

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ELEKTRİK ŞEBEKELERİNDE TELEKORUMA OLARAK**  
**IEC 61850 UYGULAMASI**

**İHSAN ALTUN**

**KOCAELİ 2018**

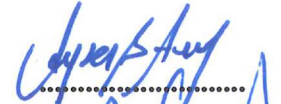

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ELEKTRİK ŞEBEKELERİNDE TELEKORUMA OLARAK**  
**IEC 61850 UYGULAMASI**

**İHSAN ALTUN**

**Prof. Dr. Ayşen BASA ARSOY**  
**Danışman, Kocaeli Üniversitesi**  
**Prof. Dr. Ali TANGEL**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi**  
**Dr. Öğr. Üyesi Fatih M. NUROĞLU**  
**Jüri Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi**


**Tezin Savunulduğu Tarih: 28.09.2018**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Endüstri 4.0 sanayi devrimiyle birlikte birbirleriyle haberleşen ve otomatik çalışan sistemler daha çok yaygınlaşacak ve fazla sayıda veri alışverişi üretimden dağıtıma kadar birçok sektörde kullanılacaktır. Böylece otonom çalışan sistemler birbirleriyle etkileşim halinde bir ağ bütünü oluşturacaktır.

Üretilen ve dağıtılan elektrik enerjisinin kararlılığını sağlamak, arıza durumunda sadece sistemin gerekli olan hat ve ekipmanlarını elektrik sisteminden ayırmak için akıllı şebekelerin yeni, hızlı ve çoklu haberleşmeyi destekleyen teknolojiyle donatılması ihtiyacı doğmuştur.

Bu çalışmada elektrik üretim, iletim hatlarında, orta gerilim ve yüksek gerilim dağıtım merkezlerinde literatürdeki koruma haberleşme yöntemleri incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı literatüre yeni giren koruma haberleşme teknolojilerinden IEC 61850’i tanıtmak ve alt haberleşme protokolü olan GOOSE ile farklı uygulamaları gerçekleştirmektir.

Tez çalışmamda desteğini esirgemeyen, çalışmalarına yön veren, Fen Bilimleri Enstitüsü’ndeki yüksek lisans eğitimim boyunca, üzerimdeki emekleri için minnettar olduğum danışmanım Prof. Dr. Ayşen BASA ARSOY’a; Enstitü çalışanlarına; bugünlere gelmemde en büyük destekçim olan aileme, eşim Seda YORULMAZ ALTUN’a, çalışmamda bana bilgi ve destekleriyle katkıda bulunan Sayın Tayfur ÖZKAN’a, Aşır DEMİRCİ’ye, Özgür YÜCEL’e, Şefik Özcan ONAT’a ve Caner AYHAN’a, yazılımların temini ve uygulama ortamı konusunda desteği için Siemens’ten Umat AN’a ve Ahmet Murat BASUMLI’ye ve Marke Elektronik’ten Serhat TUTAL’a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Eylül – 2018

İhsan ALTUN

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	ix
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
GİRİŞ .....	1
1. ORTA VE YÜKSEK GERİLİM SİSTEMLERİNDE KORUMA .....	7
1.1. Korumanın Önemi ve Amacı .....	7
1.2. Koruma Kriterleri .....	10
1.2.1. Zaman dereceli koruma .....	11
1.2.2. Zaman ve akım dereceli koruma .....	12
1.2.3. Zaman ve yön dereceli koruma .....	12
1.2.4. Akım ve empedans dereceli koruma .....	12
1.2.5. Kilitlemeye dayalı koruma .....	13
1.2.6. Diferansiyel koruma .....	13
1.3. Aşırı Akım, Mesafe ve Diferansiyel Koruma Karşılaştırması .....	14
1.4. Güç Sistemi Elemanlarının Korunması .....	18
1.4.1. Hatlarda koruma .....	18
1.4.2. Generatör koruma .....	20
1.4.3. Transformatör koruma.....	22
1.4.4. Bara koruma .....	22
1.4.5. Motor koruma.....	23
1.5. Şebeke Yapısına Göre Koruma .....	23
1.5.1. Dalı şebekeler.....	23
1.5.2. Ring (halka) şebekeler.....	24
1.5.3. Ağ gözlü şebekeler .....	25
1.5.4. Enterkonnekte şebekeler.....	26
2. KORUMA HABERLEŞME TOPOLOJİLERİ VE UYGULAMALARI.....	28
2.1. Hat, Halka, Zincir Koruma Haberleşmesi .....	28
2.2. İki Terminal Konfigürasyonda Sıcak Yedekleme .....	29
2.3. Üç Terminalli Mesafe Koruma Haberleşmesi Uygulaması .....	30
2.4. Dört Terminalli Mesafe Koruma Haberleşmesi Uygulaması .....	31
2.5. Koruma Haberleşmesi Yöntemleri .....	32
2.5.1. PLC (power line carrier) .....	32
2.5.2. Mikrodalga haberleşme .....	34
2.5.3. Optik haberleşme.....	34
2.5.4. Dijital haberleşme ağı (ISDN) uygulaması .....	39
2.5.5. Pilot kablolu haberleşme .....	39
2.6. İletim Hatları Pilot Koruma Yöntemleri .....	41
2.6.1. Direkt düşük menzil transfer açma (direct underreach transfer trip, DUTT) .....	41

2.6.2. Müsaadeli düşük menzil transfer açma (permissive underreach transfer trip, PUTT) .....	42
2.6.3. Müsaadeli aşırı menzil transfer açma (permissive overreach transfer trip, POTT) .....	44
2.6.4. Hibrit müsaadeli aşırı menzil transfer açma (hibrit POTT) .....	46
2.6.5. Yön karşılaştırmalı kilitleme - bloklama (blocking) .....	46
2.6.6. Yön karşılaştırmalı kilit çözme - bloklama açma (unblocking) .....	47
2.6.7. Faz ayırmalı telekoruma (phase segregated teleprotection) .....	48
2.7. Geleneksel Koruma Haberleşmelerinin Karşılaştırılması .....	49
3. IEC 61850 İLE KORUMA HABERLEŞMESİ .....	50
3.1. IEC 61850 Nesne Yönelimli (Object Oriented) Veri Modeli .....	51
3.2. IEC 61850 Tabanlı İstasyon Konfigürasyon Dili (SCL) .....	53
3.3. IEC 61850 Avantajları ve Dezavantajları .....	54
3.4. IEC 61850'nin İstasyonlar Arasında Koruma Amaçlı Kullanılması .....	56
3.5. GOOSE Protokolü .....	57
3.6. Transformatör Artçı Korumada IEC 61850 Uygulaması .....	60
3.6.1. IEC 61850'li trafo koruma sistem konfigürasyonu .....	61
3.6.2. IEC 61850'li trafo koruma GOOSE mesajı kullanımı .....	64
3.7. IEC 61850'in Yük Atma'da (Load Shedding) Uygulanması .....	64
3.8. IEC 61850'li Senkronizasyon Kontrol (Synchro-check) Uygulaması .....	65
4. IEC 61850 TABANLI KORUMA VE GOOSE MESAJI UYGULAMASI .....	69
4.1. IEC 61850 GOOSE Bara Koruma Uygulaması .....	69
4.1.1. Ölçülen değerlerin GOOSE ile röleden röleye gönderilmesi .....	74
4.1.2. Açma sinyallerinin GOOSE ile röleden röleye gönderilmesi .....	77
4.1.3. Ekipman pozisyon bilgilerinin GOOSE ile röleden röleye gönderilmesi .....	80
4.1.4. Kumanda sinyallerinin (açma-kapatma) GOOSE ile röleden röleye gönderilmesi .....	81
4.1.5. Cihaz durum bilgilerinin GOOSE ile röleden röleye gönderilmesi .....	81
4.1.6. IEC 61850 haberleşme sinyallerinin scadada gösterilmesi .....	81
4.1.7. IEC 61850 ile RSTP haberleşme yedekliliğinin sağlanması .....	82
4.2. İki Hatlı, Hat Başından Beslemeli Dört Röleli Mesafe Koruma Uygulaması .....	84
4.2.1. Mesafe koruma bölge hesabı .....	86
4.2.2. Mesafe korumada GOOSE haberleşmeyle açma ve bloklama .....	89
4.2.3. Senaryo-1, sistemde arıza yok .....	93
4.2.4. Senaryo-2 (hat-1'in %50'sinde L1-L2-L3-N arızası) .....	95
4.2.5. Senaryo-3 (röle-1 hat-1 %90, L1-N kısa devre arızası) .....	98
4.2.6. Senaryo-4 (röle-1 hat-1 %10'da L2-L3 kısa devre arızası) .....	100
4.2.7. Senaryo-5 (röle-3 hat-2 %10'da L1-L2-L3 kısa devre arızası) .....	103
4.2.8. Senaryo-6 (röle-3 hat-2 %30'da L1-L2-N kısa devre arızası) .....	105

4.2.9. Senaryo-7 (röle-4 hat-1 %5'te L1-L2-L3-N kısa devre arızası) .....	107
4.3. Üç Terminalli Sistemde GOOSE Mesajlı Mesafe Koruma Uygulaması.....	109
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	114
KAYNAKLAR .....	116
EKLER.....	120
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	134
ÖZGEÇMİŞ .....	135



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1. Bir koruma sistemi ve elemanları .....	8
Şekil 1. 2. Kollara ayrılmış bir radyal sistemde derecelendirme .....	12
Şekil 1. 3. Mesafe rölesinin koruma bölgeleri zaman kademeleri .....	15
Şekil 1. 4. Dereceli mesafe kademeleri .....	15
Şekil 1. 5. Tipik korunan nesnelere .....	18
Şekil 1. 6. Dalı şebeke örneği .....	24
Şekil 1. 7. Ring şebeke örneği.....	25
Şekil 1. 8. Ağ gözlü şebekeler örneği .....	25
Şekil 1. 9. Enterkonnekte şebekeler örneği .....	26
Şekil 2. 1. Röle – Röle haberleşmesi.....	28
Şekil 2. 2. Hat, halka, zincir koruma haberleşmesi .....	29
Şekil 2. 3. İki terminal konfigürasyonda sıcak yedekleme koruma haberleşmesi.....	30
Şekil 2. 4. Üç terminalli mesafe koruma haberleşmesi uygulaması .....	30
Şekil 2. 5. IP-MPLS üzerinden dört terminalli diferansiyel koruma .....	31
Şekil 2. 6. PLC ve ekipmanlarının enerji iletim hattına bağlanması.....	32
Şekil 2. 7. Koruma rölelerindeki optik haberleşme koruma haberleşme modülü örnekleri .....	36
Şekil 2. 8. Korumada çoklu-mod veya tek-mod fiber optik kablo haberleşmesi.....	36
Şekil 2. 9. Koruma rölesi dijital giriş ve çıkışları üzerinden transdüserli fiber optik haberleşme .....	37
Şekil 2. 10. Optik haberleşmeli 500kV hat diferansiyel ve mesafe koruma .....	38
Şekil 2. 11. Koruma rölesi optik çıkışının ISDN üzerinden haberleştirilmesi .....	39
Şekil 2. 12. Pilot kablo ile hat koruma haberleşmesi .....	39
Şekil 2. 13. Pilot kablo ana cihaz – alıcı cihaz gönderme ve alma .....	40
Şekil 2. 14. Pilot kablo haberleşmesinde uzak açma .....	41
Şekil 2. 15. Bir hatlı direk düşük menzil transfer açma .....	42
Şekil 2. 16. Müsaadeli düşük menzil transfer açma tertip şeması .....	43
Şekil 2. 17. Müsaadeli düşük menzil transfer açma (PUTT) .....	43
Şekil 2. 18. Müsaadeli aşırı menzil transfer açma (POTT).....	45
Şekil 2. 19. Müsaadeli aşırı menzil transfer açma uygulaması .....	45
Şekil 2. 20. Yön karşılaştırmalı kilitleme –bloklama- .....	47
Şekil 2. 21. Yön karşılaştırmalı kilit çözme - bloklama açma- .....	47
Şekil 2. 22. Faz karşılaştırma şematik diyagram.....	48
Şekil 3. 1. (a): IEC 61850’de veri model katmanları, (b): Sanal - gerçek modellemesi .....	51
Şekil 3. 2. Kesici pozisyonu için IEC 61850-7 veri modelleme örneği.....	52
Şekil 3. 3. İstasyon otomasyon seviyeleri .....	53
Şekil 3. 4. IEC 61850 SCL dosyası ve SCL dosya incelenmesi. ....	54
Şekil 3. 5. GOOSE tünelleme ile istasyon istasyon haberleşmesi .....	57
Şekil 3. 6. Fusion ağ mimarili istasyon istasyon haberleşme yapısı .....	57

