşit olacak şekilde ayarlanır. Denge noktasındaki üç fazlı arızada (3 nolu arıza) V_X , Y ile Z arasındaki doğru üzerinde sona erer. Sonuçta sıfır alanlı bir üçgen meydana geldiği için X, Y ve Z' ye bağlı silindirik ünitesi üzerinde çalışma momenti oluşmaz. Denge noktasının ilerisinde (4) ve gerisindeki (1) arızalarda XYZ üçgeni meydana gelir ve bu üçgen çalışma momenti oluşturur. Denge noktasından içerdeki (2) arızalarda bir XYZ üçgeni meydana gelir ve oluşan çalışma momenti üçgenin alanıyla orantılıdır.

Yakındaki kuvvetli üç fazlı arızalar çok küçük alanlı bir ABC üçgeni oluşturur. Bu Y ve Z' nin çok küçük yada sıfır çalışma alanıyla orijine yığılması demektir. Bundan kaçınmak için, B ve C gerilimleri sifıra yaklaştığı veya eşit olduğu zaman Y ve Z' nin yığılmasını geciktirerek hafızaya alma işlemi gerçekleştirilir. Bu gecikme, üç fazlı ünitenin ani çalışmasına (1. bölge) ve sıfır gerilimli üç fazlı arızalarda kesicinin açmasına müsaade edecek kadar uzun olmalıdır. Yedek koruma (3. bölge) ve sürekli moment gerektiren yerlerdeki diğer arıza uygulamaları için ilave edilmiş akımlı farklı bir üniteye sadece moment uygulanır. Bu donanım yakındaki büyük değerli arızalar için üniteleri yönsüz hale getirir. Bunlar KD-4 ve KD-11 röleleridir.



Şekil 4.4b Westinghouse imalatı KD-4 ve KD-10 faz mesafe rölelerinin çeşitli noktalarındaki arızalar için fazör diyagramları (Faz-faz ünitesi)

Şekil 4.4b' de KD-10 faz-mesafe rölesinin faz-faz ünitesinin çalışması gösterilmiştir. Uygulanan üç faz gerilimleri ile yıldız bağlı akım transformatörlerinden alınan I_A , I_B ve I_C akımları,

$$V_X = V_A - (I_A - I_B) \cdot Z_C \quad (4.9)$$

$$V_Y = V_B \quad (4.10)$$

$$V_Z = V_C - (I_C - I_B) \cdot Z_C \quad (4.11)$$

Düzenleyici Z_C , röle ile denge noktası arasındaki empedansın ($n \cdot Z_L$) pozitif bileşenine eşit olacak şekilde ayarlanmıştır. Denge noktasındaki faz-faz arızasıyla, A-B, B-C veya C-A arızalarında XYZ üçgeninin alanı sıfırdır. Şekil 4.4b çeşitli B-C arızaları için fazörleri göstermektedir. Denge noktasındaki (3) bir B-C arızasında V_{YZ} sifıra eşit olur. Denge noktasının ilerisindeki (4) ve gerisindeki B-C arızasında çalışmayı engelleyen XYZ üçgeni oluşur, denge noktasından içerideki (2) B-C arızalarında rölenin çalışmasını sağlayan XYZ üçgeni oluşur.

KD-10 faz-faz ünitesi iki faz-toprak arızalarının da çoğunda çalışacaktır. İki ünite birlikte, röle ile ayarlandığı denge noktası arasındaki iki faz-toprak arızalarının tümünü komple inceleme imkanı sağlar. Bileşen şebekelerinin üçünün paralel olduğu bu arızalar için, Z_0 ' ın Z_2 ile karşılaştırıldığı zaman büyük olduğu arızalarda, arıza faz-faz arızasına benzer hale gelir. Z_0 çok büyük olup sonsuza yaklaşırsa iki faz-toprak şebekesi faz-faz arıza şebekesine eşdeğer hale gelir.

Bu ünite için hafızaya almaya gerek yoktur ve kuvvetli, sıfır gerilimli, röledeki faz-faz arızasında büyük değerli moment ortaya çıkar. Şekil 4.4b' de görüldüğü gibi, V_{BC} sifıra eşit olduğu zaman, V_{YZ} ve V_{YX} gerilimleri büyük bir XYZ çalışma üçgeni oluşturacak şekilde büyük olur.

SKD, SKDU, SP vs. tipindeki yarı iletken K-DAR rölelerinde de benzer ilişkiler vardır. Bu rölelere ait fazörler şekil 4.5' te gösterilmiştir.

Şekil 4.5a gerilimleri:

$$V_{XY}=V_{AB} - (I_A-I_B).Z_C \quad (4.12)$$

$$V_{ZY}=j.\frac{V_{AB}}{2} \quad (4.13)$$

olan üç fazlı ünitenin uygulanmasını gösteriyor. Z_C ' nin denge noktasına kadar olan hat empedansının ($n.Z_L$) pozitif bileşenine eşit olarak ayarlandığı röleyle, denge noktasındaki bir üç fazlı arızada $V_{XY}=0$ olacaktır ve moment olmayacaktır. Denge noktasının ilerisindeki (4) ve gerisinde (1) V_{ZY} , V_{XY} ' yi ilerleterek engelleyici durum oluşur. Denge noktasından içerdeki arızalarda V_{ZY} , V_{XY} ' yi geri bıraktıracak bir çalışma durumu oluşturur.

Şekil 4.5b yarı iletken rölelerde faz-faz arızasını göstermektedir. Rölenin bulunduğu yerde gerilimler;

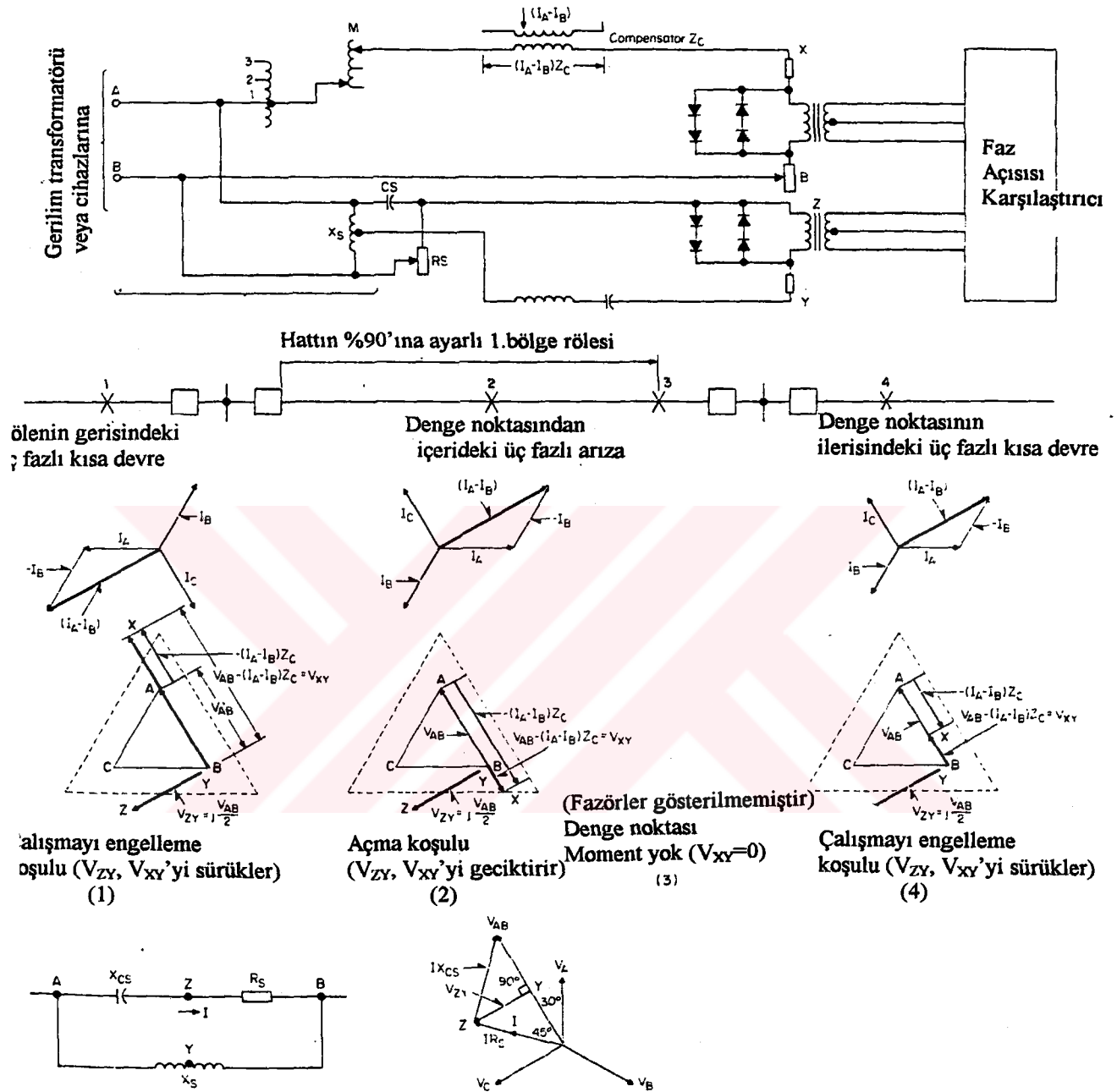
$$V_{XY}=V_{AB} - (I_A - I_B). Z_C \quad (4.14)$$