Şekil 3. 7. Röleden röleye GOOSE mesajı uygulaması .....	58
Şekil 3. 8. GOOSE mesajı önceliklendirme (priority) .....	58
Şekil 3. 9. GOOSE mesaj örnekleri (ardarda gönderim) .....	59
Şekil 3. 10. İkinci bölgede kesişmenin olduğu mesafe koruma röleli diyagramı.....	61
Şekil 3. 11. Simülasyon sistemi genel görünümü .....	62
Şekil 3. 12. Uygulamadaki her bir rölenin akış diyagramı .....	63
Şekil 3. 13. Trafolu iletim sistemleri.....	63
Şekil 3. 14. Açma ve bloklama zamanları .....	64
Şekil 3. 15. Kablosuz haberleşme ağında yük atma uygulaması .....	65
Şekil 3. 16. IEC 61850'nin senkronizasyon kontrolünde kullanımı .....	66
Şekil 3. 17. Senkronizasyon kontrolü fazör diyagramı .....	67
Şekil 3. 18. IEC 61850'li senkronizasyon kontrol ile kublaj kesici kapatma .....	67
Şekil 3. 19. IEC 61850 GOOSE mesajı gönderiminde geçen süre .....	67
Şekil 3. 20. Sanal sunucu ve ağ kartlarıyla IEC 61850 sistem testi .....	68
Şekil 4. 1. Busbar'a bağlı iki adet koruma rölesinde GOOSE mesaj uygulaması .....	70
Şekil 4. 2. Busbara bağlı iki röle arasında GOOSE haberleşme ağı ve röle test cihazı.....	70
Şekil 4. 3. Uygulama-1 test ortamı akış diyagramı .....	71
Şekil 4. 4. GOOSE mesajı ile aşırı akım koruma kontrol ve ölçüm uygulaması.....	72
Şekil 4. 5. Koruma rölesi test cihazı .....	73
Şekil 4. 6. Röle-2 akım trafosu primer ve sekonder değerleri .....	74
Şekil 4. 7. Röle-2 gerilim trafosu primer ve sekonder değerleri.....	75
Şekil 4. 8. Röle test cihazından rölelere akım ve gerilim uygulama.....	75
Şekil 4. 9. Akım gerilim simülatörü kullanarak ölçüm değer simülasyonu.....	76
Şekil 4. 10. IEC 61850 sinyallerinin bir röleden diğer röleye atanması .....	76
Şekil 4. 11. IEC 61850 ölçüm sinyallerinin ve açma sinyallerinin tanımlanması .....	77
Şekil 4. 12. Röle-2 kesici pozisyon bilgisinin Röle1'de tanımlanması ve sinyal önceliğinin atanması .....	78
Şekil 4. 13. Yönlü aşırı akım bilgisinin IEC 61850 GOOSE mesajı ile gönderilmesi ve sinyal kalitesi .....	79
Şekil 4. 14. Yönlü aşırı akım sinyal kalitesinin işlenmesi .....	79
Şekil 4. 15. Röle-2 kesici pozisyon bilgisinin Röle-1'e alınması .....	80
Şekil 4. 16. IEC 61850 RSTP fiber optik haberleşme yedekliliği ayarı .....	82
Şekil 4. 17. IEC 61850 RSTP port durum bilgileri .....	84
Şekil 4. 18. Uygulama-2 test ortamı akış diyagramı .....	86
Şekil 4. 19. İki hatlı dört röleli korumada Röle-1 koruma bölgeleri.....	87
Şekil 4. 20. Simülasyon arıza sembolleri .....	87
Şekil 4. 21. İki hatlı dört röleli korumada Röle-2 koruma bölgeleri.....	88
Şekil 4. 22. İki hatlı dört röleli korumada Röle-3 koruma bölgeleri.....	88
Şekil 4. 23. İki hatlı dört röleli korumada Röle-4 koruma bölgeleri.....	89
Şekil 4. 24. GOOSE ile Röle-1, Röle-3 ve Röle-4'ün mesafe koruma akış diyagramı .....	91
Şekil 4. 25. GOOSE ile Röle-2, Röle-4 ve Röle-1'in mesafe koruma akış diyagramı .....	92



Şekil 4. 26. IED_Scout ile sinyal simülasyonu .....	93
Şekil 4. 27. Sistemde arızanın olmadığı durum .....	93
Şekil 4. 28. Arıza yokken Röle-1 fazör diyagramı .....	94
Şekil 4. 29. Arızasız durumda ölçülen akım, gerilim ve empedans değerleri.....	94
Şekil 4. 30. Hat-1 %50'de L1-L2-L3-N arıza .....	95
Şekil 4. 31. Hat-1'in %50'deki L1-L2-L3-N arızasında ölçülen değerler .....	96
Şekil 4. 32. Hat-1'in %50'deki arızanın sistemden ayrılması.....	96
Şekil 4. 33. Hat-1'in %50'deki arızada Röle-1 ve Röle-2 kesicileri açıkken ölçülen değerler .....	97
Şekil 4. 34. Hat-1'in %50'deki kısa devre arızasının sistemden ayrılması.....	97
Şekil 4. 35. Hat-1 Röle-1 %90'da L1-N arıza.....	98
Şekil 4. 36. Hat-1 Röle-1 %90'deki L1-N arızasında ölçülen değerler .....	99
Şekil 4. 37. Hat-1 Röle-1 %90'da L1-N arıza bölgesinin sistemden ayrılması.....	99
Şekil 4. 38. Hat-1 Röle-1 %90'da arızalı bölge sistemden ayrıldığındaki değerler.....	100
Şekil 4. 39. Hat-1 Röle-1 %10'da L2-L3 kısa devre arızası .....	101
Şekil 4. 40. Hat-1 Röle-1 %10'da iki faz arızasındaki arıza değerleri.....	102
Şekil 4. 41. Hat-1 Röle-1 %10'da faz-faz arızasının sistemden ayrılması.....	102
Şekil 4. 42. Hat-2 Röle-3 %10'da L1-L2-L3 kısa devre arızası .....	103
Şekil 4. 43. Hat-2 Röle-3'ün %10'undaki üç faz kısa devre arıza değerleri.....	104
Şekil 4. 44. Hat-2'nin %10'daki arızanın sistemden ayrılması.....	104
Şekil 4. 45. Hat-2 Röle-3 %30'da L1-L2-N kısa devre arızası .....	105
Şekil 4. 46. Hat-2'nin %30'undaki L1-L2-N kısa devre arıza değerleri.....	106
Şekil 4. 47. Hat-2 Röle-3 %30'daki arızanın sistemden ayrılması .....	106
Şekil 4. 48. Hat-2 Röle-4 %5'te L1-L2-L3-N arızası .....	107
Şekil 4. 49. Arıza durumunda Röle-4 fazör diyagramı .....	108
Şekil 4. 50. Hat-2 Röle-4 %5'indeki L1-L2-L3-N kısa devre arıza değerleri.....	108
Şekil 4. 51. Üç terminalli sistemde GOOSE ile mesafe koruma uygulaması .....	109
Şekil 4. 52. Üç terminalli GOOSE mesajlı mesafe koruma akış diyagramı.....	111
Şekil 4. 53. Üç terminalli sistemde Hat-A Röle-A %30 L1-N arızasının sistemden ayrılması .....	112
Şekil 4. 54. Üç terminalli sistemde Hat-B Röle-B %90'da L1-L2-L3-N arızasının sistemden ayrılması .....	113
Şekil 4. 55. Üç terminalli sistemde Hat-C Röle-C %5'te L1-L3 kısa devre arızasının sistemden ayrılması .....	113

## TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. 1. Koruma Karşılaştırmaları .....	17
Tablo 2. 1. Fiber optik kablo tipleri ve haberleşme mesafeleri.....	35
Tablo 2. 2. PUTT, POTT, Bloklama karşılaştırma .....	49
Tablo 3. 1. Kore’de trafolar için yedek koruma yöntemi.....	60
Tablo 4. 1. Çiftli bilgi sinyali olası durum matrisi.....	80
Tablo 4. 2. Çiftli kumanda sinyali olası durum matrisi .....	81
Tablo 4. 3. RSTP port durumu .....	83
Tablo Ek-4. Pilot kablo kesit / maksimum mesafe tablosu.....	126



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

14	: Kilitli Rotor (Locked Rotor)
21	: Mesafe Koruma (Distance Protection)
21FL	: Arıza Yer Tesbiti (Fault Locator)
21N	: Mesafe Toprak Koruma (Distance Protection, Earth)
24	: Aşırı Akı Koruma (Overfluxing - V/f protection)
25	: Senkronlama – Senkronlama Denetim (Synchronizing, Synchronism Check)
27	: Düşük Gerilim Koruma (Undervoltage)
27/34	: Stator Toprak Arızası 3.Harmonik (Stator Earth Fault 3rd Harmonic)
32	: Yönlü Güç (Directional Power)
32F	: İleri Yönde Güç (Forward Power)
32R	: Ters Yönde Güç (Reverse Power)
37	: Düşük Akım / Güç İzleme (Undercurrent or Underpower)
40	: Alan Kaybı (Loss of Field)
46	: Negatif Bileşen -faz dengesi- akım koruma (Load Unbalance- Negative Phase Sequence Overcurrent)
47	: Faz Dengesi Gerilim Koruma (Phase Sequence Voltage)
48	: Motor Kalkış Zamanı İzleme (Incomplete Sequence - Locked Rotor)
49	: Isıl Aşırı Yük Koruma (Thermal Overload)
49R	: Rotor Isıl Koruma (Rotor Thermal Protection)
49S	: Stator Isıl Koruma (Stator Thermal Protection)
50	: Ani Aşırı Akım (Instantaneous Overcurrent)
50BF	: Kesici Arıza Koruma (Circuit Breaker Fault)
50N	: Ani Aşırı Akım Toprak Kaçağı (Instantaneous Earth-Fault Overcurrent)
50Ns	: Ani Aşırı Akım Duyarlı Toprak Kaçağı (Instantaneous Earth Fault Sensitive Overcurrent)
51	: Ters Zamanlı Aşırı Akım (Inverse time Relay Overcurrent)
51GN	: Sıfır Hız ve Düşük Hız (Zero Speed and Underspeed Device)
51N	: Ters Zamanlı Aşırı Akım Toprak Kaçağı (Inverse time Relay Overcurrent Earth Fault)
51Ns	: Ters Zamanlı Aşırı Akım Duyarlı Toprak Kaçağı (Inverse Time Overcurrent Earth Fault Sensitive Overcurrent)
52	: AC Kesici Arıza (AC Circuit Breaker Failure)
51V	: Gerilim Denetimli Aşırı Akım Koruma (Voltage Controlled Overcurrent Time Relay)
59	: Aşırı Gerilim Koruma (Overvoltage)
59GN	: Stator Toprak Kaçağı Koruma (Stator Earth Fault Protection)
59N	: 3V0 Toprak Kaçağı Koruma (Residual Voltage Earth Fault Protection)
64	: %100 Stator Toprak Arızası Koruma 20Hz (100% Stator Earth Fault Protection 20Hz)
64R	: Rotor Toprak Kaçağı (Rotor Earth Fault)
67	: Yönlü Aşırı Akım Koruma (Directional Overcurrent Protection)

67-TOC	: Ters Zamanlı Yönlü Aşırı Akım Koruma (Directional Overcurrent Protection - Inverse Time)
67G	: Stator Toprak Kaçağı Yönlü Aşırı Akım (Stator Earth Fault Directional Overcurrent)
67N	: Yönlü Aşırı Akım Toprak Kaçağı (Directional Earth Fault Overcurrent)
67N-TOC	: Ters Zamanlı Yönlü Aşırı Akım Toprak Kaçağı (Directional Earth Fault Overcurrent – Inverse Time)
67Ns	: Yönlü Aşırı Akım Duyarlı Toprak Kaçağı (Directional Earth Fault Sensitive Overcurrent)
68	: Güç Dalgalanması Tesbiti (Power Swing Detection)
74	: Açma Devresi Denetimi (TCTrip Circuit Supervision)
78	: Başlatmayı Engelleme (Out of Step Protection - Blocking)
79	: Otomatik Tekrar Kapama (Auto Reclosure)
81	: Frekans Koruma (Frequency Protection)
81R	: Frekans Değişim Oranı Koruma (Rate of Frequency Change Protection)
85	: Taşıyıcı Arayüz / Uzaktan Kumanda (Carrier Interface / Remote Trip)
86	: Kilitleme Fonksiyonu (Lockout Function)
87B	: Bara Diferansiyel (Fark) Koruma (Differential Protection Busbar)
87G	: Generatör Diferansiyel (Fark) Koruma (Differential Protection Generator)
87L	: Hat Diferansiyel (Fark) Koruma (Differential Protection Line)
87M	: Motor Diferansiyel (Fark) Koruma (Differential Protection Motor)
87N	: Kısıtlı Toprak Kaçağı Koruma (Restricted Earth Fault Protection)
87T	: Transformator Diferansiyel (Fark) Koruma (Differential Protection Transformer)
94	: Açma (Trip)
$a_0, a_1, a_2$	: Paylaşım Katsayıları (Share Coefficients)
$C_1, C_2, C_0$	: Akım Ağırlık Katsayı (Current Weighting Coefficients)
$d1, d2, d3$	: Arıza Mesafesi (Distance to Fault)
$I$	: Hat akımı (A)
$I_{A1}, I_{A2}, I_{A0}$	: Pozitif / negatif / sıfır dizi akımı (Positive / negative / zero sequence currents)
$k_f$	: Akım dağıtım faktörü (Current distribution factor)
$V_{A1}, V_{A2}, V_{A0}$	: Pozitif / negatif / sıfır dizi gerilimleri
$V_a$	: a fazı gerilimi, (V)
$V_{ab}$	: a fazı ve b fazı gerilimleri farkı, (V)
$V_b$	: b fazı gerilimi, (V)
$V_{bc}$	: b fazı ve c fazı gerilimleri farkı, (V)
$V_c$	: c fazı gerilimi, (V)
$V_{ca}$	: c fazı ve a fazı gerilimleri farkı, (V)
$P$	: Aktif güç, (kW)
Z1	: 1. bölge (Zone-1)
Z1B	: Aşırı Menzil bölgesi
ZC1P	: Mesafe koruma fonksiyonları için faz ayırmalı şema haberleşme lojiği
Z2	: 2. bölge (Zone-2)

Z3	: 3. bölge (Zone-3)
Z4	: 4. bölge (Zone-4)
Z5	: 5. bölge (Zone-5)
Z <sub>LA</sub> , Z <sub>LB</sub> , Z <sub>LC</sub>	: Hat empedansları (Line impedances)
Z <sub>SA</sub> , Z <sub>SB</sub> , Z <sub>SC</sub>	: Kaynak empedansları (Source impedances)
Z <sub>seen</sub>	: Z <sub>görülen</sub> , röleden arıza noktasına olan arıza empedansı

### Kısaltmalar

AEC	: Akıllı Elektronik Cihaz
AN	: Attribute Name (Tip Adı)
AC	: Alternative Current (Alternatif Akım)
BPDU <sub>s</sub>	: Bridge Protocol Data Units (Köprü Protokolü Veri Ünitesi)
BC	: Bus Coupler, Bus Coupling (BaraKublağı)
BCU	: Bay Control Unit (Fider Kontrol Ünitesi)
BR	: Bus Riser (Bara Bağlantı Noktası)
CCVT	: Coupling Capacitor Voltage Transformer (Kublağ Kapasitörü Voltaj Transformatörü)
CDC	: Common Data Classes (Ortak Veri Sınıfları)
CFC	: Continuous Function Chart 8 Sürekli Fonksiyon şeması )
CID	: Configured IED Description File (Yapılandırılmış AEC Tanım Dosyası)
CT	: Current Transformer (Akım Transformatörü)
FC	: Field Assembly Connector (fc Fiber Optik Konnektör)
DON	: Data Object Name (Veri Nesne Adı)
EİH	: Enerji İletim Hattı
EHH	: Enerji Hattı Haberleşmesi
EHV	: Extra High Voltage (Çok Yüksek Gerilim)
FTP	: File Transfer Protocol (Dosya Transfer Protokolü)
GGIO	: Generic Process I/O Name (Genel Proses Giriş/Çıkış Adı)
GOOSE	: Generic Object Oriented Substation Event (Genel Nesne Mimarili İstasyon Olayı)
GSSE	: Generic Substation Status Event (Genel İstasyon Durum Olayı)
GZDS	: Realtime Digital Simulator (Gerçek Zamanlı Dijital Simülatör)
HMI	: Human Machine Interface (İnsan Makina Arayüzü)
HV	: High Voltage (Yüksek Gerilim)
ICD	: IED Capability Description (AEC Yetenek Tanımı)
IED	: Intelligent Electronic Devices (AEC: Akıllı Elektronik Cihaz)
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
IP/MPLS	: Internet Protocol/ Multi Protocol Label Switching (Internet Protokolü / Çoklu Protokol Etiket Anahtarlama)
IP Adresi	: İnternet Protokol Adresi
ISDN S0 Bus	: Integrated Services Digital Network S0 Bus interface (Dahili Servis Dijital Ağı S0 Hattı)
LAN	: Local Area Network (Yerel Alan Ağı)
LC	: IEC 61754-20 Lucent Connector, Little Connector veya Local Optical Fiber Connector (IEC 61754-20 Standardında LC Fiber Optik Konnektör)

LDN	: Logical Device Name (Lojik Cihaz Adı)
LN	: Logical Name (Lojik Düğüm)
LNC	: Logical Node Class (Lojik Düğüm Sınıfı)
LNNS	: Logical Node Name Suffix (Lojik Düğüm Ad Uzantısı)
MAC	: Media Access Control (Ortam Erişim Yönetimi)
MMS	: Multimedia Messaging Service (Çoklu Ortam Mesajlaşma Servisi)
NaN	: Not a Number (Geçerli Olmayan Sayısal Veri)
NCC	: Network Control Center (Ağ Kontrol Merkezi)
Node	: Düğüm
OPGW	: Optical Ground Wire (Optik Topraklama Kablosu)
PCM	: Pulse Code Modulation (Darbe Kod Modülasyonu)
PLC	: Power Line Carrier (EHH: Enerji Hattı Haberleşmesi)
POTT	: Permissive Overreach Transfer Trip (Müsaadeli Aşırı Menzil Transfer Açma)
PUTT	: Permissive Underreach Transfer Trip (Müsaadeli Düşük Menzil Transfer Açma)
R	: Receiving, Receiver (Alan, Alıcı)
RSTP	: Rapid Spanning Tree Protocol (Hızlı Kapsayan –Genişleyen- Ağaç Protokolü)
RTU	: Remote Terminal Unit (Uzak terminal Ünitesi)
SAS	: Substation Automation System (İstasyon Otomasyon Sistemi)
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition (Uzaktan Kontrol ve Veri Toplama Sistemi)
S	: Sending, Sender (Gönderen, Gönderici)
SC	: IEC 61754-4 “Sub”scriber Connector” or “Square Connector” or “Standard Connector” (IEC 61754-4 Standardında SC Fiber Optik Konnektör)
SCL	: Substation Configuration Language (İstasyon Konfigürasyon Dili)
SCD	: Substation Configuration Description (İstasyon Yapılandırma Tanımı)
SDH	: Synchronous Digital –Data- Hierarchy (Senkron Dijital -Veri- Hiyerarşisi)
SS	: Substation (İstasyon)
SSD	: System Specification Description (Sistem Ayrıntı Tanımı)
ST	: IEC 61754-2 Straight Type Optical Fiber Optic Connector (IEC 61754-2 Standardında Düz Tip Fiber Optik Konnektörü)
STP	: Spanning Tree Protocol (Kapsayan (Genişleyen) Ağaç Protokolü)
T	: Transmitter (Gönderici, Gönderen)
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
Trip	: Açma veya Arızadan Açma Sinyali
TOC	: Time Delayed Overcurrent Protection (Zaman Gecikmeli Aşırı Akım Koruma)
UHV	: Ultra High Voltage (Ultra Yüksek Gerilim)
VIDs	: VLAN Identifiers (Sanal Ağ Tanımlayıcıları)
VLANs	: Virtual LANs (Sanal Haberleşme Ağları)
VMD	: Virtual Manufacturing Device (Sanal Cihaz)
VT	: Voltage Transformer (Gerilim Transformatörü)
XCBR	: Circuit Breaker Logic Node (Kesici Lojik Düğümü)

# ELEKTRİK ŞEBEKELERİNDE TELEKORUMA OLARAK IEC 61850 UYGULAMASI

## ÖZET

Orta ve yüksek gerilim sistemlerinin korunması, elektrik üretim, iletim ve dağıtımda oldukça önemli bir konudur. “Akıllı Elektronik Cihazlar (AEC)” olarak adlandırılan koruma rölelerinin birbiriyle haberleşmesi korumada kararlılığın temelini oluşturmaktadır. Koruma haberleşmesi hızlı, güvenli olmalı, arıza durumunda sadece arızalı ekipmanı veya hattı ayırarak geri kalan sistemin canlı kalmasını ve hatasız çalışmasını sağlamalıdır.

Bu çalışmanın amacı elektrik şebekelerinde koruma haberleşmesini incelemek, literatürdeki yeni koruma haberleşmesi protokolü olan IEC 61850’yi ve bunun alt haberleşme protokolü olan GOOSE haberleşme protokol davranışını örnek bir uygulama ile test etmek, analiz etmektir. Öncelikle orta ve yüksek gerilim sistemlerinde koruma yöntemleri ardından literatürdeki koruma haberleşmesi metotları açıklanmıştır. IEC 61850’nin haberleşme veri modeli, avantajları ve dezavantajları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Örnek uygulamada IEC 61850 protokolü gerçek koruma cihazları ve akım, gerilim kaynak simülatörüyle test edilmiştir. Simülasyon yazılımlarıyla GOOSE mesajlı mesafe koruma uygulamaları yapılmıştır. Hattın farklı yerlerindeki arızalarda GOOSE mesajlı korumanın sisteme katkısı incelenmiştir.

IEC 61850 örnek test sisteminde bir röleden diğer röleye ölçülen değerler (akım, gerilim, aktif güç vb.), kesici, ayırıcı pozisyon bilgileri (açık, kapalı, ara konum, arıza durumu), olay bilgisi, trip bilgisi IEC 61850 ağındaki GOOSE mesajı ile gönderilmiş ve diğer geleneksel koruma haberleşmesi yöntemleriyle karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** GOOSE, IEC 61850, RSTP, Telekoruma, Veri Modeli.

# APPLICATION OF IEC 61850 AS TELEPROTECTION IN ELECTRICAL NETWORKS

## ABSTRACT

Protection of medium and high voltage systems is one of the most important subject of electric generation, transmission and distribution. Communication of protection relays so called “Intelligent Electronic Devices “IEDs” is the base of the reliability of protection. Tele-protection has to be fast, safe enough in case of fault or malfunction to isolate the faulty equipment or line and keep other remaining system alive without error.

The purpose of this study is to examine tele-protection of electric grids and to test with a sample test application and analyze the behavior of the new protection communication protocol “IEC 61850” and its sub-protocol GOOSE messaging. First of all, protection of medium and high voltage systems is described. Then tele-protection methods in the literature are described. IEC 61850 data model and advantages and disadvantages are described in details. IEC 61850 has been examined at a sample test system with real protection relays, current and voltage test simulator. Distance protection applications have been done with the GOOSE message simulation software. The contribution of the GOOSE message protection to the system was investigated for the failures in different locations of the line.

Results of the IEC 61850 sample test system is compared to traditional tele-protection systems by sending measured values (current, voltage, active power etc.), status information of circuit breaker (open, close, intermediate, fault states), status of an event, trip, from one protection relay to another protection relay by GOOSE messaging in IEC 61850 network.

**Keywords:** GOOSE, IEC 61850, RSTP, Teleprotection, Data Model.



## GİRİŞ

Elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım safhalarından geçerek tüketicilere ulaşır. Elektrik enerjisinin bu geçiş safhalarındaki en önemli problemi, sürekliliğidir. Enerjinin sürekliliği, beraberinde koruma koordinasyonu konusunu getirir. Koruma koordinasyonu ile güç sisteminin bütününde güvenli bir şekilde yük (güç) akışı sağlanır. İyi bir koruma koordinasyonu ile güç sisteminin herhangi bir bölümünde arıza veya önceden öngörölmüş şartların dışına çıkan bir durum oluşması halinde bu bölüm (arızalı bölüm) güç sisteminden izole edilerek güç akışının devamlılığı sağlanır. Bu yüzden seçici bir koruma koordinasyonu sağlamak oldukça önemlidir. Güç sistemlerinde koruma koordinasyonu, koruma röleleri ile sağlanır. Koruma röleleri özelliğine göre akım, gerilim, empedans bilgilerini alarak bağlı olduğu kesiciye açma/kapama sinyalleri yollayarak koruma işlemini yapar [1].

Elektrik üretim, iletim ve dağıtımında korumanın yapılması güvenlik, hız ve seçicilik bakımından çok önemlidir. Sistemin sürekliliği ve kararlılığı açısından koruma doğru bir şekilde yapılmalıdır. Arıza halinde sadece hatalı bölgeyi, ekipmanı ve hattı ekipman ve insan zarar görmeden kalan kısımlardaki enerjinin kararlılığı ve sürekliliği hızlı ve hatasız bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Bu kapsamda, korumalar ekipmanın gerilim seviyesine, korumanın yapıldığı yere ve güç bilgisine göre farklılıklar gösterebilir.

Güncel yaşamdan ölçümle ilgili bir örnek verelim: Bir deprem anında depremin yeri, şiddeti ve derinliği ölçüm cihazlarıyla tam olarak ölçülebilmektedir. Elektrik sistemlerinde de arızanın tam yeri ölçümlerle tespit edilerek arızalı bölge ve/veya bölgeler sistemden otomatik ayrılabilir. Akıllı şebekeler olarak adlandırdığımız yapıda ilgili koruma üniteleri birbiriyle ve/veya merkez kontrol ünitesiyle haberleşerek arıza durumunda gerekli açma (trip) işlemi gerçekleştirilir.

Elektrik üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde korumanın doğru bir şekilde yapılması, ekipmanların korunmasını sağlayan koruma rölelerinin birbiriyle hatasız, hızlı ve gereksinimleri karşılayacak şekilde haberleşmeleriyle mümkün olmaktadır.