$$V_{ZY}=V_{CB} - (I_C - I_B). Z_C \quad (4.15)$$

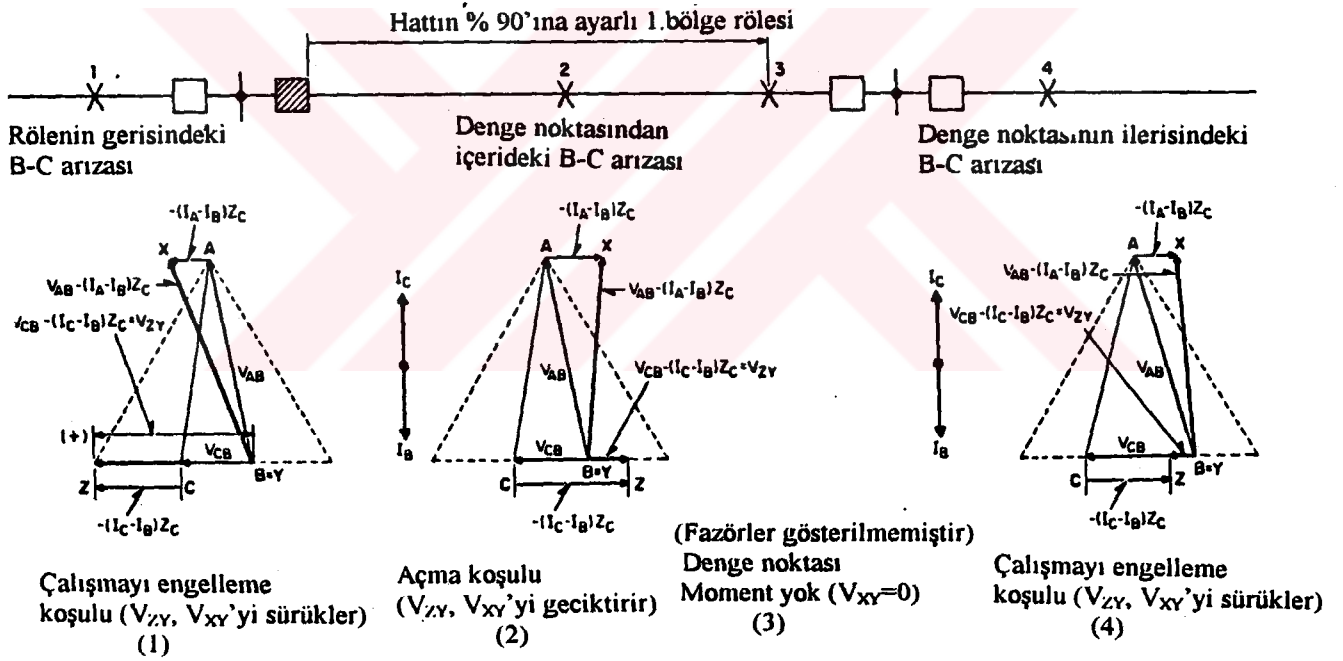
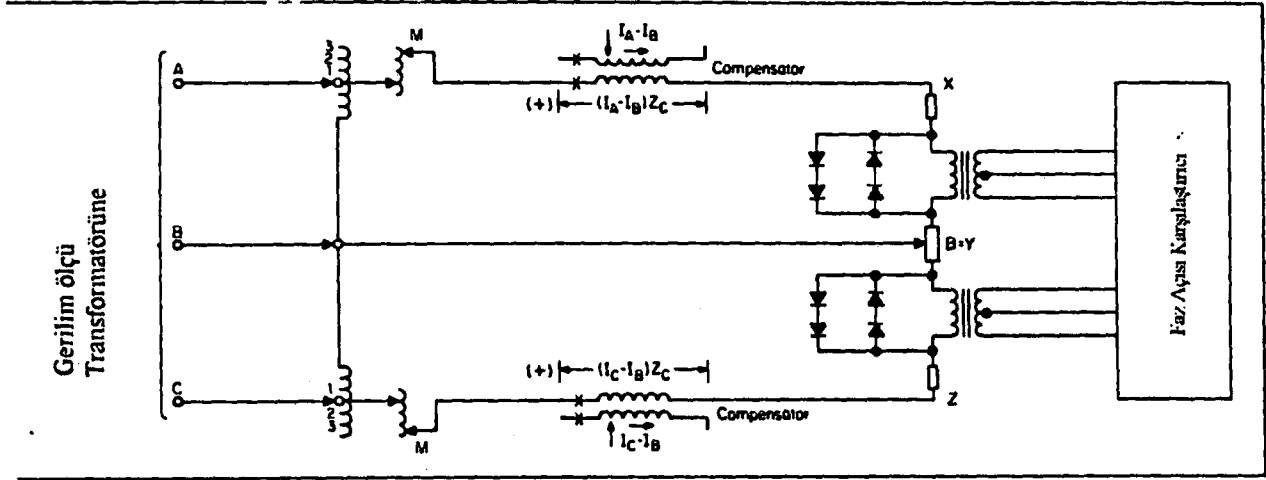
Düzenleyici, Z_C empedansı denge noktasına kadar olan hat empedansının ($n.Z_L$) pozitif bileşenine eşit olacak şekilde ayarlanmıştır. Her ne kadar diyagramlar, B-C arızası için ise de, benzer diyagramlar A-B ve C-A arızalarına da uygulanabilir. Denge noktasında (3) B-C arızasında $V_{ZY}=0$ olur ve moment oluşmaz. Denge noktasının ilerisindeki (4) ve gerisindeki (1) arızalarda V_{ZY} , V_{XY} ' yi ilerletir ve engelleyici bir durum oluşur, çalışma bölgesi içindeki (2) arızalarda ise V_{ZY} , V_{XY} ' yi geri bıraktıracak çalışma koşulunu oluşturur.

Şekil 4.6' da K-DAR rölelerinin R-X diyagramı üzerinde çalışma şekli gösterilmiştir. Üç faz ünitesi bir admittans (mho) dairesidir, denge noktalarının oluşturduğu daire üzerindeki herhangi bir noktadaki koruma mesafesi;

$$Z_{K.M.}=\frac{1}{2}(Z_C - Z_C < \theta) \quad (4.16)$$



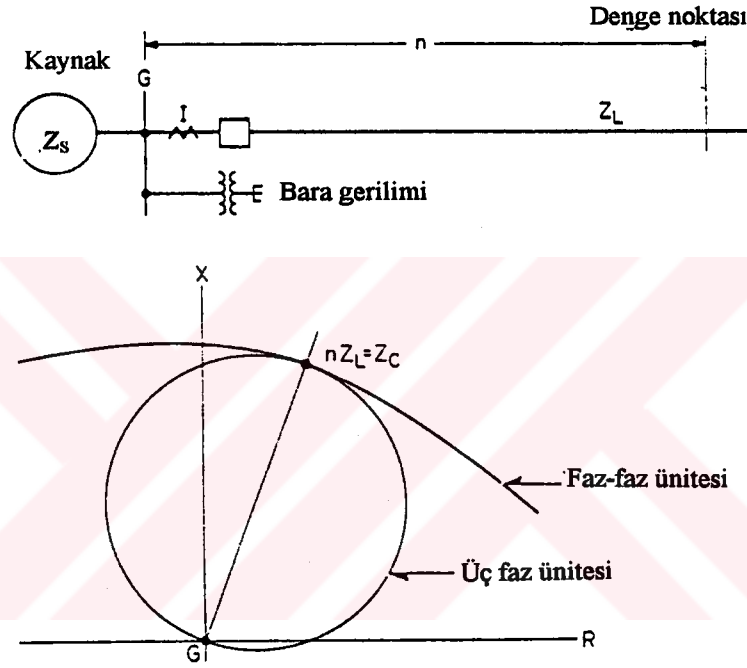
Şekil 4.5a Westinghouse imalatı yarı iletken KD-4 ve KD-10 faz mesafe rölelerinin çeşitli noktalardaki arızalar için fazör diyagramları (Üç faz ünitesi)



Şekil 4.5b Westinghouse imalatı KD-4 ve KD-10 yarı iletken faz mesafe rölelerinin çeşitli noktalardaki arızalar için fazör diyagramları (Faz-faz ünitesi)

Bu, merkezi G noktasından $(1/2).Z_C$ uzaklıktaki offset noktasında olan ve yarıçapı $(1/2).Z_C$ olan bir daire tanımlar. θ sıfır derece olduğu zaman $Z_{K.M}$, Z_C ' ye eşit olur. Faz-faz ünitesi için herhangi bir noktadaki koruma mesafesi;

$$Z_{K.M} = \frac{1}{2}(Z_C - Z_S) + \frac{1}{2}(Z_C + Z_S) \cos \theta \quad (4.17)$$



Şekil 4.6 R-X Diyagramında K-DAR rölesi

(4.17) denkleminde birinci terim offset' tir, ikinci terim ise dairenin yarıçapıdır. Faz-faz ünitesi için ayar noktası haricinde daire orijinden geçmez ve kaynak empedansına bağlı olarak değişir. Z_S sıfıra eşitse karakteristik, (4.17) denkleminin (4.16) denklemine dönüşmesi nedeniyle, orijinden geçen bir mho dairesidir. θ , 180° olduğu zaman geri yönde koruma yapılır. Arıza akım transformatörünün hat tarafından bara tarafına doğru olduğu zaman akım yön değiştirdiği için daima rölenin çalışmasına karşı bir engel olduğu için bu fonksiyonun pratik bir önemi yoktur. [Şekil 4.4 ve 4.5, arıza (1)] Sonuç

olarak röle yönlüdür ve çalışma alanı sadece koordinat sisteminin 1. bölgesinde Z_C eğrisi ile R eksenini arasında kalan kısmın alanıdır.

θ , 0° ye eşit olduğu zaman Z_S içeren terimler kalkar ve bu nedenle $Z_{K.M.}$, Z_C ye eşit olur. Faz-faz karakteristiği ayar noktasında sabittir ve diğer noktaların tümünde değişebilir. Ne yükün, güç salınımlarının ve ne de dengelenmiş koşulların herhangi bir tipinin çalışma momenti oluşturamaması nedeniyle bu değişim durumlarının dezavantajı yoktur. Diğer bir deyişle faz-faz ünitesinin çalışması ve ayarı yük salınımlarından tamamen bağımsızdır.

4.4 Hattın Bir Uçtan ve Ortadan Beslenmesi Durumunda Ortadan Beslemenin Mesafe Rölelerinin Çalışmasına Olan Etkisinin İncelenmesi

Mesafe rölesinin çalışma sınırları içerisinde bir arıza akım kaynağı olduğu zaman rölenin koruma mesafe azalır ve değiştirilebilir. F noktasındaki arızayı H barasındaki diğer hat ve kaynakların beslediği yerdeki “hattın ortadan beslenmesi etkisi” şekil 4.7’ de görülebilir. Bu etki sebebiyle G barasındaki röleler F noktasındaki arızayı daha ilerdeki F’ noktasındaymış gibi algırlar. F noktasındaki direkt kısa devre arızasında (kuvvetli-sıfır gerilim) G barasındaki röleye gelen gerilim, G ile F arasında düşen gerilimdir. Bu gerilim,

$$V_G = I_G \cdot Z_L + (I_G + I_H) \cdot Z_H \quad (4.18)$$

G barasındaki röle sadece I_G akımını tespit ettiği için G’ den görünen arıza empedansı,

$$Z_{G\text{görünen}} = \frac{V_G}{I_G} \quad (4.19)$$

$$Z_{G\text{görünen}} = Z_L + Z_H + \frac{I_H}{I_G} \cdot Z_H \quad (4.20)$$

$$Z_{G\text{görünen}} = Z_L + Z_H \left(1 + \frac{I_H}{I_G} \right) \quad (4.21)$$

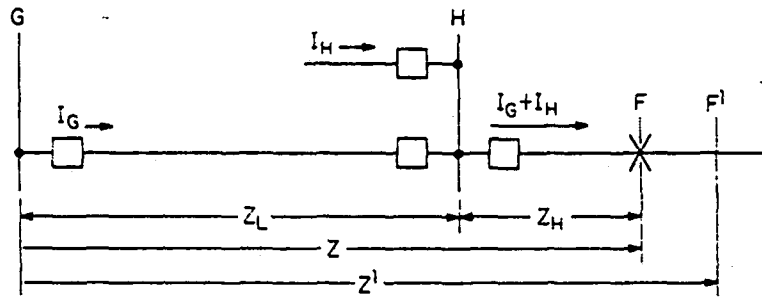
$$Z_{G\text{görünen}} = Z_L + \frac{Z_H}{K} \quad (4.22)$$

$$K = \frac{I_G}{I_G + I_H} \quad (4.23)$$

Gerçekte F noktasındaki arızaya ait gerçek empedans;

$$Z_{G\text{gerçek}} = Z_L + Z_H \quad (4.24)$$

Eğer I_H akımı sıfır ise yani ortadan besleme yoksa $Z_{\text{görünen}}$ ile $Z_{\text{gerçek}}$ eşit olur. Ortadan besleme etkisi I_G ile orantılı olarak arttığı için görünen empedans $(I_H / I_G) \cdot Z_H$ ile artar. Mesafe rölesi tarafından ölçülen empedans gerçektekinden daha büyük olduğu için rölenin koruma mesafesi azalır. Şekil 4.7' de rölenin koruma mesafesi Z_L ' den daha az olamayacağı için 2. ve 3. bölgeler hattın korunmasını sağlar. Bununla beraber ardışık hatların uzak yedek korumasına sınır gelebilir. Modern güç sistemlerinde hatların ortadan beslenmesi çok yaygın ve oldukça büyük değerler aldığı için lokal (yerel) yedek korumaya doğru bir yöneliş vardır.