Akıllı Elektronik Cihaz diye adlandırılan (AEC, IED) koruma rölelerinin ilgili korumayı sağlayacak fonksiyonlara sahip olması ve bu fonksiyonların hata ve/veya arıza durumunda aynı ve/veya uzak merkezdeki bir veya birden fazla koruma röleleriyle haberleşme sistemleri üzerinden sinyal, açma (trip), ölçüm değerleri bilgi alışverişini doğru bir şekilde sağlaması gerekmektedir.

Yüksek gerilimde ve orta gerilimde kullanılan koruma cihazlarının (koruma röleleri, akıllı elektronik cihazlar vb.) haberleşmesi akıllı şebekelerin altyapısını oluşturmaktadır. Bu kapsamda koruma ve koruma haberleşmesindeki mühendisliğin önemi ortaya çıkmaktadır.

1922 yılında darbantlı enerji hattı haberleşmesi uygulamaları başladı. Enerji hattına modüle edilmiş haberleşmenin temelleri atılmış oldu. Yüksek gerilimli iletim hatlarında önceleri 15 – 500 kHz aralığında ölçme amaçlı kullanıldı. 1930 larda ise dağıtım şebekesinde orta gerilim seviyesinde (10 – 20 kV) kontrol sinyallerini iletmek için kullanılan bu sistem günümüzde “Enerji Hattı Haberleşmesi (EHH, PLC)” olarak isimlendirilir. Son kullanıcıya yönelik ilk standart ise IEC 61334 ile temeli atılmış ve ağırlıkla sayaç (elektrik, su ve gaz) ile SCADA haberleşmesi için geliştirilmiş ve modülasyon ise EDF (Electricite de France / Fransa) tarafından tasarlanan ve S-FSK (Spread Frequency Shift Keying) olarak adlandırılan bir sistem kullanılmıştır. 1970 lerde TEPCO (Tokyo Electric Power Co / Japonya) yüzlerce cihazı EHH kullanarak çift yönlü haberleşmeyi sağlamıştır. 1980 ler sonrası değişik matematiksel modelleri kullanarak değişik dar bantlı ve geniş bantlı iletim teknolojileri geliştirilmiştir [2].

Avrupa komisyonu tarafından 2003 - 2006 arası “Enerji Hattı ve İnternet üzerinden Gerçek Zamanlı Enerji Yönetimi” adlı bir proje başlatılmıştır. Bu proje ile farklı modülasyon teknolojileri araştırılmış ve neticesinde bugün için yoğun şekilde denemeleri yapılan G3 ve PRIME PLC teknolojileri OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) modülasyonu ile uygulanmaya geçmiştir.

2009 yılında Iberdrola (İspanya) önderliğinde “PowerLine Intelligent Metering Evolution (PRIME)” birliği kuruldu. 250 kHz örneklemeli 512 adet kanal 42 – 89 kHz aralığında kullanılmaktadır. 128 kbps iletim hızı sağlamakta, IPv6 destekler ve

hata tespit ile düzeltme sağlar. Kararlı çalışma hızı ise sadece 5.4 kbps dir. Aralık 2011 de ITU G.9903 olarak standartlaşmıştır [2].

2011 de üreticiler bir araya gelerek G3-PLC birliğini kurdu. Avrupa da CENELEC A bandında (35 – 91 kHz) veya Cenelec B bandında (98 – 122 kHz), Japonya’da Arib bandı (155 – 403 kHz) ve Kuzey Amerika’da FCC (155 – 487 kHz) içinde çalışmaktadır. PRIME gibi G3 de ODFM dir. 6loWPAN IPv6 adaptasyonu için kullanılmıştır. G3-PLC oldukça kararlı, güvenlidir. Alçak ve orta gerilimde kullanmaya uygun olarak tasarlanmıştır. Ekim 2012 de ITU G.9904 olarak standartlaşmıştır [2].

Endüstri 4.0 sanayi devrimi cihazların birbiriyle haberleştiği ve birçok algoritmanın otomatik çalışacağı yeni bir dönem olacaktır. Enerji iletiminin ve dağıtımının kontrolü, koruması ve izlenmesi akıllı şebekelerin yeni haberleşme medyalarına ve protokollerine ihtiyacını arttırmıştır. 1962’da tanımlanan seri haberleşme protokolü RS232 15 ile 300 metre arasındaki mesafede 30 kbit/s (kilobit/saniye) veri transferiyle sınırlıyken günümüzde ise 170 km mesafede Mbit/s hızlarında haberleşmeler mümkün olmaktadır. Geniş alan ağı haberleşmesi beraberinde haberleşmenin güvenli bir şekilde yapılması gerekliliğini de ortaya çıkartmıştır. Elektrik sistemlerinde dijital koruma, iki veya daha fazla sayıdaki (haberleşme protokolüyle sınırlı) koruma rölesi arasında koruma komutlarını güvenli, hızlı, bir biçimde aktarmak için tasarlanmıştır.

Koruma cihazlarının birbirleriyle haberleşmesi sadece arıza durumunda açma (trip) için değil aynı zamanda açmanın doğru bir şekilde yapılabilmesi için koruma cihazlarının birbirlerine o arıza benim bölgeye ait sen açma diye ifade edebileceğimiz bloklama (blocking) sinyalini de içerebilir. Bloklama, koruma rölelerinin mevcut korumalarını bölgeselleştirmeye yardımcı olur. Arıza sonrası bloklama isteğinin iptal edilme isteği (blok açma –unblocking-) ilgili koruma rölesi ve/veya rölelerine haberleşme yoluyla gönderilir.

Koruma cihazlarının haberleşmesi örnek olarak akım koruma, düşük gerilim, aşırı gerilim, yönlü karşılaştırma, akım farkı, faz açısı, aşırı frekans, düşük frekans, otomatik tekrar kapatma (auto - reclose) için de kullanılabilir. Bir arıza esnasında yük atma (load shedding) prensibine göre senaryosu belirlenmiş sıralarda ilgili

hatların ve/veya ekipmanların devreden çıkmasını ve/veya devreye girmesini sağlayacak koruma röle haberleşmesi de dizayn edilebilir. Bu işlem rölelerin birbirleriyle veya merkezi akıllı elektronik cihazlarla haberleşmesiyle ve cihazların senaryoya göre parametrelendirilmesiyle gerçekleşir.

Röle koruma haberleşmesi, yüksek gerilimde ve/veya orta gerilimde jeneratör hattının şebeke barasına bağlanmasını sağlayacak senkronizasyon takibi ve senkronizasyon şartları gerçekleştiikten sonra jeneratörün şebekeye bağlanması için kullanılabilir. Burada şebeke barasındaki (örneğin 154 kV, 33kV, 11 kV) koruma cihazının gerilim, frekans, faz açısı vb. anlık bilgisi jeneratör tarafı koruma rölesine ve/veya senkronizasyon rölesine aktarılarak kesicinin doğru zamanda kapatmasını ve şebekenin kararlılığı bozulmadan jeneratörün şebekeye bağlanması sağlanır. Başka bir örnek ise iki baralı ve iki jeneratörlü bir sistemde bara-1 ve bara-2'yi birbirine bağlayan kublaj (coupling) kesicisinin bara-1 koruma rölesi ve bara-2 koruma rölesinden aldığı ölçümlerle (akım, gerilim, faz vb.) senkronizasyonunu doğrulamasıdır. Senkronizasyon için haberleşme sinyalinin kullanımı mevcut fiziksel senkronizasyon bağlantılarına (akım, gerilim, faz) destekleyici olarak haberleşme sinyali şeklinde alınarak da kullanılabilir.

Koruma haberleşmesi, yüksek gerilim ve/veya orta gerilim kesici ve/veya ayırıcı ekipmanlarının devreye alınması ve devreden çıkartılmasında fiderler arası gerekli şartların oluşup oluşmadığının kontrolü ve manevraların şartlar oluştuğunda geçerli olmasını sağlamada da kullanılabilir. Bu kilitleme (interlocking) ile kesici ve ayırıcılarda manevrası tehlikeli olacak durumlar engellenmiş olur. Örneğin karşı merkez trafo barası topraklı iken hattı enerjilendirecek kesici koruma rölesi, karşı merkez trafo koruma rölesinden aldığı kilitleme (interlocking) ile kesicinin kapatma şartını kilitleyebilir. Koruma rölesiyle kilitleme haberleşmesi yapmak mevcut fiziksel (elektrik ve mekanik) kilitlemeleri destekleyici olarak kullanılabilir. Röle koruma haberleşmesi altyapısı scada ve/veya uzak terminal ünitesi (RTU) haberleşmesi, sistemdeki kesici, ayırıcı gibi ekipmanların pozisyon bilgilerinin ve ilgili hatlardaki anlık analog değerlerin (güç, akım, gerilim vb.) uzaktan izlenmesi ve kesicilerin uzaktan kontrolü için kullanılabilir. Koruma rölesinin uzaktan parametrelendirilmesi de bu haberleşme hattı üzerinden gerçekleştirilebilir. Bu haberleşme yapısı aynı

zamanda koruma rölelerin anlık değerlerinin uzaktan izlenmesi ve arıza takibi (diagnostics) için de kullanılabilir.

Röleler arasında korumayı sağlamak için tesis edilen koruma röle haberleşmeleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

Lokasyona göre:

-Aynı istasyondaki koruma rölelerinin haberleşmesi (substation level).

Örneğin bir 154kV/33kV indirici merkezdeki koruma rölelerinin birbiriyle haberleşmesi.

-Farklı istasyonlardaki koruma rölelerinin haberleştirilmesi.

Örneğin, komşu trafo merkezleri arasında ve/veya elektrik dağıtım merkezindeki koruma cihazları arasındaki koruma haberleşmesidir.

Kullanılan haberleşme ekipmanına göre:

-Pilot kablo (burgulu bakır kablo) ile röle-röle bağlantısı: Yakın mesafelerdeki koruma haberleşmelerinde kullanılmaktadır.

-Doğrudan fiber optik kablo bağlantısı: Elektrik iletim hatlarında koruma kablosunun içinde bulunan fiber optik kablo (OPGW- optical ground wire) ile, elektrik üretim ve dağıtım merkezlerinde ise tekli mod (single-mode) veya çoklu mod (multi-mode) fiber optik kablo ile koruma gerçekleştirilir. OPGW hattının dışı hattın topraklamasında kullanılmakta içerisinde ise çok damarlı (12, 24 damar vb) fiber optik kablo bulunmaktadır. OPGW kablo direk üzerinde sonlandırılıp ek kutusunda ek yapılarak fiber optik damarların koruma haberleşmesi için hazır hale getirilir. Hızlı ve güvenilirdir. Yakın mesafelerde çoklu mod uzak mesafelerde tekli mod fiber optik kablo kullanılır.

-PLC (Power Line Carrier): Elektrik iletim hatlarında elektrik hattına yüksek frekansta sinyal modülasyonu ile gerçekleştirilir. 154 kV veya 380 kV hatlarda uygulanmaktadır. PLC veri, ses ve koruma haberleşmesi sağlamaktadır.

-Hibrit (pilot, fiber optik, PLC – power line carrier) haberleşme ağları

-Kablosuz haberleşmeler (UHF-VHF, Wifi, Radio Link, Wimax, Mikrodalga)  
Fiziksel şartlar ve ortam koşullarından etkilendiğinden koruma haberleşmesinde tercih edilmez. Güvenilirlik azdır.

Bu çalışmada birinci bölümde orta ve yüksek gerilim sistemlerinde korumanın amacı, görevleri, koruma sisteminden beklenen özellikler, yanlış açma durumları ve koruma sistemini oluşturan elemanlar açıklanmıştır. Koruma kriterleri zaman dereceli, zaman ve akım dereceli, zaman ve yön dereceli, akım ve empedans dereceli, kilitlemeye dayalı aşırı akım, mesafe ve diferansiyel korumalarının kullanımı açıklanıp, bu korumalar karşılaştırılmıştır. Güç sistem elemanlarının korunmasında hat, generatör, transformatör, bara ve motor koruma açıklanmıştır. Yapısına göre şebekelere (dallı, halka, ağ gözlü, enterkonnekte), her bir şebeke tipinin avantajına ve dezavantajına değinilmiştir. İkinci bölümde koruma haberleşme topolojileri ve uygulamaları, yöntemleri (enerji hattı üzerinden koruma haberleşmesi (PLC), mikrodalga haberleşme, optik haberleşme, dijital haberleşme ağı, pilot kablolu haberleşme) açıklanmıştır. Üçüncü bölümde IEC 61850 ile koruma haberleşmesinin literatürdeki veri modeli, IEC 61850 kullanımının avantajları, dezavantajları ve IEC 61850'nin alt haberleşme protokolü olan GOOSE protokolü açıklanmıştır. Literatürdeki uygulama örnekleri verilmiştir. IEC 61850'li transformatör koruma, yük atma ve senkronizasyon kontrolü örneklerle açıklanmıştır. Dördüncü bölümde ise özgün çalışma olarak IEC 61850 tabanlı koruma uygulaması yapılmıştır ve GOOSE ile koruma amaçlı değişik tipte veri transferleri gerçekleştirilmiştir. İki hatlı, hat başından beslemeli dört röleli sistemde ve üç terminalli üç röleli sistemde IEC 61850 GOOSE mesajı ile mesafe koruma uygulaması yapılmış ve sistemde hattın farklı yerlerindeki arızalarda GOOSE mesajlı korumanın sisteme katkısı incelenmiştir.