Şekil 4.7 Mesafe rölesinin ölçtüğü empedansa ortadan beslemenin etkisi

Ortadan besleme etkisi sistemin görünümü ve sistemdeki değişikliklerle değişir ve görünen empedansın değişken olduğu sistem koşulları altında maksimum olabilir.

4.5 Hat Üzerinde Bir Noktadan Çıkış Yapan Dağıtım Transformatör Postalarının Etkisi

Sık sık problem çıkarmasa da hattın herhangi bir yerinden çıkış yapan bir transformatör postasının etkisi gözönüne alınmalıdır. Şekil 4.8' de tipik bir durum gösterilmiştir. H barasından arızaya gelen dahili besleme akımı, transformatör ve transformatörün sekonder devrelerindeki arızalarda G barasındaki rölenin bir görünen empedans algılamasına neden olur. Yukarıda da açıklandığı gibi F noktasındaki arızada G rölesinin göreceği empedans;

$$Z_{G\text{görünen}} = \frac{V_G}{I_G} \quad (4.19)$$

$$= \frac{n \cdot Z_L \cdot I_G + Z_T \cdot (I_G + I_H)}{I_G} \quad (4.25)$$

$$I_F = I_G + I_H \text{ olduğu için} \quad (4.26)$$

$$I_G = K \cdot I_F \quad (4.27)$$

K, G barasındaki röleden geçen akımın akım dağıtım faktörü

$$Z_{G\text{görünen}} = n \cdot Z_L + \frac{Z_T}{K} \quad (4.28)$$

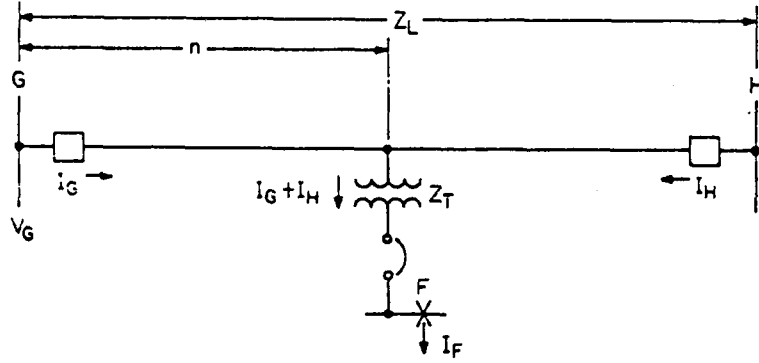
K, her zaman 1' den küçük olduğu için $I_H=0$ olduğu zaman Z_G görünen empedansı her zaman arıza noktasındaki gerçek empedanstan ($n \cdot Z_L + Z_T$) büyüktür.

Benzer olarak H barasındaki röle daha büyük bir görünen empedans algılar.

$$Z_{H\text{görünen}} = (1 - n) \cdot Z_L + \frac{Z_T}{1 - K} \quad (4.29)$$

G barasındaki 1. bölge rölesi görünen empedansın değil Z_L veya ($n \cdot Z_L + Z_T$) gerçek empedansının en küçük değerinin % 90' ma ayarlanmalıdır. Aksi halde 1. bölge,

ya transformatörde ya da H barasında yanlış koordinasyon sonucu uzun koruma mesafesi olabilir. Z_T , $(1 - n).Z_L$ empedansından küçük olduğu zaman G barasındaki röle dağıtım transformatörü olmadığı zamanki kadar hattın çoğunu koruyamaz. Genel olarak dağıtım postası nispi olarak küçüktür. Bu nedenle Z_L ile karşılaştırılırsa Z_T daha büyüktür.



Şekil 4.8 Dağıtım transformatör postasının alçak gerilim tarafındaki arızada görünen empedans

Hattı korumak için 2. bölge rölesi Z_L ' den daha büyük değerlere ayarlanmalıdır. G barasındaki röle için Z_T , $(1 - n).Z_L$ ' den küçük olduğu zaman veya 2. bölge rölesinin ayarı $(n.Z_L + Z_T)$ değerinden büyük olduğu zaman 2. bölge rölesinin transformatörün alçak gerilim devresindeki sistemlerle koordineli olması gerekir. H serviste olduğu sürece dahili besleme etkisi ortadan kalkacaktır.

Y / Δ veya Δ / Y transformatör postaları arasındaki kompleks ilişki bir fazlı tip mesafe rölesinin koruma mesafesinin etkileyecektir. Transformatörün bir tarafındaki faz-faz arızası diğer tarafta röleye iki faz-toprak arızası olarak görünecektir. Bununla birlikte K-DAR mesafe rölelerine bütün faz-faz arızaları Y / Δ veya Δ / Y transformatörlerinin hepsi için diğer tarafta röleden sadece Z_T uzaklığındaki bir faz-faz arızası olarak görünecektir. Başka bir deyişle bu röleler bir fazlı diye faz kayması onları etkilemeyecektir.

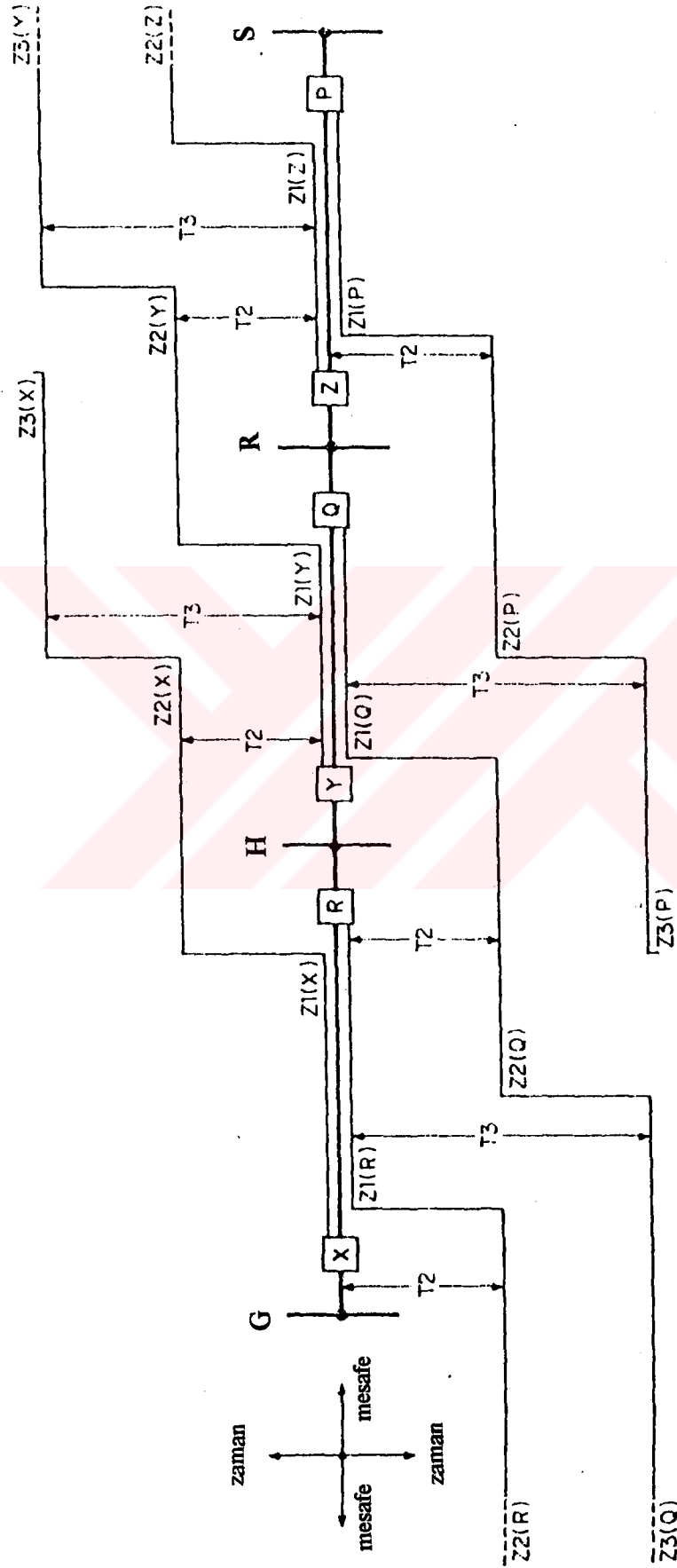
Şimdiye kadar hat üzerindeki dağıtım transformatörüyle ilgili yaptığımız incelemede transformatörün alçak gerilim tarafında arızayı besleyecek bir kaynağın olmadığı varsayıldı. Böyle bir kaynak varsa, bu kaynak hat arızalarında; G barasındaki röle için hattın $(1 - n).Z_L$ bölümünde ve H barasındaki röle için hattın $n.Z_L$ bölümünde bir görünen empedans oluşturacak ve rölenin koruma mesafesinin kısalmasına neden olacaktır. Yine G ve H baralarındaki birinci bölge rölelerinin ayarı görünen değil gerçek empedansa göre yapılmalıdır. İkinci ve üçüncü bölge röleleri hat bölümünü kaplayacak maksimum empedansa göre ayarlanmalıdır. Transformatörün alçak gerilim tarafındaki kaynak devreden çıkarıldığı zaman kuşkusuz ki koruma mesafesi daha büyük olacaktır..

4.6 Mesafe Rölelerinde Bölge Uygulaması

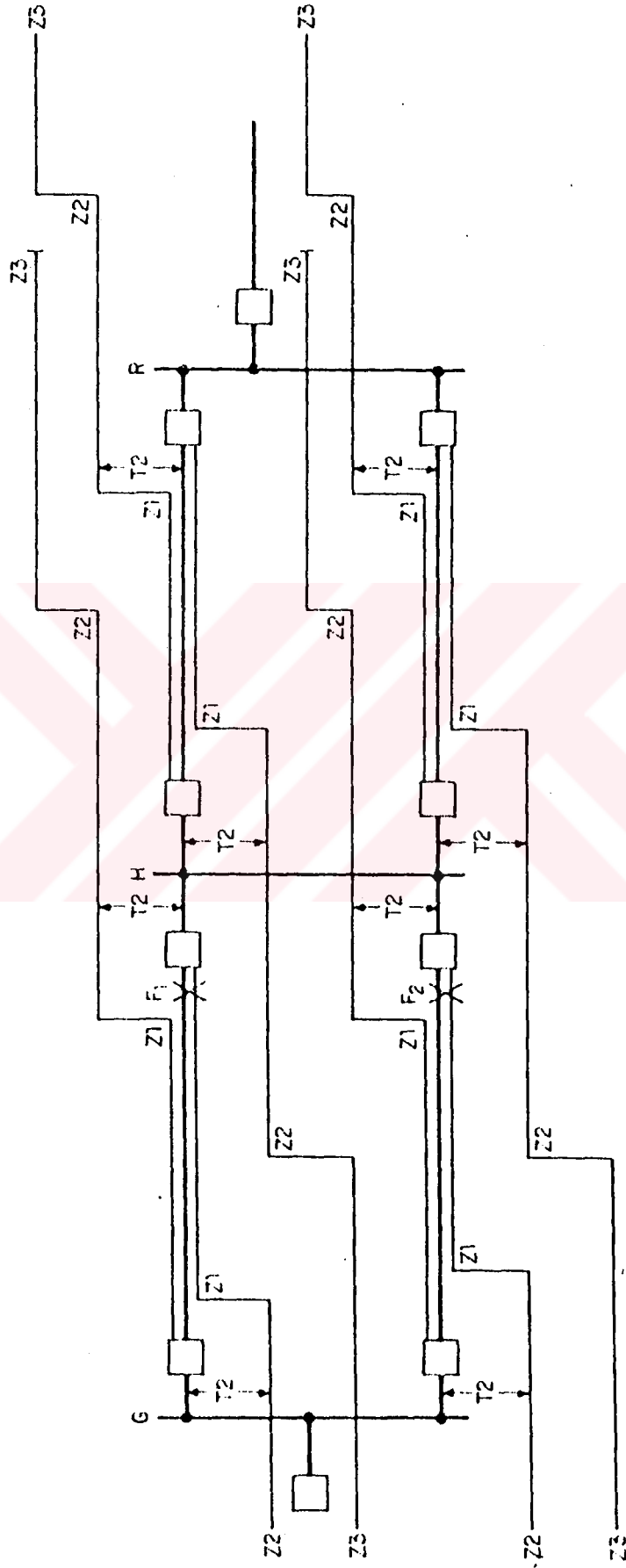
Önceleri bir hat bölümünü korumak ve uzaktaki bölümler için yedek koruma sağlamak için üç bölgeli korumadan yararlanılmıştır. (Şekil 4.9a). Üç bölgeden her birinde ani çalışan mesafe röleleri kullanılır. Birinci bölge hat empedansının % 90' ma ayarlanır. İkinci bölge hat empedansının % 100' ü artı en kısa komşu hattın % 50' sine ayarlanır. Üçüncü bölge her iki hattın % 100' üne ve komşu hattın yaklaşık % 25' ine ayarlanır. Bu klasik ayarlar ortadan besleme etkisi yok iken koruma bölgelerini belirlerler. Pratikte yukarıda anlatıldığı gibi hemen hemen her zaman baralarda koruma mesafesini azaltan bir hattı ortadan besleme etkisi vardır.

Birinci bölge (Z_1) rölesi ani olarak açma yaptığı için bu bölge uzaktaki baraya kadar ulaşamaz. Bu nedenle ayar bu bölgenin % 85-90' ma yapılır. Bölge sonunda kalan bu % 10-15' lik kısım röleler akım ve gerilim transformatörleri ile hat empedanslarındaki yanlışlıkları ve farklılıkları uygun hale getirmek için bir emniyet faktörüdür.

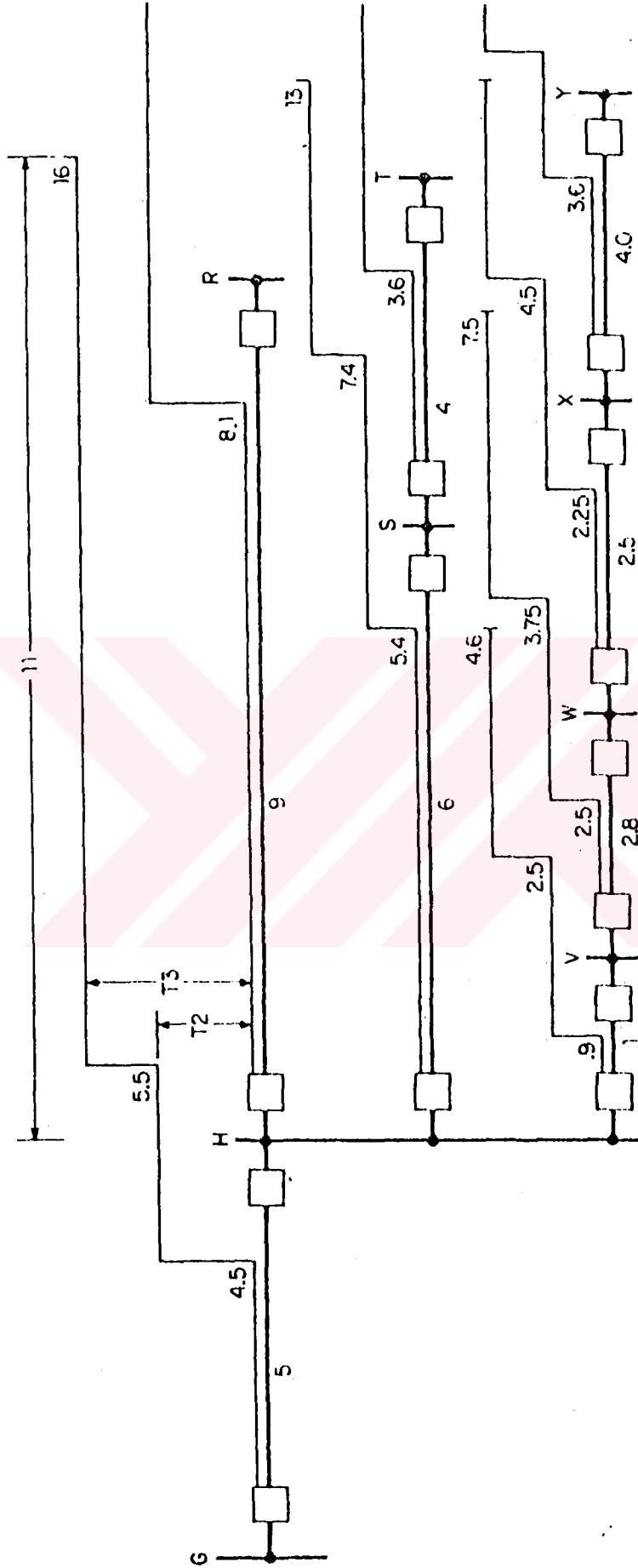
Bölge sonundaki % 10-15' lik kısım T_2 zaman gecikmesiyle çalışan ikinci bölge (Z_2) rölesi ile korunur. Her terminalde eş zamanlı ani korumalı hattın % 70-80' i ile hattın tümünü korumak için iki bölge gereklidir. Bu koruma sistemindeki değişimlerden ve yüklemelerden bağımsızdır. Yedek koruma bölgesi olan üç.üncü bölge, ikinci bölge ile



Şekil 4.9a Mesafe rölesi ile korumada zaman basamakları



Şekil 4.9b Paralel hatlarda mesafe rölelerinin koordinasyonu



Not: Verilen empedans değerleri akım ve gerilim ölçü transformatörlerinin sekonder değerlerine göre dir.

Şekil 4.9c Farklı uzunlukta radyal hatlar bulunan bir sistemde mesafe rölelerinin koordinasyonu

koordineli çalışmak için T_3 zaman gecikmesiyle çalışır. Sabit koruma mesafeli ve zamanlı olarak mesafe rölelerinin koordinasyonu aşırı akım rölelerinin koordinasyonundan çok daha kolaydır.

Yön karşılaştırmalı pilot röleli korumada, üçüncü bölge başlangıç taşıyıcı olarak kullanılır. Bu, korunan hat kısmına zıt yönde ters koruma mesafesiyle ayarlanmalıdır. T_3 , hattın ilerisinden çok gerisindeki rölelerle koordineli çalışmalıdır.

Şekil 4.9b' de mesafe rölelerinin paralel hatlara uygulanması görülmektedir. Burada paralel hatların her birinde T_2 zamanı aynı olmalıdır. Hat üzerindeki uç bölgelerde bir arıza meydana gelip yakındaki kesici ve rölelerin çalışması ile ortadan kaldırılmamış ise her iki hattın uzaktaki uçlarındaki kesicilerde açılacaktır.

F_1' deki arızada H ucundaki kesici açılmazsa, G' deki alt ve üst hattın ikinci bölge röleleri bu arızayı görür ve T_2 zamanıyla çalışır. Benzer şekilde F_2' deki arızada benzer şekilde sonuçlanacaktır.

Her iki T_2 süresi de aynı olmasaydı arızasız hat daha önce açılacaktır. Alttaki hattın T_2 süresi üstteki hattın T_2 süresinden daha büyük olursa, F_1 noktasındaki arızada G' deki üstteki hattın ikinci bölge rölesi öncelikle çalışacaktır. Fakat arıza F_2' de ise, bu arızayı G barasının alttaki hattın 2. bölge rölesinin ortadan kaldırması gerektiği halde üstteki hattın 2. bölge rölesi çalışır.

Farklı uzunlukta bir kaç adet uzak hat olduğu zaman 2. ve 3. bölge ayarları şüpheli hale gelir. (Şekil 4.9c). HS ve HR hatlarıyla karşılaştırıldığında HV kısa olduğu için, G barasındaki ikinci bölge rölesinin HV hattının % 50' sine ayarlanmış olması, HR hattının % 5,5' ini HS hattının % 8,4' ünü maksimum olarak kaplar. Bu kaplama hattın ortadan besleme etkisiyle daha da azalır. G' deki 2. bölge rölesinin ayarını arttıracak ve HV, VW ve WX hatlarının T_2 süreleri ile koordine etmek için T_2' yi genişleterek elde edilebilir.

Mesafe rölesinin koruma mesafesi gerilim ölçü transformatörünün bulunduğu yerden, yön algılama ise akım transformatörünün bulunduğu yerden itibaren başlar. Bir çok uygulamada akım ve gerilim transformatörleri hemen hemen aynı yere konulur. Bir hattın başında bir transformatör varsa ve transformatör çıkışında hattın başladığı yerde kesici yoksa bu durumda mesafe rölesinin bağlantılarıyla ilgili bir kaç seçenek vardır. (Şekil 4.10). Rölenin koruma mesafesi sadece $(n.Z_L)$ ' in bir fonksiyonu olduğu için bu hattı koruyacak olan mesafe rölesi için I_H ve V_H ' ı kullanmak tercih edilir. Diğer bir seçenek V_H ile I_L ' nin kullanılmasıdır, bu durumda da koruma mesafesi sadece $(n.Z_L)$ ' in fonksiyonu olacaktır. Rölenin yüksek gerilimli primer sargı tarafındaki $n.Z_L$ empedansına ayarlanması halinde, akım transformatörünün çevirme oranı, (4.5) denklemindeki n_T güç transformatörünün çevirme oranını $(n_T = n_{TL} \cdot \frac{R_{VL}}{R_{VH}})$ ve yüksek gerilim tarafındaki gerilim transformatörünün n_{VH} çevirme oranını da kapsamaktadır. Gerilim transformatörünün primer sargıdaki uçların değiştirilmesi suretiyle gerilim ayarı yapıldığı zaman güç transformatörünün çevirme oranı ve dolayısıyla rölenin koruma mesafesi de değişir. Bu nedenle transformatörde gerilim ayarı yapmak amacı ile her primer uç değişiminde röle kontrol edilmelidir. Mesafe rölesinin 1. bölgesi Z_L empedansı kullanılarak sekonder tarafından görünen empedansın % 90' ına ayarlanmalıdır. 2.

bölge, sekonder tarafından görünen maksimum empedansın % 100' ünden büyük bir değere ayarlanmalıdır. Birinci gereklilik koruma mesafesinin ilerideki barayı aşması önlenir. İkinci gereklilik koruma mesafesinin, bölge sonunu kapsayamaması sorununu önler.

Güç transformatörü Y/ Δ bağlı ise, ya alçak gerilim tarafındaki akım transformatörleri Δ bağlamalı ya da yardımcı akım transformatörleri kullanılmalıdır. Böylece röle akımı güç transformatörünün Y.G ya da başka bir deyişle hat tarafındaki akıma eşdeğer yapılır. Şekil 4.11a Y.G tarafının üçgen bağlı, şekil 4.11b de Y.G tarafının yıldız bağlı olması halindeki bağlantılar gösterilmiştir.