## **1. ORTA VE YÜKSEK GERİLİM SİSTEMLERİNDE KORUMA**

Elektrik enerji sistemlerinde arızalı kısımların otomatik sistemden ayrılması koruma sistemleriyle gerçekleştirilir. Hat, kablo, generatör veya transformatör gibi ekipmanların korunmasını, işletmesini, bakım güvenliğini ve elektrik sistem kararlılığını sağlar.

Ekipmanlarda arıza oluşması durumunda koruma röleleri devreye girerek arızalı ekipmanın sistemden ayrılmasını ve sistemin geri kalanının korunmasını sağlar. Koruma, sistemden ve şebeke yapısından bağımsız olmalı, belirlenen sürelerde kalması kaydıyla aşırı yüklerle duyarsız olmalı, arızanın şiddeti, türü ve yerinden bağımsız olarak gerekli korumaları gerçekleştirmelidir. Arıza tespitleri akım ve gerilim değerleriyle yapılabilir. Ölçülen empedans değişimleri de arızayı belirlememize yardımcı olur. Korumada olduğu gibi koruma haberleşmesinde de hedef açma arızası riskini azaltmak ve en az sayıda ve gerekli olan (selektivite) kesicileri açmaktır.

Koruma türlerini üretim, iletim ve dağıtımda aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz:

Üretim: Jeneratör koruma, trafo koruma vb.

İletim: Mesafe koruma, hat koruma, fider koruma, anabara koruma vb.

Dağıtım: Trafo koruma, hat koruma, aşırı akım koruma vb.

Hat koruması, bara koruması, trafo koruma ise temel korumalardır.

### **1.1. Korumanın Önemi ve Amacı**

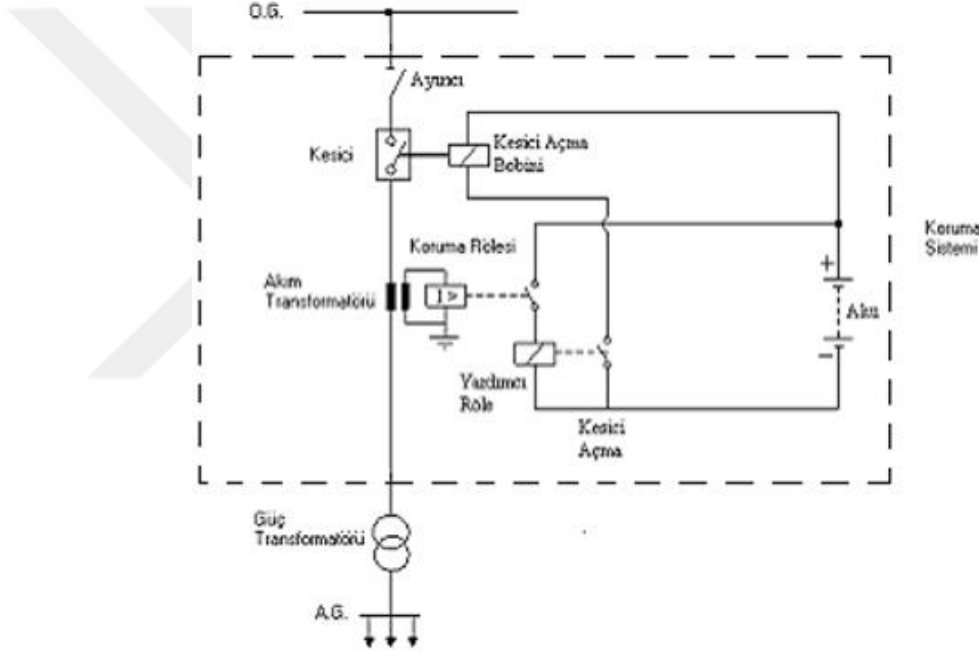
Elektrik güç sistemlerinde gerekli korumalarının olmaması sistemde arızaların olmasına ve elektrik güç sisteminin kararsız çalışmasına neden olur. Bu durum elektrik ekipmanlarına ve kullanıcılara hasar verebilir. Bu nedenle bir elektrik üretim tesisinin, iletim ve dağıtım ekipmanlarının kurulumu gerekli şartname ve korumalara uygun şekilde yapılmalıdır.

## Koruma Sistemini Oluşturan Elemanlar

-Kesiciler: Arızalı kısmı ayırır, arıza akımını keser.

-Koruma Röleleri: Arızanın varlığını saptar ve kesiciye açma kumandası verir.

-Akım ve Gerilim Transformatörleri: Koruma rölelerini yüksek gerilimden izole eder, rölelerin düşük akım ve gerilimle çalışmasını sağlar, böylece personelin can güvenliğini sağlar. Bu temel elemanlardan başka; kesici kumanda devresini, sinyal ve alarm devresini besleyen akü bataryaları, yardımcı röleler, sinyal lambaları, sesli alarm cihazları (korna) vb. yardımcı elemanlar da koruma sistemlerinde yer alır. Şekil 1.1’ de basit bir koruma sistemi ve elemanları görülmektedir.



Şekil 1. 1. Bir koruma sistemi ve elemanları [3]

Koruma rölesi, girişine uygulanan büyüklük (akım, gerilim, basınç, sıcaklık vb.) çalışma eşik değerine ulaştığında aktif edilmiş koruma fonksiyonlarını kullanarak kontaklarının konumunu değiştiren (normalde açık kontaklarını kapatan ya da normalde kapalı kontaklarını açan), elektrik devrelerinde kumanda ve koruma amaçlı olarak kullanılan bir elemandır.

Röle kontakları, bir güç anahtarını (alçak gerilimde kontaktör, orta ve yüksek gerilimde kesici) kumanda ederek anahtarın açılıp kapanmasını sağlar. Böylece röle yardımıyla istenen şartlarda devreye gerilim uygulanabilir, istenmeyen şartlarda ise devrenin gerilimi kesilebilir.



Korumanın doğru yapılması kesintisiz güç sağlar, gerilim ve frekansı sabit tutarak üreticilerin, tüketicilerin ve ekipmanların elektrik güç sisteminden olumsuz etkilenmesini engeller. Bir koruma sisteminin hatasız olarak doğru çalışması, yanlış kesici açmalarına neden olmaması, arıza meydana geldiğinde çalışacağından emin olunabilmesi olarak açıklanabilir [3]. Bu nedenlerle koruma ve korumayı gerçekleştirecek koruma cihazlarının koordinasyonu oldukça önemlidir.

Koruma sisteminden beklenen özellikler aşağıda verilmiştir:

**Seçicilik:** Koruma sistemi seçici olmalı ve diğer koruma sistemleriyle koordineli çalışmalıdır. Arıza durumunda sadece arızalı kısım izole edilmelidir. Normal yük koşulları ile istenmeyen arıza koşullarını ayırt edebilir olmalıdır. Arıza oluşturmayan geçici durumlarda açma yapmamalıdır. Kör nokta veya başka bir tabirle korumasız bölge olmamalıdır [3].

**Hızlı çalışma:** Arızaları tespit etmek ve arızalı bölgeyi mümkün olan en kısa sürede şebekeden ayırmak, arıza durumunda oluşabilecek hasarı engellemek ve en aza indirmek için koruma sisteminin en hızlı şekilde tepki vermesi önemlidir. Arızaları temizleme süresi yeterince hızlı ama seçiciliği bozacak şekilde de çok hızlı olmamalıdır [3].

**Güvenilirlik:** Korumanın hatasız çalışması, gereksiz, yanlış açmaların olmaması, açma yapamama durumunun olmamasıdır. Güvenilirlik ve çalışabilirlik değerleri yüksek olmalıdır. Koruma sistemlerinde yanlış çalışma durumları: Gereksiz açma, arıza durumunda yanlış açma ve açma yapmamadır.

-**Gereksiz Açma:** Ortada arıza olmadığı halde rölenin açma kumandası vermesidir. Örneğin harmonikler rölelerin normal çalışma koşullarında gereksiz yere açma kumandası vermesine neden olabilir [3].

-**Arıza Durumunda Yanlış Açma:** Arıza durumunda rölenin yanlış ölçme yapması veya yanlış ayarlanması durumunda gerçekleşen seçici olmayan açma işlemidir [3].

-**Açma Yapmama:** Arıza olduğu halde rölenin açma kumandası vermemesi, kesicinin ya da kesici kumanda devresinin arızalı olması veya çalışmamasıdır. Güvenilirliği artırmak için aynı eleman farklı prensiplere göre çalışan iki ya da daha fazla koruma

düzenegi ile korunabilir. Örneğin ülkemizde 380 kV kablo fideri bir adet kablo diferansiyel bir adet mesafe koruma rölesi ile korunmaktadır [3].

-Gereklilikleri karşılayacak şekilde basit yapıda olması: Sistemin bakımı ve onarımı ve ekonomikliğı için gereklidir.

-Tehlikesiz Çalışma: Koruma işletmeci ve ekipman üzerindeki tehlikeyi en aza indirmelidir. Arızanın şebekenin geri kalanına etkisini en aza indirgemelidir.

-Ekonomik Olma: Koruma sistemi ekonomik olmalıdır.

## 1.2. Koruma Kriterleri

Akım Koruma : Aşırı akım durumu  $I >$  olarak değerlendirilir. Seçiciliğın sağlanması için süre ek bir kriter olarak kullanılmaktadır.

- Ters zamanlı koruma
- Sabit zamanlı koruma

Empedans:

- Gerilim ve akım değerlerinden empedans hesaplanır
- Empedans, arızaya olan mesafeyle orantılıdır
- İlave kriter: süre (seçicilik ve yedek koruma için gereklidir)

Koruma: Çok kademeli mesafe koruma

Akım Farkı:

- Düğüm değerlendirmesi  $I_1+I_2+I_3+... I_n = 0$ ; denklem yerine getirilemiyorsa arıza dahildir.
- Dahili / harici arızaların açıkça ayırt edilmesi (yedeksiz)

Diğer Tipik Korumalar:

- Akım artışı (başlangıç koruması algoritmaları)
- Düşük gerilim ve aşırı gerilim (makinelere izolasyonu ve motor koruma)
- Yönlü karşılaştırma (hatlar)
- Faz karşılaştırma (diferansiyel koruma çeşidi)
- Yönlü Güç (generatör koruma, şebeke dekuplajı)

- Aşırı frekans ve düşük frekans (yük atma)
- Frekans gradyanı (yük atma, senkronizasyon)
- Harmonikler (trafo anlık akımı, aşırı uyarım)
- Makine koruma için özel kriterler
- Motor koruma
- Kapasitör bank koruma
- Otomatik tekrar kapatma (Auto-reclose) ve senkronizasyon kontrol [4].

Seçici koruma aşağıda detayları verilen farklı şekillerde sağlanabilir:

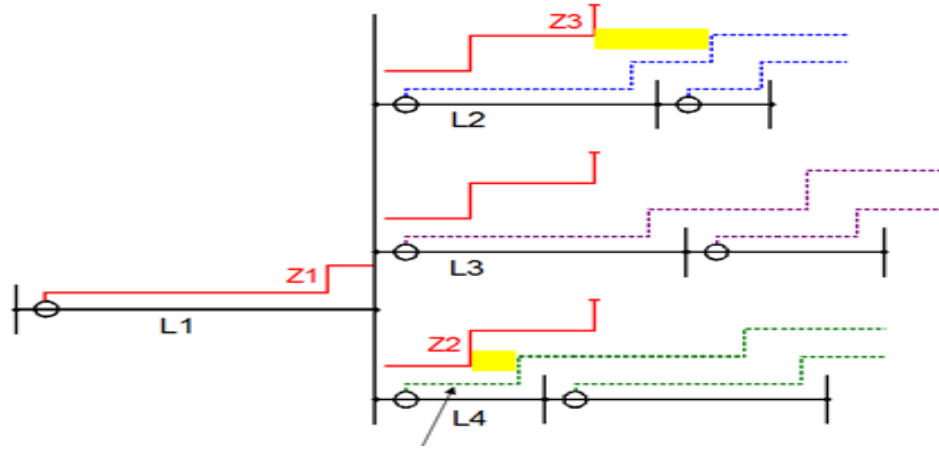
- Zaman dereceli koruma
- Zaman ve akım dereceli koruma
- Zaman ve yön dereceli koruma
- Akım ve empedans dereceli koruma
- Kilitlemeye dayalı koruma
- Diferansiyel koruma

### **1.2.1. Zaman dereceli koruma**

Zaman dereceli koruma, seçici koruma elde etmenin basit bir yoludur ve rölenin çalışma zamanlarını, arızaya en yakın noktadaki röle ilk önce açacak şekilde ayarlamaktadır. Zaman dereceli korumada, sabit zaman karakteristiğinde veya ters zaman karakteristiğinde aşırı akım röleleri kullanılmaktadır. Ters zamanlı rölelerin çalışma zamanları, büyük arıza akımlarında daha küçük iken sabit zamanlı rölelerin çalışma zamanları ise arıza akımının büyüklüğüne bağlı değildir.