Şekil 4.11 de gösterilen bağlantıların faydası, mesafe V_H ' tan ölçülüyor ve sadece $n.Z_L$ ' i içeriyorken röle transformatördeki (Z_T) arızalarda da çalışacaktır. Arıza akımının yönü Z_L ' den itibaren tesbit edildiği için transformatördeki bir arızada arıza empedansı rölenin ayarlandığı $n.Z_L$ empedans sınırının içinde kalacaktır. Transformatör arızalarındaki görünen empedans, rölenin akım devresinden geçen akım yakın baradan gelirken, gerilim uzak baradan gelen akımın fonksiyonudur.

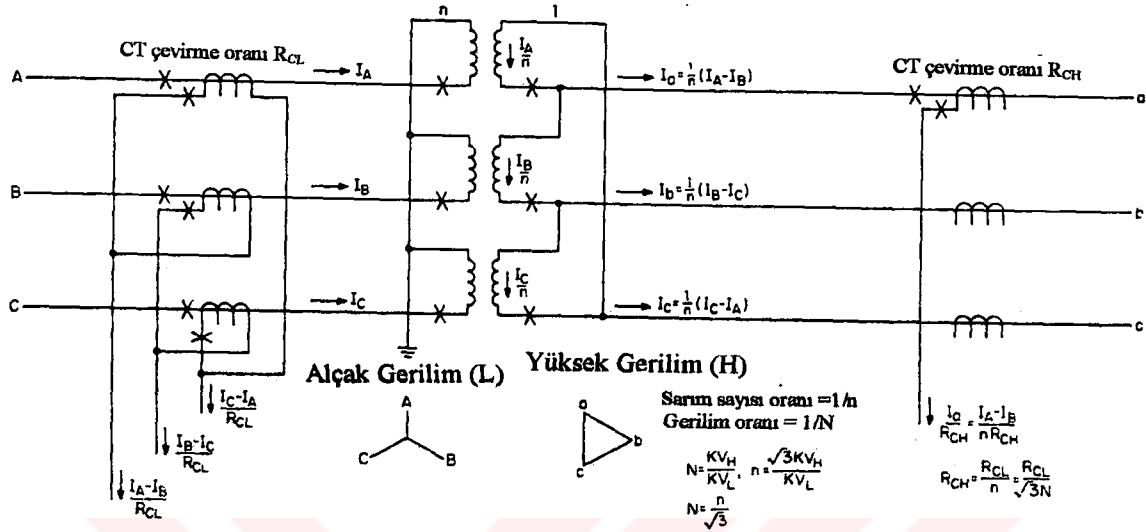
Şekil 4.10' da gösterilen sistemde bir üç fazlı kısa devreyi gözönüne alalım. Kesici ve transformatör arasındaki üç fazlı kısa devre akımının toplam değeri I, alçak gerilim tarafındaki akım transformatörüne doğru akan akımın değeri per-unit olarak K, uzak baradan sağa doğru akan akım per-unit olarak (1-K) ise;

$$V_H = (1-K).I.Z_T \quad (4.30)$$

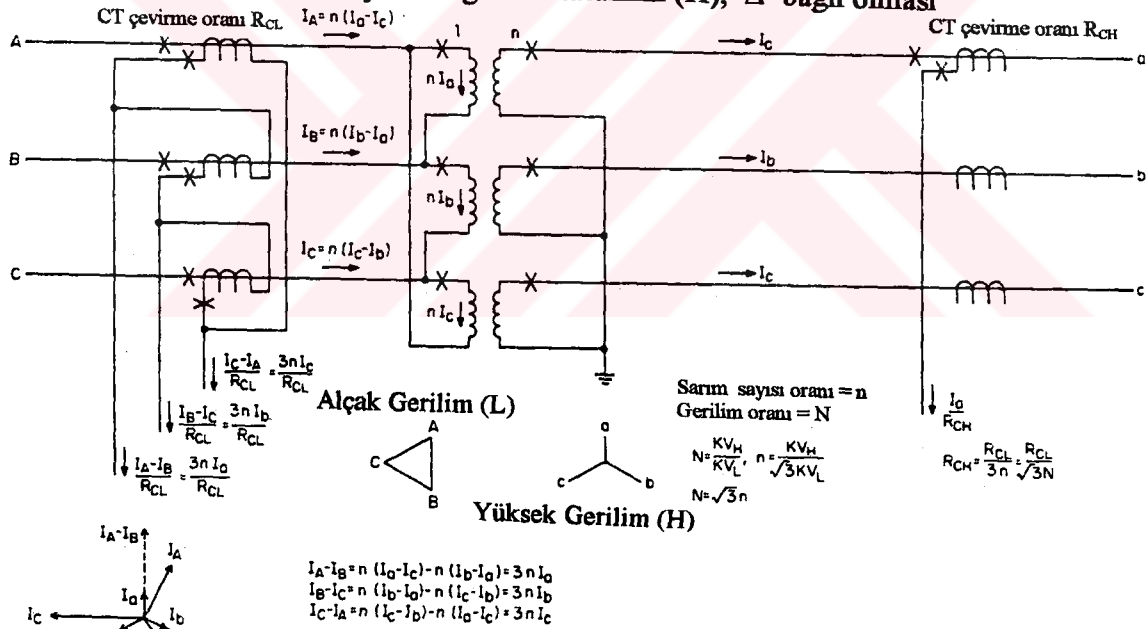
ve

$$Z_{\text{görünen}} = \frac{(1-K).I.Z_T}{K.I} \quad (4.31)$$

$$Z_{\text{görünen}} = \frac{(1-K).I.Z_T}{K.I} \quad (4.32)$$



(a) Güç transformatörünün yüksek gerilim tarafının (H), Δ bağlı olması



(b) Güç transformatörünün yüksek gerilim tarafının (H), Y bağlı olması

Şekil 4.11 Hat üzerindeki güç transformatörünün Y/ Δ veya Δ /Y bağlı olmasına göre akım transformatörlerinin bağlantıları

Normalde, Z_T empedansı 1. bölge için $n.Z_L$ empedansından daha büyüktür ve bu durum ani çalışmayı sınırlamaktadır. 2. veya 3. bölgenin ayarlandığı empedans değeri de Z_T mertebesinde.

Pratikteki uygulamalarda Y.G. ile çalışmak izolasyon problemleri nedeniyle ekonomik olmadığı için V_L gerilimi kullanılır ve A.G. tarafındaki gerilim transformatörü kullanılır. Daha yaygın olan uygulama A.G. bazında (V_L) V_L ve I_L ile primer empedansları kullanılmaktadır.

Üç fazlı sistemde her faz için birer adet bir fazlı mesafe rölesi kullanıldıysa ve sistemdeki güç transformatörü Y/ Δ bağlı ise röleler A.G. tarafında ise Y.G. tarafındaki V_H ve I_H değerlerine eşdeğer olacak şekilde akım ve gerilimleri kaydırmak gereklidir. Aksi halde Y.G. tarafındaki arızalarda, mesafe rölesi güç transformatörü ve kaynağın bir fonksiyonu olan kompleks bir empedans görecektir.

Eğer K-DAR tipi mesafe rölesi kullanılırsa yukarıda bahsedilen kaydırmaya gerek kalmaz. I_L yıldız akımı ve faz arası V_L gerilimlerinin kullanılmasıyla transformatör ve hattaki faz arızalarına karşı koruma yapılır. Rölenin koruma mesafesinin Z_T ve $n.Z_L$ ' in bir fonksiyonu olması ayrı bir avantajdır. Güç transformatörünün empedansı doğru olarak bilindiği için, K-DAR rölesinin 1. bölge için ayarlanacağı empedans değeri şöyle hesaplanabilir:

$$Z_{C1, bölge} = 0.99.Z_T + 0.90.Z_L \quad (4.33)$$

Z_T empedansı, Z_L ile karşılaştırıldığında büyük ise bu durumda hat korumasının sınırlanması bu yöntemin dezavantajıdır. Örneğin eğer $Z_T=10 \Omega$ ve $Z_L=1 \Omega$ ise Z_1 ' in ayarlanacağı empedans,

$$9.9 + 0.9 = 10.8 \Omega$$

Eğer Y.G. tarafının V_H gerilimi kullanılsaydı, rölenin ayarlandığı empedans değerinden 10Ω 'dan Z_T empedansı çıkarılırsa geriye 0.8Ω kalır ki bu da korunan hattın % 80' i dir.

Gerilim ayarı için transformatörün Y.G. tarafında primer sargıda yapılan uç değiştirmeler Z_T empedansını ve A.G. nokta tarafında sekondere indirgenen Z_L empedansının değerini değiştirir. Ancak gerilim ayarı sırasında primer sargıda çok az sayıda sarım devreye ilave edilir veya devreden çıkarılır ve bu değişiklikten dolayı Z_T empedansındaki artma veya azalma ihmal edilebilir. Mesafe rölesinin 1. bölge empedansı gerçek empedansın % 100' üne ayarlanmayıp % 80-90 gibi bir orana ayarlandığı için uç değiştirme sebebiyle rölenin ani çalışın 1. bölgesinin koruma mesafesi çok uzayarak bir sonraki barayı aşmaz ve böylece koordinasyon bozulmaz.

Mesafe rölesinin ikinci bölgesi, hattı herhangi bir uç değiştirme durumunda korumak için maksimum görünen empedansa göre ayarlanmalıdır. Bu durumda diğer primer ara uçları için de aşırı koruma mesafesinin meydana gelip gelmediği kontrol edilmelidir.

Üçüncü uygulama şekli de V_L ve I_H değerlerini kullanarak koruma yapmaktır. Empedans değerleri yine A.G. barasından ölçüldüğü için bu metodun avantajı azdır. Bu metoda göre yön elemanı güç transformatörünün çıkışındaki, hat üzerindeki akım transformatöründen itibaren çalışmaya başlar.

4.8 Ark Direncinin Mesafe Rölesinin Çalışmasına Etkisi

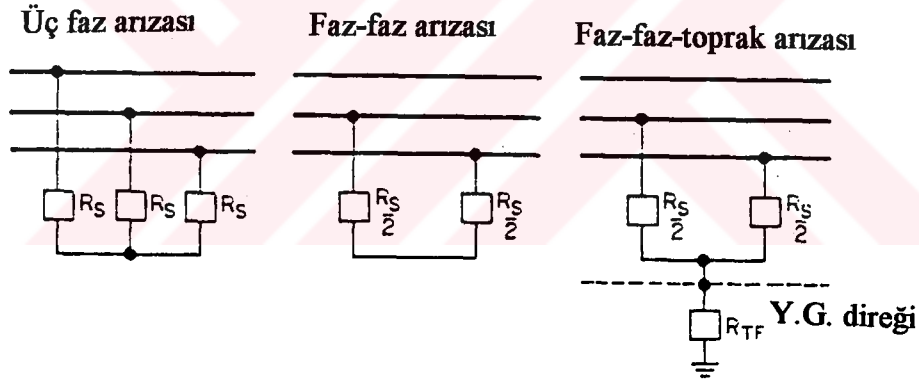
Genel olarak ark direnci mesafe rölesi ile yapılan korumaya ya minimum düzeyde etki yapar veya çok ciddi problemlerin ortaya çıkmasına neden olur. Ark direnci genellikle önemsizdir. Bunun böyle olduğu, çeşitli tipte mesafe röleleri kullanılarak yıllardır elde edilen tecrübelerle ispat edilmiştir.

Arklar oldukça değişiktir ve ark ile oluşan alanla ilgili verileri elde etmek zordur. Oluşturduğu akımın değeri 70 A ile 20 kA arasında değişen ark, pratikte akımın genliğinden bağımsız olarak uzunluk ölçüsü olarak feet başına 440 V gerilim düşümüne neden olur. Böylece ark direnci şöyle hesaplanabilir:

$$R_{ark} = \frac{440 \cdot s}{I} \Omega \quad (4.34)$$

(4.34) denkleminde s, feet olarak ark boyudur ve I ark sırasında oluşan arıza akımıdır.

Faz iletkenleri arasındaki veya faz iletkeni direk arasındaki ark boyu sistem gerilimi ile orantılıdır (şekil 4.13).



Şekil 4.12 Çeşitli arızalar için ark direnci

34.5 kV' un üzerindeki gerilimler için, faz arası gerilim U' nun birimi kV olarak (s/U) 0.1 ile 0.05 arasında değişir. Faz-faz arızaları için (s/U)' nun 0.1 olması durumunda

$$R_{ark} = \frac{440 \cdot s}{I} \Omega \quad (4.34)$$

$$R_{ark} = \frac{44 \cdot U}{\left(\frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \right)} \quad (4.35)$$

$$R_{ark} = \frac{76 \cdot U^2}{S} \quad (4.36)$$

(4.36) eşitliğinde U, birimi kV olarak faz arası gerilim U, birimi kVA olarak üç fazlı kısa devre gücüdür.

Yukarıdaki formül ark direnci için bir tek değer vermektedir. Halbuki pratikte, ark direnci göze çarpacak kadar bir zamanda düşük değerde kalır ve sonra üstel olarak artar. Sonuçta, ark direnci yüksek bir değerde ulaştığında ark kesilmeye başlar ve kısalmır. Sonra direnç aniden düşer ve periyot tekrar eder.

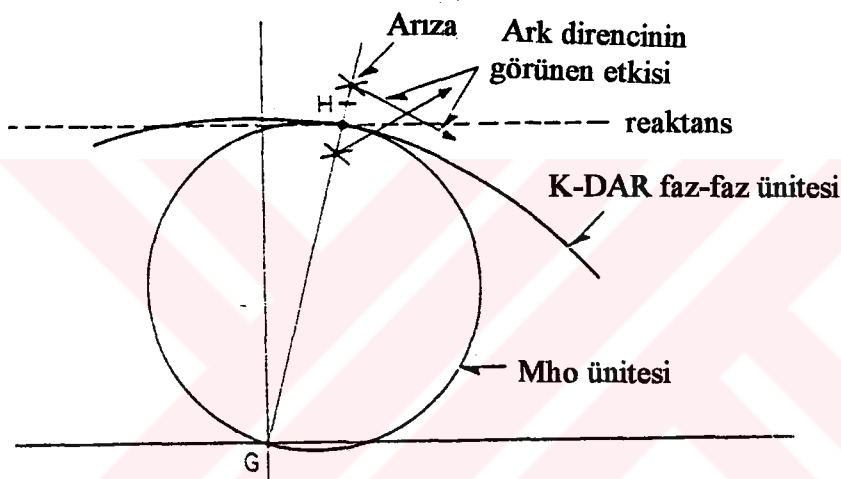
76 kV' a eşdeğer şartlarda yapılan bir dizi deneyde yaklaşık 0.5 sn' de düşük ark direnci değeri 1 Ω' dan 2 Ω' a çıkarak deney sonuçlanmıştır. Bir kaç alternansta ark direncinin maksimum tepe değeri 25 Ω' dan 50 Ω' a çıkmıştır. Ark direncinin başlangıç değerinin düşük olması, rölenin 1. bölgesinin bundan biraz etkileneceği anlamına gelmektedir. 2. ve 3. bölgeler nispeten daha büyük empedansa ayarlandıkları için ve zaman gecikmeli çalıştıkları için ark direncinin başlangıç değerinin düşük olmasının önemi 1. bölgeye göre daha azdır.

Eğer arıza hatta her iki ucu taramfan beslenirse, bu durumda röle bir görünür empedans ölçer. Şekil (4.8)' de gösterilen sistemde Z_T yerine $(R_s / 2)$ ark direnci yerleştirilirse (4.28) eşitliği G barasındaki röle tarafından görülen empedansı verir.

$$Z_{Görünen} = n \cdot Z_L + \frac{R_s}{2 \cdot K} \quad (4.37)$$

(4.37) eşitliğinde K, pozitif sequence akımının dağıtım faktörüdür. Faz-faz arızası için, $(2 \cdot K = K_1 + K_2)$ olur. Burada K_1 ve K_2 pozitif ve negatif sequence akım dağıtım faktörleridir. Pratikte K_1 ve K_2 eşit olduğu için $2 \cdot K$ kullanılabilir.

Başlangıç anında yük akışının olduğu bir güç sisteminde her iki uçtaki gerilim kaynakları aynı fazda değildir. Bu nedenle K, bir fazördür. Sonuç olarak, akım dağıtım faktörü ark direncinin değerini artırır. Bu bir reaktans etkisi yapar. Böylece R-X düzlemindeki ark direnç bileşeni R eksenine paralel olmak yerine yukarı doğru veya aşağı doğru bir yol izler. Eğrinin izlediği yol, bir uçtaki kaynak geriliminin açısının, diğer uçtaki kaynak gerilimi açısına göre bir fonksiyonudur. Sistem koşulları aşırı koruma mesafesi etkisi meydana gelecek şekilde eğrinin aşağı doğru bir yol izlemesine neden olur. Benzer şekilde eğrinin yukarı doğru yol izlemesi koruma mesafesinin kısalmasına neden olur.

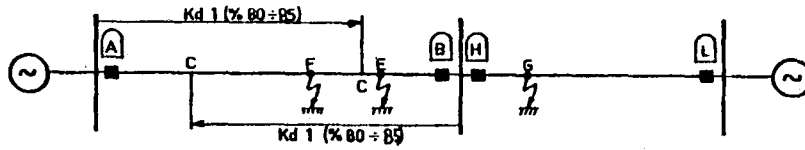


Şekil 4.14 Ark direncinin etkisi

4.9 Mesafe Koruma Rölelerinin Kuranportörlerle Beraber Kullanılması

Mesafe koruma rölelerinin birinci kademeleri genellikle koruduğu hattın % 85' ine ayarlanır. Bu bölgenin içinde olan arızalar ani olarak, dışıda kalan yani % 85-100' lük bölgesindeki arızalar ikinci kademe ve zamanlı olarak temizlenecektir. Şekil 4.15' de F noktasındaki arızada A ve B röleleri, arızayı, birinci kademede temizleyecektir (Ortadan kaldıracaktır). E noktasındaki arızayı, B rölesi birinci kademede, A rölesi ise ikinci kademede yani zamanlı olarak temizleyecektir. Halbuki her iki uçtaki mesafe

koruma rölelerinin AB hattının tamamında oluşacak arızalarda birinci kademedede çalışarak ani olarak arızayı temizlemeleri istenir. E noktasındaki arızada A rölesinin, ikinci kademedede takriben 0.6-0.7 saniyede açması arkın sönme süresini, dolayısıyla geçici arızalarda tekrar kapama süresini uzatacaktır. Bu da sistemin stabilitesinin bozulmasına neden olabilir. Üstelik arızanın uzun süre beklemesi tehzata zarar verebilir. Bunu önlemek üzere yeni hattın tamamında oluşacak arızalarda mesafe rölesinin birinci kademedede (gecikmesiz) açması için röle kuranportörlerinden istifade edilir.



Şekil 4.15 Mesafe koruma rölelerinin kademe bölgeleri

Türkiyedeki elektrik güç sisteminde 154 ve 380 kV hatlarda kullanılan mesafe koruma rölelerinin kuranportörlerle beraber çalışması çeşitli prensiplere dayanmaktadır. Sistemimizde en çok kullanılan “hızlandırma” ve “kilitleme” prensipleri aşağıda anlatılmıştır.

4.9.1 Hızlandırma Prensibi

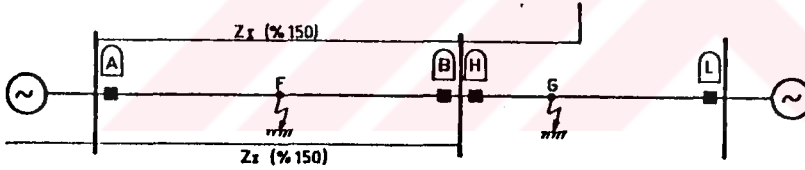
Şekil 4.15’de E noktasındaki arızada mesafe röleleri kuranportörsüz kullanıldığında B rölesi arızayı birinci kademedede, A rölesi ikinci kademedede temizleyecektir. Halbuki arızayı birinci kademedede gören B rölesi bir kuranportör cihazı vasıtasıyla A rölesine hızlandırma sinyali gönderirse bu röleninde ani açılması sağlanır. Böylece A ve B mesafe koruma röleleri AB hattının tamamındaki arızaları birinci kademedeki gibi gecikmesiz olarak temizlemiş olurlar.

Şekil 4.15’de G noktasındaki arıza, A rölesinin ikinci kademesi içine girer. Ancak bu arıza B rölesinin tersine olduğundan açma zincirini çalıştırmayacaktır. Dolayısıyla A rölesine hızlandırma sinyali gitmeyecektir. Böylece AB hattının dışında ve B barasına yakın arızalarda A rölesinin yanlış çalışması önlenmiş olacaktır. Şayet G noktasındaki

arızada, H rölesi, arızayı, birinci kademe içinde temizleyemezse A rölesi ikinci kademe (0.6-0.7 sn gecikmeyle) temizleyecektir. Zaten mesafe koruma rölelerinden istenen selektif korumanın amacı budur.

4.9.2 Kilitleme Prensibi

Kilitleme prensibi ile çalışacak mesafe koruma rölelerinin birinci kademeleri korudukları hattın genellikle %120-150' sine ayarlanır. Örnek olarak, şekil 4.16'da G noktasında olan bir arızayı H ve A röleleri birinci kademe içinde görecektir. H rölesinin arıza kendi bölgesi içinde olduğu için birinci kademe çalışıp açması normaldir. Ancak arıza A rölesinin koruduğu hattın dışındadır. Bu bakımdan da birinci kademe açmaması gerekir. Bu rölenin açmaması için arızayı terste gören B rölesi, A rölesine kilitleme (açmama) sinyali gönderir. Böylece A rölesi B' den gelen sinyal ile birinci kademe açmaz, ancak H rölesi arızayı birinci kademe temizleyemezse ikinci kademe ve zaman gecikmeli olarak açar.