Zaman dereceli koruma, radyal ağlar için en uygun olandır. Ters zaman koruma prensibi, şebeke konfigürasyonundaki değişikliklerden dolayı kısa devre gücünün değişimlerinin küçük olduğu veya kısa devre akımının büyüklüğünün fiderin başında ve sonunda önemli ölçüde farklılık gösterdiği radyal ağlar için özellikle uygundur. Bu durumlarda, belirli zaman röleleri lehine ters zaman rölelerinin kullanımı, yüksek arıza akımlarında çalışma süresini hızlandırabilir [5].

Şekil 1.2’de kollara ayrılmış bir radyal sistem gösterilmiştir.



Şekil 1. 2. Kollara ayrılmış bir radyal sistemde derecelendirme [6]

### 1.2.2. Zaman ve akım dereceli koruma

Rölenin bulunduğu konumun önünde ve arkasında oluşan arızalardaki arıza akım büyüklüklerinin farklı olduğu durumlarda, zaman ve akım dereceli koruma kullanılabilir. Ters zamanlı rölelerin kullanıldığı farklı arıza akım seviyelerinden dolayı her iki yönde de farklı çalışma süreleri elde edilebilir. Bu sayede istenilen süre elde edilebilir ve çalışma süresi gereksinimleri karşılanabilir [5].

### 1.2.3. Zaman ve yön dereceli koruma

Halka ve örgü türündeki ağlarda, korumanın seçiciliği, yönlü aşırı akım röleleri ile gerçekleştirilebilir. Hattın konumuna bağlı olarak farklı çalışma sürelerinin gerekmesi nedeniyle yönlü röleye ihtiyaç duyulur. Eğer arıza noktası, örneğin bara sistemindeki giriş fiderinde rölenin bulunduğu yerin önünde veya arkasında ise yönlü röle gerekir.

Yönlü aşırı akım rölesi, arıza akımı, ayarlanan başlangıç akımını aşarsa ve arıza akımının yönü ayarla uyumlu olursa bir kez çalışır. Böylece korumanın seçiciliği hem zamanı hem de akım yönünü temel alır. Yönlü aşırı akım rölesi, ya sabit zamanlı veya ters zaman karakteristikli çalışır ve zaman derecelendirmesinin sözkonusu merkezi ilkeleri de yönlü korumaya uygulanabilir [5].

### 1.2.4. Akım ve empedans dereceli koruma

Belirli durumlarda, akım ve empedans derecelendirme temelindeki koruma prensibi, rölenin bulunduğu yere yakın yerlerde oluşan arızalardan korunma işlemlerini

hızlandırır. Koruma, aşırı akım veya düşük empedans rölesinin yönlü veya yönsüz kademesi kullanılarak gerçekleştirilir. Koruma zincirindeki sonraki rölenin önünde arıza gerçekleştiğinde, aşırı akım kademesinin başlangıç akımının çok yükseğe ayarlanmasıyla ilgili kademelerin çalışmaması ve zaman dereceli korumaya ihtiyaç duyulmaması hedeflenmiştir.

Prensip, kademelerin çalışma süreleri, seçiciliği tehlikeye atmadan minimum değerlerine ayarlanabilir çünkü koruma, sadece akım veya empedans ayarları tarafından tanımlanan koruma bölgeleri içinde oluşan arızalarda çalışır. Böylece oluşturulan koruma bölgeleri çakışmaz. Bu nedenle normal bir zaman dereceli koruma düzenlemesi, her zaman akım ve empedans dereceli tabanlı korumaya dahil edilir [5].

#### **1.2.5. Kilitlemeye dayalı koruma**

Kilitlemeye dayalı korumanın amacı, korumanın çalışmasını hızlandırmaktır. Bu kavram özellikle bara koruma için uygundur, ama aynı zamanda kısa çıkış, giriş fiderlerinin ve transformatörün orta gerilim tarafının korunması için de uygulanabilir. Kilitlemeye dayalı koruma konseptinin en uygun kullanımı, kısa devre akımlarının yük akımlarından oldukça yüksek olduğu radyal şebekelerdir. Bu durumda, kilitleme sinyalini de ilgilendiren aşırı akım kademesi için akım ayar değeri kolaylıkla bulunabilir. Ayrıca bilinmelidir ki arıza akımı ilgili fider tarafından (geribesleme) beslenebilirse, kademeye dayalı kilitlemenin başlatılmasına, korunan bölgenin içindeki arızalar için izin verilmez. Daha sonra ya kilitleme sinyaliyle ilgili kademelerin başlangıç akımı, geribesleme akımından daha yüksek olmalıdır (akım seçici koruma) ya da kilitleme sinyali konusu için yönlü röle kullanılmalıdır [5].

#### **1.2.6. Diferansiyel koruma**

Diferansiyel koruma trafo, makine, bara, hat ve fiderler gibi herhangi bir ağ ekipmanının korunmasında uygulanabilecek yararlı bir koruma yöntemidir. Diferansiyel koruma rölesi, bir ekipmanın giriş ve çıkış akım farkını karşılaştırır. Eğer rölenin ayar değerleriyle izin verilen akımın genlik, faz açısı değerlerine göre birbirlerinden farklı olursa röle açma yapar. Ölçüm prensibi, rölenin koruma bölgesinin içinde seçici açma yapmasını sağlar [5].

### 1.3. Aşırı Akım, Mesafe ve Diferansiyel Koruma Karşılaştırması

-Aşırı Akım:

Elektrik güç sistemindeki ekipmanlarda beklenenden daha büyük akım geçmesi durumunda gerçekleştirilen korumadır. Amaç aşırı akıma neden olan bölgeyi tespit ederek elektrik güç sisteminden ayırmaktır. Aşırı akım koruması yapılmaması durumunda ekipmanların aşırı ısınması, ekipman hasarı, yangın gerçekleşebilir. Aşırı yüklenme, yanlış tasarım ve topraklama hataları aşırı akıma neden olur.

-Mesafe Koruma:

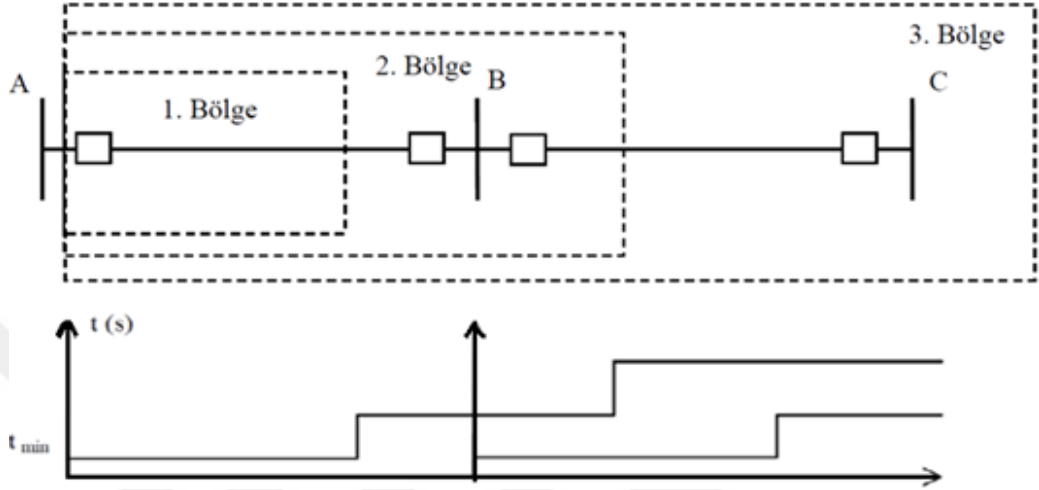
Mesafe koruma hem iletimde hem de enterkonnekte dağıtım şebekelerinde, şebeke korumasının temelini oluşturur. Koruma rölesinin bulunduğu noktadan ölçülen kısa devre gerilim ve hat empedansı belirlenir. Ölçülen arıza empedansı hat empedansı ile karşılaştırılır. Ölçülen arıza empedansının koruma rölesinde ayarlanan hat empedansından küçük olması durumunda arıza algılanır. Arıza akımı ve gerilimi ile elde edilen empedans ölçümüyle arızanın koruma rölesine uzaklığı bulunur. Kademeli bir şekilde koruma ile ilgili koruma rölesi mesafe ve zaman karakteristiğine göre gerekli kesiciyi açar.

Hat gerilimi ve hat akımı bilgisine göre çalışan empedans tipi yönlü rölelerle gerçekleştirilir. Örneğin enerji iletim hatlarındaki faz-faz ve faz-toprak kısa devre arızaları için kullanılabilir. İletim hattında meydana gelen kısa devrelerde arıza akımları çok yüksek değerlerdedir. Jeneratörler, güç trafoları ile kısa devre akımının geçtiği diğer teçhizatların zarar görmemesi ve sistemin tümünde enerjinin kesilmemesi için arızalı hattın belirlenerek anında servis dışı bırakılması sağlanır. Seçicilik, arızalı hattın her iki tarafındaki en yakın kesicilerin açtırılması ile mümkündür. Elektrik sistemlerinde bu korumanın sağlanması mesafe koruma röleleri ile gerçekleştirilir [6].

Enerji iletim hatlarındaki arızaların güç sistemine olan etkisini azaltmak için hatlar, koruma sistemi bakımından, çeşitli bölgelere ayrılmıştır. Bu bölgeler 1. bölge, 2. bölge ve 3. bölge olarak adlandırılmıştır.

Empedans röle ayarlarında literatürde farklı derecelendirme kuralları benimsenmiştir. Bu kurallara örnekler aşağıda verilmiştir:

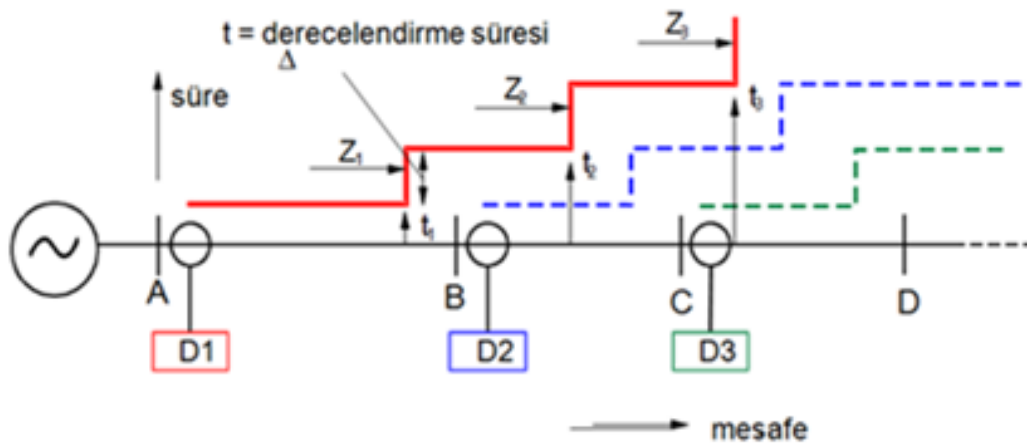
Derecelendirme Kuralı Örneği -1: Şekil 1.3'te görüldüğü gibi, 1. bölge 1. hat parçasının yaklaşık % 80'ini kapsamaktadır. 2. Bölge ise birinci hattın % 120'sini (aynı uzunlukta ise ikinci hattın % 20'sini de) kapsamaktadır. Yaygın olarak kullanılmamakla birlikte, 3. bölgenin kapsama alanı 3. hatta kadar olmaktadır.



Şekil 1. 3. Mesafe rölesinin koruma bölgeleri zaman kademeleri [7,8]

Derecelendirme Kuralı Örneği -2:

$Z_1 = 0,85 Z_{AB}$ ,  $Z_2 = 0,85 (Z_{AB} + 0,85 Z_{BC})$ ,  $Z_3 = 0,85 (Z_{AB} + 0,85 (Z_{BC} + 0,85 Z_{CD}))$   
 Hat arızası, hat gerilimi ve akım trafosu arızaları, ölçüm hataları dikkate alınarak güvenlik marjı % 15 seçilmiştir [6]. Şekil 1.4'te dereceli mesafe kademeleri örneği verilmiştir.



Şekil 1. 4. Dereceli mesafe kademeleri [6]

Derecelendirme Kuralı Örneği -3:

TEİAŞ 400-154kV mesafe koruma rölesi kademe ayarları Ek-1'dedir [9].

Kademe 1 – Zone 1 (Z1):

Korunan Hat Uzunluğu  $< 5$  km ise empedans değeri korunan hattın empedansının %70'ine ayarlanır.  $5 \text{ km} < \text{Korunan Hat Uzunluğu} < 20$  km ise empedans değeri korunan hattın empedansının %80'ine ayarlanır. Korunan Hat Uzunluğu  $> 20$  km ise empedans değeri korunan hattın empedansının %85'ine ayarlanır [9].