Şekil 4.16 Mesafe rölelerinin kilitleme prensibi ile çalışması

AB hattında, örneğin F noktasında olacak bir arızada her iki röle birinci kademe gecikmesiz açarlar, (A ve B röleleri)

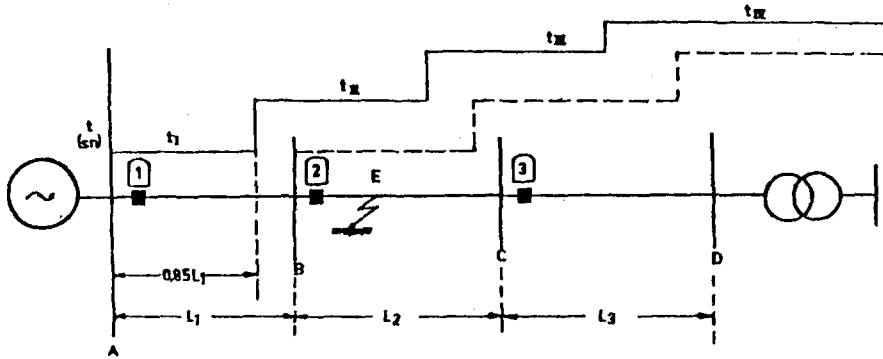
4.10 Pratik Uygulamalarda Mesafe Rölelerinin Kademelendirilmesi

Mesafe koruma rölelerinin korudukları hattın tamamında olacak arızalarda, en kısa sürede çalışarak arızayı temizlemeleri istenir. Bu bakımdan hattın tamamının empedansının hesaplanarak röle üzerinde ayar yapılması gerekir. Ancak bu durumda

gerek ölçü trafolarının oran hatası, gerekse rölenin ölçme hatası, rölenin, karşı barayı aşan arızalardada çalışarak koruduğu hattı gereksiz yere servis harici etmesine neden olur. Bunun için mesafe koruma röleleri kademelendirilir. Her kademe için ayrı bir karakteristik seçilir. Genellikle mesafe koruma rölelerinin birinci kademeleri, % 15-20' lik bir emniyet payı bırakılarak hattın % 80-85' ine ayarlanır. İkinci kademeleri, komşu hattın % 50' sini içine alacak şekilde seçilir. İkinci hatta olacak arızalarda, çalışma önceliğinin bu hatta ait rölenin birinci kademesine verilebilmesi için iki kademe arasında bir zaman koordinasyonu gerekir. Böylece selektivite zamanla tespit edilmiş olur. Şayet mesafe koruma rölesinin ikiden fazla kademesi varsa yeni zaman kademeleri seçilerek üçüncü ve dördüncü kademe ayarı yapmak mümkündür. Genellikle röleler, ikinci kademeleri birincinin azami 5, üçüncü kademeleri ise 10 misli olabilecek şekilde dizayn edilmişlerdir. Mesafe koruma röleleri, korunacak olan hattı korudukları gibi bir sonraki hat rölesine de artçı koruma yapacak şekilde kullanılırlar. Artçı korumanın esası, bir sonraki hat parçasını koruyan rölelerin çalışmaması halinde gerideki rölenin zaman bakımından biraz daha geç de olsa açma yapmasına dayanır.

Şekil 4.17'deki radyal sistemde A barasındaki 1 nolu rölenin birinci kademesi AB hattının tamamına ayarlanırsa, komşu baraya (B barası) yakın E noktasındaki bir arızada yanlış olarak 2 nolu röle ile birlikte çalışarak AB hattını lüzumsuz yere devre harici bırakabilir. Halbuki birinci kademeyi AB hattının % 80-85' ine ayarlayarak bu yanlış çalışma olasılığı ortadan kaldırılabilir. Şekilden de görüleceği üzere E noktasındaki bir arızada, normal olarak, 2 nolu rölenin, birinci kademe zamanında arızayı temizlemesi gerekir. Şayet bu röle çalışmaz veya kesici açmazsa arıza 1 nolu röle tarafından ikinci kademe zamanında temizlenir. Böylece 1 nolu rölenin ikinci kademesi, 2 nolu rölenin birinci kademesine artçılık görevi yapmış olur. Bu düşünce ile 1 nolu mesafe koruma rölesinin kademe ayarları şöyle yapılır:

1. Kademe $0,85.L_1$
2. Kademe $0,85.(L_1 + 0,85.L_2)$
3. Kademe $0,85.(L_1 + L_2 + 0,85.L_3)$



Şekil 4.17 Korumanın kademelendirilmesi

Üç nolu rölenin birinci kademesi, bu röle son hattın rölesi olduğu için CD hattının tamamına ikinci ve üçüncü kademeleride güç trafosunun sargılarının bir kısmını görecektir. Şekilde ayarlanabilir.

Mesafe koruma rölelerinde, birinci kademe rölenin zati gecikmesi ihmal edilirse, ani çalışmalıdır. Birinci kademe elemanı, doğrudan doğruya açma kumandası verir ve zaman gecikmesi ihtiva etmez. İkinci kademe 0,6-0,7 sn; üçüncü kademe 1,5 sn' ye ayarlanır. Şayet dördüncü kademe varsa 3 sn' ye ayarlanmalıdır.

Mesafe koruma rölelerinin kademelendirilmesinin R-X diyagramında gösterilişi şekil 27' de verilmiştir. Rölenin çalışabilmesi için arıza empedansının yön karakteristiğine nazaran çalışma bölgesi içinde olması ve empedans modülünün Z_3 dairesi yarıçapından küçük olması gerekir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elektrik güç sistemlerinde meydana gelen arızaların çok kısa sürede ortadan kaldırılabilmesi için koruma devrelerine ihtiyaç duyulur. Güç sisteminin bir parçası olan enerji iletim hatlarında da kısa devreler, toprak temasları gibi işletme sırasında birtakım arızalar meydana gelmektedir. İletim hatlarını korumak için bu tez çalışmasında ele alınan mesafe rölelerinden başka aşırı akım rölelerini de kullanmak mümkündür.

Uzun iletim hatlarında hat empedansı yüksek olduğu için arıza akımı kısa hatlarınkine göre küçüktür. Uzun hatlar aşırı akım röleleri ile korunduğu takdirde, hat sonunda bir arıza meydana geldiği zaman arıza akımı yük akımının birkaç katı olacağı için aşırı akım rölesi bu akımı bir kısa devre akımı gibi değil bir aşırı akım gibi algılayarak zaman gecikmeli olarak kesiciyi açtırır. Oysa burada mesafe rölesi kullanılırsa arızalı kısmın empedansı rölenin ayar empedansından küçük olacağı için mesafe rölesi ani olarak kesiciyi açtırarak hattı korur. Sonuç olarak denebilirki, uzun iletim hatlarının korunmasında mesafe rölesi tercih edilmelidir.

Koruma işelminde hız çok önemli olduğu için elektromekanik yapıli mesafe rölelerine göre daha az bakım gerektiren ve cevap süresi çok kısa olan elektronik (statik) röleler tercih edilmelidir. Ancak hatlarda meydana gelen geçici olaylarda statik rölenin hızla devreye girerek yanlış açmalara sebep olmaması için rölenin tasarımı ve zaman ayarı iyi yapılmalıdır. Ayrıca statik rölelerin bilgisayara bağlanarak kontrol edilebilmesi de önemli bir özelliktir.

Mesafe rölesi ile korumada, rölenin ayar hesapları yapılırken bölüm 4'te açıklandığı gibi güç sisteminin yapısı ve sistemdeki elemanlar dikkate alınmalıdır. Örneğin hattın ortasında herhangi bir yerden sisteme enerji verilirse (infeed) bu durumda röle gerçektekenden daha büyük empedans ölçecek dolayısıyla koruma mesafesi küçülecektir. Hat üzerinde herhangi bir noktada çıkış alınarak bir dağıtım transformatörü bağlandıysa,

bu durumda da röle gerçektekinden daha büyük empedans ölçecektir. Böyle durumlarda görünen empedans hesaplanarak röle hattın tamamını koruyacak şekilde ayarlanmalıdır.

Hat üzerinde bir güç transformatörü varsa bu durumda akım ve gerilim ölçü transformatörlerinin yerleri 4.7. kısımda izah edildiği şekilde, ekonomik ve doğru ölçüm faktörleri arasında optimum bir tercih yapılarak tesbit edilmeildir. Ayrıca güç transformatörünün Y/ Δ veya Δ /Y bağlı olması durumlarına göre hatalı ölçme yapmamak için akım ve gerilim ölçü transformatörlerinin bağlantı durumlarına dikkat edilmelidir.



KAYNAKLAR

1. BLACKBURN, J., L., 1987. "Protective Relaying", Marcel DEKKER Inc., Taiwan
2. BOZOKI, B., et al., 1985., "Protective Relaying for Tapped High Voltage Transmission Lines", IEEE Trans. Power Appar. Syst., PAS 104, pp 865-872
3. BAYRAM, M., Şubat 1980-Haziran 1981. "Mesafe Rölesi ve Mesafe Koruması", Elektroteknik Mecmuası, İ.T.Ü.
4. ÇAYLI, T., Temmuz 1980-Ağustos 1980. "Koruma Tekniği", Elektroteknik Mecmuası, İ.T.Ü.
5. EATON, J. R., et al., 1983. "Electric Transmission System", Prentice Hall Inc., New York
6. General Electric Company, 1964. "SLS 1000 Transmission and Distribution Reference Book", WEC, East Pittsburgh
7. GROSS, C.A., 1979. "Power System Analysis", Wiley, New York
8. GÖNEN, T., 1986. "Electric Power Distribution System Engineering", Mc Graw-Hill, New York
9. GÖNEN, T., 1988. "Modern Power System Analysis", Wiley Interscience Publication, California
10. GÜLER, N., 1986. "Transformatör Merkezlerinde Koruma ve Röleler", T.E.K. Eğitim Daire Başkanlığı, Ankara
11. KAYA, A., 1971. "Teori ve Tatbikatlarıyla Röle Teknolojisi", T.E.K. Eğitim Müdürlüğü, Adapazarı
12. MADHAVA RAO, T.S., 1992. "Power system Protection Static Relays", Tata Mc Graw-Hill, New Delhi
13. MASON, C., 1956. "The Art and Science of Protective Relaying", John Wiley & Sons Inc., New York "Protective Relaying"
14. WARRINGTON, A.R. van C., 1976. "Protective Relays: Their Theory and Practice", Vol.1, Chapman & Hall, London
15. WARRINGTON, A.R. van C., 1974. "Protective Relays: Their Theory and Practice", 2nd ed., Vol.2, Chapman & Hall, London

16. Westinghouse Electric Corp. Relay-Instrument Division, 1976. "Applied Protective Relaying", WEC, Newark
17. T.E.K. Röle ve Ölçü Aletleri Grup Müdürlüğü, 1984. "Koruma-Kontrol El Kitabı",Yayın No: 84/4, Ankara

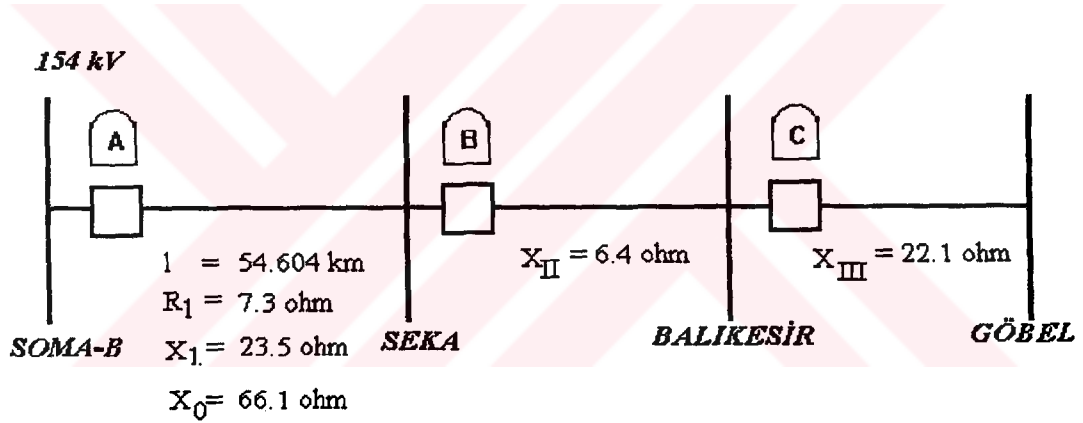


EK

MESAFE RÖLELERİNİN AYARLARINA AİT SAYISAL ÖRNEK

E1. 154 kV Sistemde Kullanılan Mesafe Rölelerinin Ayar Hesaplarının Yapılması

Mesafe koruma röleleri, başlatma, ölçme, yön ve zaman birimleri gibi ana ünitelerden oluşur. Bu bölümde ana ünitelerin ayarlarının yapılmasındaki genel prensipler anlatılmış ve 154 kV sistemde en çok kullanılan LZ-3 mesafe rölelerinin ayarı için sayısal bir örnek verilmiştir.