Kademe 2 – Zone 2 (Z2):

Korunan hattın empedansı + karşı baradaki en kısa hattın empedansının % 50'sine ayarlanır. Karşı trafo merkezindeki en kısa hat, diferansiyel hat koruma rölesi veya kablo diferansiyel koruma rölesi ile korunuyor ise bu hat Z2 empedans hesabında dikkate alınmayabilir [9].

Kademe 3 – Zone 3 (Z3):

Korunan hattın empedansı + karşı trafo merkezindeki en uzun hattın empedansının % 100 - %120'sine ayarlanır. Karşı trafo merkezindeki en uzun hat uzunluğu  $< 5$  km ise uzun hattın % 120'si alınır [9].

Kademe Zaman Gecikmeleri [9].

$t_{Z1}$  : 0 ms (milisaniye)

$t_{Z2}$  : 400 ms

$t_{Z3}$  : 800 ms

$t_{Z4}$  : 1200 ms (ihtiyaç duyulması halinde kullanılabilir)

$t_{Z5}$  : 1500 ms

Arızanın 1. bölgede olması durumunda A rölesi ani olarak (birkaç periyotluk gecikme ile) ilgili kesiciye açma komutu verecektir. 2. bölgedeki arızalarda ise yaklaşık 0.3-0.5s (saniye) arasındaki bir zaman gecikmesi ile açma işareti verecektir. Böylece B rölesinin 1. bölgesindeki arızalarda, eğer B rölesi görevini yapamazsa, A rölesi yedek koruma görevini üstlenecektir.

A Rölesi kendisinin 3. bölgesindeki arızalarda ise yaklaşık 2 s gecikme ile gerekli açma komutu verecektir. Böylece koruma yapılmayan hat parçası kalmamakta ve röle koordinasyonu sağlanmaktadır.



-Diferansiyel Koruma:

Güç sisteminin bir bölümü akım trafolarıyla sınırlandırılır. Bu korunan bölgeye giren ve çıkan akımların yön ve genlikleri karşılaştırılarak kısa devrenin varlığı saptanmaya çalışılır. Diferansiyel koruma, güç trafolarının korunmasında, generatörlerin korunmasında, baraların korunmasında ve hatların pilot iletkenlerle korunmasında kullanılmaktadır.

Korunan bölgeye giren ve çıkan akımlar akım trafoları üzerinden diferansiyel röleye verilir ve karşılaştırması yapılır. Arızanın olmadığı durumlarda rölelere giren ve röleden çıkan akımların vektörel toplamı sıfırdır ve röleyi çalıştıracak fark akımı oluşmaz. Kısa devre anında akım dengesi bozulur. Röleden fark akımı oluşur. Bu fark akımı rölede önceden ayarlanmış değeri aşarsa, röle koruması çalışır ve bölgedeki kısa devreyi besleyen kesicileri açtırır [10].

Koruma rölesine girişi yapılması gereken ölçüm sinyalleri aşağıdaki gibidir:

- Aşırı akım rölesinde 3 adet akım girişi gereklidir.
- Mesafe koruma rölesinde 3 adet akım girişi ve 3 adet gerilim girişi gereklidir.
- Diferansiyel koruma rölesinde 6 adet akım girişi gereklidir.

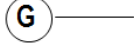




Mesafe koruması, aşırı akıma göre daha hızlı ve daha seçicidir [11]. Aşırı akım koruma, mesafe koruma ve diferansiyel korumalar avantaj ve dezavantajları Tablo 1.1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. 1. Koruma Karşılaştırmaları

	Avantajlar	Dezavantajlar
Aşırı Akım Koruma	Basit.	Kaynağa göre uzun açma süreleri.
	Ucuz (cihaz ve akım trafosu).	Basit şebeke yapıları için seçici.
	Prensip artçı korumalara imkan tanır.	Sınırlı seçicilik, arıza akımı yük akımından büyük olmalıdır.
Mesafe Koruma	Yüksek seçicilik (tüm şebeke tiplerinde).	Pahalı (cihaz, akım trafosu, gerilim trafosu).
	Artçı koruma imkanları.	Sınırlı doğruluk.
	Kademeli olmaya göre hızlı açma zamanları. Birkaç yerden beslenen ağ şebekelerinde, çok hızlı ve seçici çalışırlar.	Hızlı açma zamanları ile sınırlı seçicilik, arıza empedansı yük empedansından küçük olmalıdır, arızaya olan uzaklık.
Diferansiyel Koruma	Hızlı açma zamanları.	Pahalı, haberleşme hattı veya pilot kablo gerekir.
	Yüksek seçicilik.	Hattın diferansiyel akımı, arıza akımından küçük olmalıdır.

## 1.4. Güç Sistemi Elemanlarının Korunması

Elektrik üretim, iletim ve dağıtımda korunan ekipmanlar jeneratörler (generator), transformatörler, baralar, hatlar ve motorlar, gerilim ve güç bilgisine göre gruplandırılabilir. Şekil 1.5'te korunan nesnelere görülmektedir.

■ <b>Generatörler</b>		< 1MVA ile 1500 MVA arası
■ <b>Transformatörler</b>		0,1 MVA ile 1000 MVA arası
■ <b>Baralar</b>		110 kV' dan fazla
■ <b>Hatlar (Fiderler)</b>		1kV - 750 kV arası
■ <b>Motorlar</b>		yaklaşık 100 kVA - 20 MVA arası

Şekil 1. 5. Tipik korunan nesnelere [6]

### 1.4.1. Hatlarda koruma

Hat korumaları, kullanılan hat türüne üç gruba ayrılır:

- 1-) Havai hatlar
- 2-) Kablo Hatları
- 3-) Kompozit Hatlar

-Havai Hatlar:

Havai hatlar açık ortamda bulunduğu için geçici arızalar gerçekleşebilir. Örneğin enerji iletim hatlarına, ağaç dalı çarpması, yıldırım düşmesi vb. Bu durumlarda arıza kaynağı kendiliğinden yok olabilir. Havai hat fiderlerinde tek fazlı çalışabilen otomatik tekrar kapamalı mesafe röleleri ve yine tek fazlı çalışabilen kesiciler kullanılır. Örneğin mesafe rölesi R fazında bir arıza tespit etsin; röle kesicinin R fazına açma gönderir ve kesiciyi açar bir süre bekledikten sonra kesicinin R fazını arıza üzerine tekrar kapatır, ölçümlerini yapar, eğer bir arıza görmemişse bir şey yapmaz fakat arıza devam ediyorsa kesicinin her üç fazını da açtırır. Mesafe korumada bir diğer konu da karşı merkezlerle haberleşmedir. Mesafe röleleri 100 km'ye kadar fiber optik arabirimler ile daha uzun mesafelerde ise PLC (Power Line Carrier) ile karşı merkezlerle haberleşir. Açma sinyali alma, gönderme, kilitleme gibi

sinyalleri almak göndermek için bu arabirimleri kullanılır. Türkiye’de 380 kV, 154 kV, 34,5 kV seviyeleri için hat koruması farklıdır.

380 kV havai hat korumada ülkemizde ana koruma olarak farklı tipte iki adet mesafe koruma rölesi kullanılmaktadır. Bu rölelerden biri yönlü kilitleme diğeri ise müsaadeli aşırı menzil karşıdan açtırma düzeni ile çalışmaktadır. Bunun yanında artçı (back-up) koruma olarak yönlü aşırı akım, toprak koruma rölesi tesis edilmektedir. Ayrıca eğer hat uzunluğu 100 km ve üzerinde ise bir adet aşırı gerilim koruma rölesi ayrı olarak kullanılmaktadır. Karşı merkezler ile haberleşme için iki adet PLC ekipmanı veya duruma göre iki adet fiber optik haberleşme kullanılabilir.

154 kV havai hat korumada ise ana koruma olarak bir adet mesafe koruma rölesi kullanılır bunun yanında artçı (back-up) koruma olarak ta aşırı akım, toprak koruma rölesi eğer enerji üretim tesisi ise röle yönlü olarak tesis edilmektedir. Ayrıca eğer hat uzunluğu 100 km ve üzerinde ise yine bir adet aşırı gerilim koruma rölesi ayrı olarak kullanılmaktadır. Karşı merkezler ile haberleşme için bir adet PLC (Power Line Carrier) ekipmanı veya duruma göre bir adet fiber optik haberleşme kullanılabilir.

34,5 kV seviyesinde ise hat koruma için sadece aşırı akım, toprak koruma rölesi kullanılmaktadır.

#### -Kablo Hatları

Ülkemizde kablo hat fiderleri yaygın olmamakla beraber özellikle son yıllarda 380 kV ve 154 kV seviyelerinde kablo fiderleri de tesis edilmeye başlanmıştır. Kablo fiderlerinin koruma prensibi havai hattan farklıdır örneğin kablo fiderlerinde oluşabilecek her arıza, kalıcı arıza kabul edildiğinden ve kablo izolasyonuna zarar gelme olasılığından dolayı tekrar kapama yoktur. Bu sebepten de havai hatlardan farklı olarak 3 fazlı çalışan kesiciler kullanılır.

380 kV kablo hat korumada ülkemizde ana koruma olarak bir adet kablo diferansiyel koruma rölesi bir adet te tekrar kapamasız mesafe koruma rölesi kullanılmaktadır. Bunun yanında artçı (back-up) koruma olarak ta yönlü aşırı akım-toprak koruma

rölesi tesis edilmektedir. Diferansiyel koruma rölelerinin karşı merkez ile akım bilgisi alışverişi genel olarak fiber optik arabirim ile bazı durumlarda ise pilot wire ile olabilmektedir. Pilot wire sistemi fiber optik iletişimden daha ekonomik olmakla beraber 15 km'ye kadar kısa mesafeler için tercih edilebilir zira fiber optik sistemde bu iletişim 100 km'ye kadar mümkündür. Mesafe korumada ise yine PLC ekipmanı veya fiber optik haberleşme kullanılmaktadır.

154 kV kablo hat korumada ise ana koruma olarak bir adet kablo diferansiyel koruma rölesi kullanılır bunun yanında artçı koruma yapacak şekilde aşırı akım-toprak koruma rölesi yine eğer enerji üretim tesisi ise röle yönlü olarak tesis edilmektedir. Diferansiyel koruma rölelerinin karşı merkez ile akım bilgisi alışverişi yine genel olarak fiber optik arabirim ile bazı durumlarda ise pilot wire ile olabilmektedir. Mesafe korumada ise yine PLC ekipmanı veya fiber optik haberleşme kullanılmaktadır.

34,5 kV seviyesinde ise kablo hat koruma için sadece aşırı akım, toprak koruma rölesi kullanılmaktadır yaygın olmamakla beraber bazen işletmeler kablo diferansiyel koruma rölesi de isteyebilmektedir [11].

-Komposit Hatlar:

Literatürde bulunan yüksek gerilim seviyesinde komposit hat denilen, hattın kablo ile başlayıp havai hat ile devam etmesi ya da tam tersi havai hat ile başlayıp kablo ile devam etmesi durumunda hat hem mesafe hem de kablo diferansiyel koruma röleleri ile korunmaktadır [11].

#### **1.4.2. Generatör koruma**

Generatördeki kısa devre, sistemdeki temizlenmemiş arızalar, generatör ve sistem kaynaklı anormal elektriksel durumlarda generatör koruması uygulanır. Generatördeki ani güç kayıpları, generatör ile yük uyumsuzluklarında senkronizasyon hataları oluşur. Stator toprak arızası, aşırı gerilim, 3. harmonik düşük gerilim arızalarına neden olabilir. Bu tür arızaları gidermek için koruma rölelerinin de olduğu generator koruma sistemi tasarlanabilir.

Generatörlerde anormal durumlar aşağıdaki gibidir:

- Anormal frekans
- Aşırı veya düşük gerilim
- Aşırı uyarma
- Ani yük düşümü
- Senkronizasyon kaybı
- Yanlış enerjilendirme
- Kesici arızaları
- Sigorta atmaları ve açık devreler

Generatörde 10 farklı amaç için koruma röleleri kullanılır. Korumalar:

- Aşırı yüklere karşı koruma,
- Dengesiz yüklere karşı koruma,
- Ters güce karşı koruma: Bu korumada generatörlerde faz-toprak kısa devresine karşı topraklama akımının yanı sıra topraklama geriliminin de dikkate alınması gerekir. Bu durumda ters akım rölesi kullanılır.
- Frekans dalgalanmalarına karşı koruma,
- Düşük ve aşırı gerilimlere karşı koruma,
- İç faz arızalara karşı koruma,
- Stator toprak arıza koruma: Generatörlerdeki stator izolasyonundaki delinme ve sargıdan demir nüveye kaçak akımının meydana gelmesi, sargı kaçağı (stator - toprak arası) olarak tanımlanır. Bu tür arızaları algılayıp koruma yapan rölelere “sargı kaçağı koruma” rölesi denir.
- Alan kaybına karşı koruma,
- Rotor - toprak arızalarına karşı koruma,
- Senkronizasyon: Generatörlerin sisteme senkronizasyon şartlarını sağlandığında (açı, genlik, gerilim senkronizasyonu vb) senkronizasyon kontrol rölelerinden gelen izinle gerekli kesicilerin kapatılmasıyla elektrik sistemine güç sağlanır. Generatörün yıldız bağlı ve nötr noktası topraklı olan sekonder sargısının beslediği devrede oluşan bir faz-toprak arızasında koruma amacıyla toprak kaçağı koruma rölesi kullanılır.