Şekil E 1 Röle ayar hesapları yapılacak sistemin tek hat şeması

Şekil E.1' de görülen Soma-B' nin SEKA çıkışındaki LZ-3 mesafe koruma rölesinin ayarlarına ilişkin hesaplar aşağıda gösterilmiştir.

E 1.1. Başlatma Elemanlarının Ayarı

Başlatma elemanlarının ayarı ile mesafe rölelerinin başlatma anı tayin edilmiş olur. Bu alanın üst sınırını aşağıdaki şartlar tayin eder.

1. Arızalı hatlar açıldıktan sonra komşu hatlardaki Z rölelerinin uyarmaları kesilmelidir.:

2. Paralel hatlarda, bir hattın devreden çıkması ile diğer hattın aşırı yüklenebileceği unutulmamalıdır.

3. Toprak arızalarında, sağlam fazlardaki Z röleleri çekmemelidir.

Başlatma röleleri ayarı üst sınırları aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilir:

İzole sistem veya empedans üzerinden topraklı sistemde;

$$Z = \frac{V_{F-F}}{2 \times 1,25 \cdot I_B} = \Omega / \text{faz} \quad (\text{E1.1})$$

Direkt topraklı sistemlerde;

$$Z = \frac{V_{F-F,0,85}}{2 \times \sqrt{3} \cdot (I_B + I_A)} = \Omega / \text{faz} \quad (\text{E1.2})$$

V_{F-F} : Minimum faz-faz arası işletme gerilimi

$\frac{V_{F-F,0,85}}{\sqrt{3}}$: Toprak arızası esnasında, sağlam fazlardaki min. faz-nötr gerilimi

I_B : Maksimum yük akımı

I_A : Toprak arızası esnasında, sağlam fazlardaki maks. dengeleme akımı

1,25 : Düzeltme faktörü

154 kV sistemimiz direkt topraklı olduğundan başlatma elemanlarının ayarı için aşağıdaki bağıntı kullanılacaktır.

$$V = 1,028 \text{ p.u.} \quad (\text{SE} - 80 / 2) \quad (\text{E1.3})$$

Not: SE-80 / 2, TEK Sistem Araştırma Kontrol Müdürlüğü' nün 1980 yılına ait . sistem etüdüdür.

Gerilimin kV olarak değeri,

$$V_{F-F}=1,028 \cdot 154 \text{ kV}$$

$$I_A + I_B = 1,196 \text{ p.u.} \quad (\text{SE} - 80 / 4) \quad (\text{E1.4})$$

154 kV, 100 MVA baz için baz akımı;

$$I = \frac{N}{\sqrt{3} \cdot V_{F-F}} \Rightarrow I = \frac{100 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 154 \times 10^3} = 375 \text{ A' dir.}$$

$$Z_P = \frac{154 \times 10^3 \times 1,028 \times 0,85}{2 \times \sqrt{3} \times 1,196 \times 375} \Rightarrow Z_P = 86,7 \Omega' \text{ dur.}$$

Empedansın primer değerini, rölenin ölçtüğü sekonder değere çevirmek gerekir.

$$Z_P = \frac{V_P}{I_P} \quad Z_S = \frac{V_S}{I_S} \quad \frac{Z_P}{Z_S} = \frac{\left(\frac{V_P}{I_P}\right)}{\left(\frac{V_S}{I_S}\right)} = \frac{V_P}{V_S} \cdot \frac{I_S}{I_P}$$

$$\frac{V_P}{V_S} = \text{G.T.O} \quad \frac{I_P}{I_S} = \text{A.T.O} \text{ dır.}$$

G.T.O.= n_{VT} Gerilim transformatörünün çevirme oranı

A.T.O.= n_{CT} Akım transformatörünün çevirme oranı

Buna göre;

$$\frac{Z_P}{Z_S} = \frac{\text{G.T.O}}{\text{A.T.O}}$$

$$Z_S = \frac{\text{A.T.O}}{\text{G.T.O}} \cdot Z_P \quad \frac{\text{A.T.O}}{\text{G.T.O}} = K \text{ ise } Z_S = K \cdot Z_P \text{ olur.}$$

Rölenin bağlı olduğu fiderdeki;

A.T.O :400/5 A

G.T.O :154/0,1 kV

$$K = \frac{80}{1450} = 0,052$$

$$Z_s=Z_p . K=86,7 . 0,052=4,5 \Omega$$

Buna göre her üç fazdaki başlatma elemanları 4,5 Ω /faz değerine ayarlanacaktır.

$$Z_p=Z_s=Z_T=4,5 \Omega/\text{faz}$$

E 1.2 Kademe Reaktanslarının Ayarı

Mesafe koruma rölesinde kaç kademe varsa o kadar kademe reaktansı hesaplamak gerekir. Şayet benzetme empedansının açısı, hat empedans açısına eşit alınırsa, kademeler, hat empedansı yerine hat reaktansı ile hesaplanır.

Rölenin birinci kademede, Soma B-SEKA hattının tamamını koruması gerekir. Ancak ölçme hatası nedeniyle 1. kademeyi hesaplarken hattın % 85' ini almak daha uygun olmaktadır.

$$X_{IP}=23,5 \times 0,85 \text{ ' dir.}$$

Değeri sekondere indirgemek gerekir;

$$X_{IS}=X_{IP} . K =23,5 \times 0,85 \times 0,052=1,0387 \Omega$$

bulunur. Sekonderdeki bu reaktans değeri, röledeki HGB trafosu SH akım trafoları üzerinde ayarlanır. Ayar bağlantısı şöyledir.

$$\%N_1 = \frac{w_L . 100}{X_{IS} . C}$$

N_1 : 1. kademe ayarı için HGB trafosunda ayarlanacak % tep değeri,

- w_L : SH1 akım trafosu üzerinde ayarlanacak, PU rölesinin ölçme reaktansının hat benzetme empedans) değeri. Bütün kademeler için (benzetme empedansı) geçerlidir.
- X_{IS} : Sekondere indirgenmiş 1. kademe reaktansı,
- C : HGB üzerinde yapılacak ana tep ayarı, ($C=1$ veya $C=0,5$ olarak alınır)

Ölçme ve yön elemanının hassasiyetinden tam olarak istifade edebilmek için w_L mümkün olduğu kadar büyük alınmalı ve C değeri $\% 100 > N_1 > \% 50$ olacak şekilde seçilmelidir. Birinci kademe, $N_1 > \% 100$ bulunursa (kısa hatlarda), $\% 110$ ile $\% 200$ arasında $\% 10$ ' luk kademelerle ayarlanabilir. $\% 100$ V, 5 A' lik röleler için,

$w_L=0,15 - 0,2 - 0,4 \Omega/\text{faz}$, alınabilir.

$w_L=0,4 \Omega/\text{faz}$, $C=0,5$ seçilerek;

$$N_1 = \frac{w_L \cdot 100}{X_{IS} \cdot C} \% \quad N_1 = \frac{0,4 \cdot 100}{1,0375 \cdot 0,5} \quad N_1 = \% 77 \text{ bulunur.}$$

b) Mesafe rölelerinin ikinci kademesi, komşu hattın rölesinin birinci kademesine artçılık (yedek koruma) yapar. Soma-B' nin SEKA çıkışındaki A rölesi, SEKA' nın BALIKESİR çıkışındaki B rölesine artçılık yapacaktır. Yani, Seka-Balıkesir arasındaki arızalarda B rölesi çalışmazsa A rölesi arızayı ikinci kademe (0.7 saniye civarında) temizleyecektir.

Buna göre A rölesinin ikinci kademe reaktansı;

$$X_{II} = 0,85 (X_I + X_{II} \cdot 0,85)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Bu bağıntıda parantez içindeki $X_{II} \cdot 0,85$ ifadesi, B rölesinin birinci kademe ayar reaktansı; parantez dışında gelen 0,85 ise A rölesinin ikinci

kademe ayarındaki emniyet katsayısıdır, X_I ise birinci hattın toplam reaktansıdır. X_{IP} primer değeri, sekondere indirgenirse;

$$X_{IS}=X_{IP} \cdot K$$

$$X_{IS}=0,85 \cdot (23,5+6,3 \cdot 0,85) \cdot 0,052=1,28 \Omega$$

bulunur.

$$N_{II} = \frac{w_L \cdot 100}{X_{IS} \cdot C} \% \quad N_{II} = \frac{0,4 \cdot 100}{1,28 \cdot 0,5} \quad N_{II} = \% 62 \text{ ç ıkar}$$

Mesafe rölelerinin ikinci kademesi hesaplanırken komşu baradan çıkan en kısa hat dikkate alınmalıdır. Şayet uzun hatta göre hesap yapılırsa ikinci kademe menzili, kısa hattın sonra gelen baradan beslenen fiderlerden gelen arızaları içine alır ve bu da koordinasyonu bozabilir.

c) A rölesi üçüncü kademedeki B rölesinin ikinci kademesine artçılık yapacaktır. Yani Balıkesir-Göbel arasındaki arızada, C rölesi birinci kademedeki B rölesi ikinci kademedeki çalışmazsa, arıza A rölesi tarafından üçüncü kademedeki temizlenecektir. Üçüncü kademe zaman ayarı, genellikle 1 ile 1,5 sn arasında seçilir.

Buna göre rölenin üçüncü kademe reaktansı değeri,

$$X_{IIS}=0,85 (23,5 + 6,4 + 0,85 \cdot 22,1) \cdot 0,052$$

$$X_{IIS}=2,15 \Omega$$

$$N_{III} = \frac{w_L \cdot 100}{X_{IIS} \cdot C} \% \quad N_{III} = \frac{0,4 \cdot 100}{2,15 \cdot 0,5} \quad N_{III} = \% 37. \text{ olarak bulunur.}$$

ÖZGEÇMİŞ

Recep YUMURTACI

Elektrik Mühendisi

(1990 İstanbul Teknik Üniversitesi)

Doğum Tarihi veYeri

01.01.1968, Konya

1990-1995

TCDD’de Elektrik Mühendisi olarak çalıştı.

1986-1990

İstanbul Teknik Üniversitesi

Elektrik Elektronik Fakültesi

Elektrik Mühendisliği bölümü

(Bölüm ikincisi)

1983-1986

Maçka Teknik Lisesi

Elektronik Bölümü

(Okul birincisi)

1982-1983

İnönü Endüstri Meslek Lisesi

Elektrik Bölümü

1979-1982

Kadri Yörükoğlu Orta Okulu (Okul birincisi)

1974-1979

Büyük Fuat Paşa İlkokulu

Görevi

Uzman

2.2.1995 -

Yıldız Teknik Üniversitesi

Elektrik-Elektronik Fakültesi

Elektrik Mühendisliği Bölümü

Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı

Yabancı Dil

İngilizce