### **1.4.3. Transformatör koruma**

Transformatörlerin kararlı çalışması için gerekli koruma tertibine sahip olmalıdır. Transformatör korumaları aşağıdaki durumlar için yapılır:

Aşırı yüklenme sonucu oluşabilecek ısı artışı ve düşük verimi önlemek amacı ile sekonder aşırı akım koruma rölesi kullanılır.

Faz sargıları arasında bir izolasyon hatası sonucu meydana gelen kısa devreler sonucu fark akımları oluşur. Bu fark akımının algılanmasıyla yapılan koruma diferansiyel koruma olarak adlandırılır. Bu koruma, güç trafosunun primer ve sekonder akım trafolarından alınan akımların karşılaştırılması prensibine dayanır. Bu karşılaştırmanın yapılabilmesi için güç trafosunun primer ve sekonder akımlarının röleye eşit olarak gelmesi gerekir. Güç trafosunda meydana gelebilecek bir arızada röle terminallerindeki akımlar arasında fark oluşur ve bu da diferansiyel akım rölesinin çalışmasını sağlar.

Güç trafosunun primer ve sekonder akım değerleri birbirine eşit değildir. Rölede karşılaştırma yapılabilmesi için bu akım değerlerini dengelemek üzere dengeleme akım trafosu kullanılır. Diferansiyel röle kontağını kapattığında korna çalar, kumanda panosunda diferansiyel koruma ışıklı sinyali çıkar, güç trafosu giriş ve çıkış kesicileri açar [6].

Trafolarda ayrıca toprak arıza korumaları da mevcuttur.

-Mesafe Koruma: Trafo korumanın tamamlayıcısı olmaktadır. Mesafe koruma röleleri, etki alanı içindeki hattın empedansını ölçerek ayarlanan değeri karşılaştırır ve bu şekilde koruma sağlar.

### **1.4.4. Bara koruma**

Bir barada oluşan kısa devreyi sistemden ayırmak için baraya bağlı olan arızayı besleyen fideri açmak (trip) gereklidir. Baralar, elektrik iletim, dağıtım, üretim, iletim ve yük gibi kısımların kesiştiği bölgede bulunmaktadır. Bu nedenle baradaki arızalar sistemin kararlılığını kısa devre akımları ortaya çıkarır ki bu baraya bağlı hat, trafo ve generatörlerin enerjisiz kalmasına neden olur.

Bu sistemler ise başka baraları besleyen dağıtım fiderleri, elektrik üretim tesisleri veya kritik endüstriyel tesislerin bağlantılarını meydana getirmektedir. Baralarda oluşabilecek arızalar birçok sistemin elektrik güç sürekliliğini etkileyip büyük hasarlara neden olabilir. Baralarda oluşabilecek kısa devrelerin tesbiti ve seçici olarak ayrılması hem sistemin işletme sürekliliği açısından hem de ekipmanların (anabara, kesiciler, fiderler vs.) korunması açısından çok önemlidir.

Bu tür arızaların sistem zarar görmeden en kısa sürede temizlenmesi gerekir. Diferansiyel akım koruma mantığı, ters kilitleme (tek baralı ve güç akış yönü tek yönlü, geri besleme olmayan sistemlerde) ve mesafe koruma röleleriyle bara koruma sağlanır.

#### **1.4.5. Motor koruma**

Bir motorun faz kaybı, aşırı yük durumu, gerilim dengesizlikleri, faz sırasının doğru olmaması, faz hatası, sert başlatma kaynaklı arızalar, topraklama arızaları v.b. durumlara karşı yapılan korumaya denir. Amaç en az ekipmanda hasar ve olumsuz etki oluşacak şekilde sistemin sürekliliğini sağlamak ve hatalı ekipmanı devre dışı bırakmaktır.

#### **1.5. Şebeke Yapısına Göre Koruma**

Elektrik güç sistemlerinde dağıtım şekillerine göre şebekeler dörde ayrılır. Bu şebeke türlerinin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları mevcuttur:

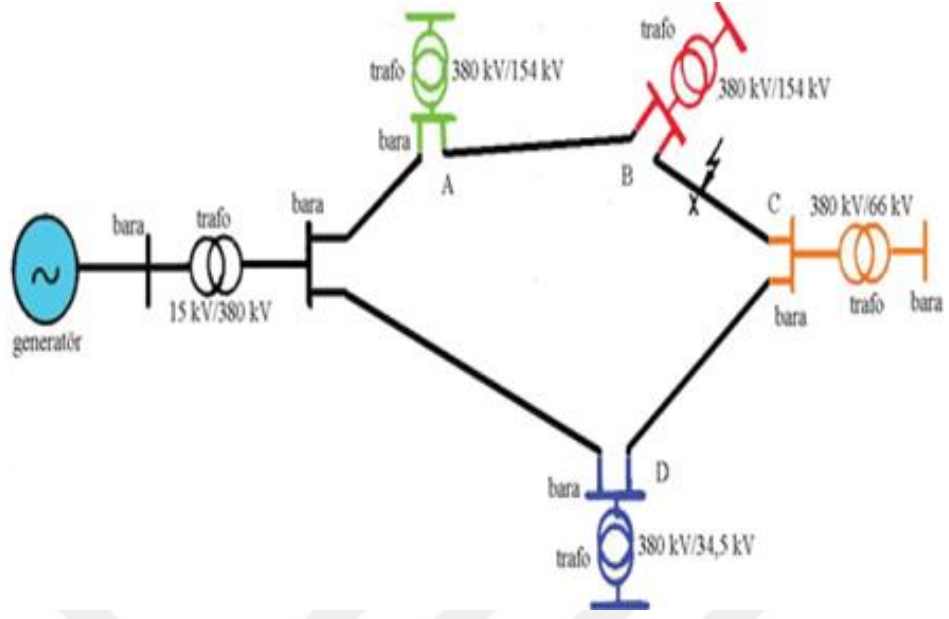
- Dallı şebekeler
- Ring şebekeler
- Ağ gözlü şebekeler
- Enterkonnekte şebekeler [12]

##### **1.5.1. Dallı şebekeler**

Dal yapısı şeklindeki şebekelerdir. Havai hat veya yeraltı kablolu hali de mevcuttur. Dallı şebekelerde dağıtım yapılacağı yerin yük bakımından ağırlık merkezlerine trafolar yerleştirilir. Bu trafonun etrafındaki iletim yapılacak olan alıcılara bir ağacın dalları gibi önce kalın kollara daha sonra da ince kollara ayrılarak son alıcıya kadar ulaşır.





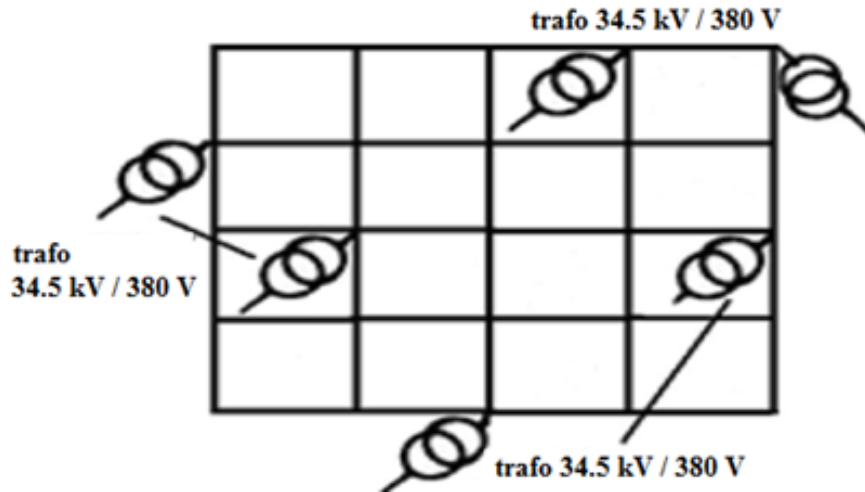


Şekil 1. 7. Ring şebeke örneği [10]

Ring şebekelerde besleme birden fazla trafo ile yapıldığı için ring içerisinde bir arıza olması halinde sadece arıza olan kısım devre dışı kalır, çok fazla alıcı enerjisiz kalmaz. Ayrıca tesis maliyeti yüksektir [12].

### 1.5.3. Ağ gözlü şebekeler

Bu şebekelerde besleme birden fazla trafo ile yapılır. Alıcıları besleyen hatların bir ağ gibi örüldüğü gözlü şebeke tipidir. Ağ gözlü şebekelerde besleme, trafolarla yapılır ve bir arıza meydana geldiği zaman sadece arıza olan kısım enerjisiz kalır. Şekil 1.8’de ağ gözlü şebekeler örneği verilmiştir.

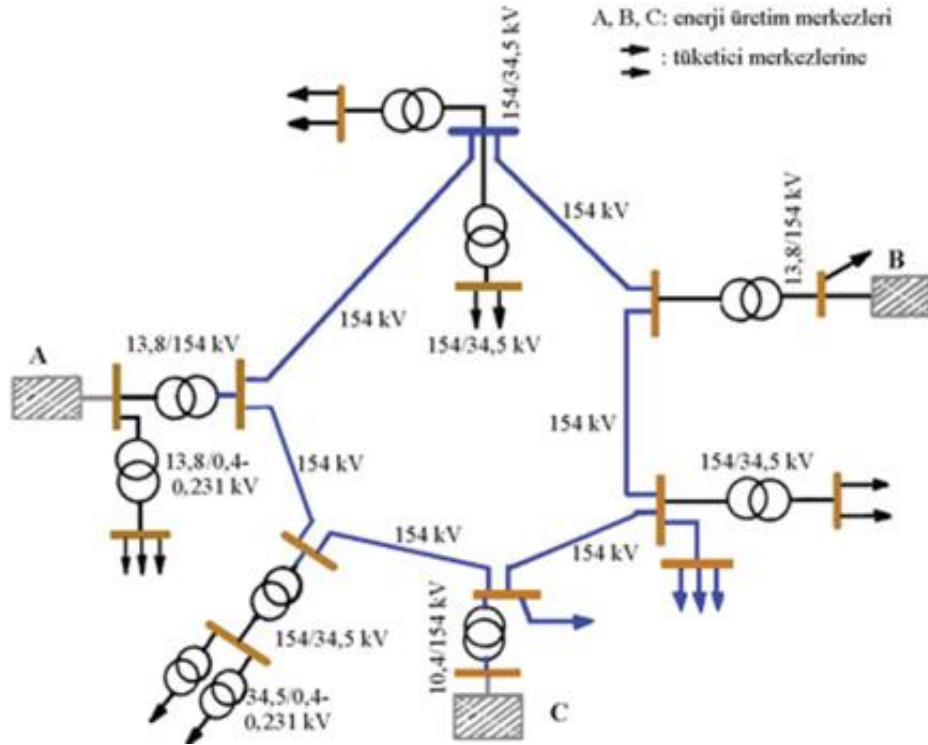


Şekil 1. 8. Ağ gözlü şebekeler örneği [12]

Ağ gözlü şebekelerde gerçekleşen arızalarda sigorta veya özel koruma elemanları devreye girer [12]. Bu tür şebekeler de yine kesintisiz enerji alınabildiği gibi sisteme güçlü alıcılar da bağlanabilir. Kesintisiz enerji alınabilirliği, gerilim düşümünün azlığı, büyük güçlü alıcıların bağlanabilmesi, besleme trafolarının yedek kapasitesinin küçük tutulması avantajlarıdır. Kurulum, işletme ve bakım zorluğu ağ gözlü şebekelerin dezavantajlarıdır. Kısa devre arızası durumunda akımın sisteme etkisi çoktur.

#### 1.5.4. Enterkonnekte şebekeler

Bir ülkenin veya bir bölgenin elektrik enerji gereksinimlerini karşılayabilecek bir biçimde üretim ile tüketim merkezleri arasındaki enerji alışverişini sağlayan enerji taşıma sistemiyle oluşturulan şebekelerdir. Çok önemli arızalar dışında kesintisiz enerji sağlanır. Enterkonnekte şebekeler gerilim arttığında önemli güç tasarrufu sağlar. Enterkonnekte şebekelerde, o bölgedeki bütün elektrik üretim ve tüketim araçları büyük küçük ayrımı yapılmaksızın sisteme dahil edilir. Genellikle birbirinden uzak olan elektrik üretim santralleriyle tüketim merkezleri arasındaki bağlantı iletim şebekeleri ve enterkonnekte sistemlerle sağlanır [12]. Şekil 1.9'da enterkonnekte şebeke örneği verilmiştir.



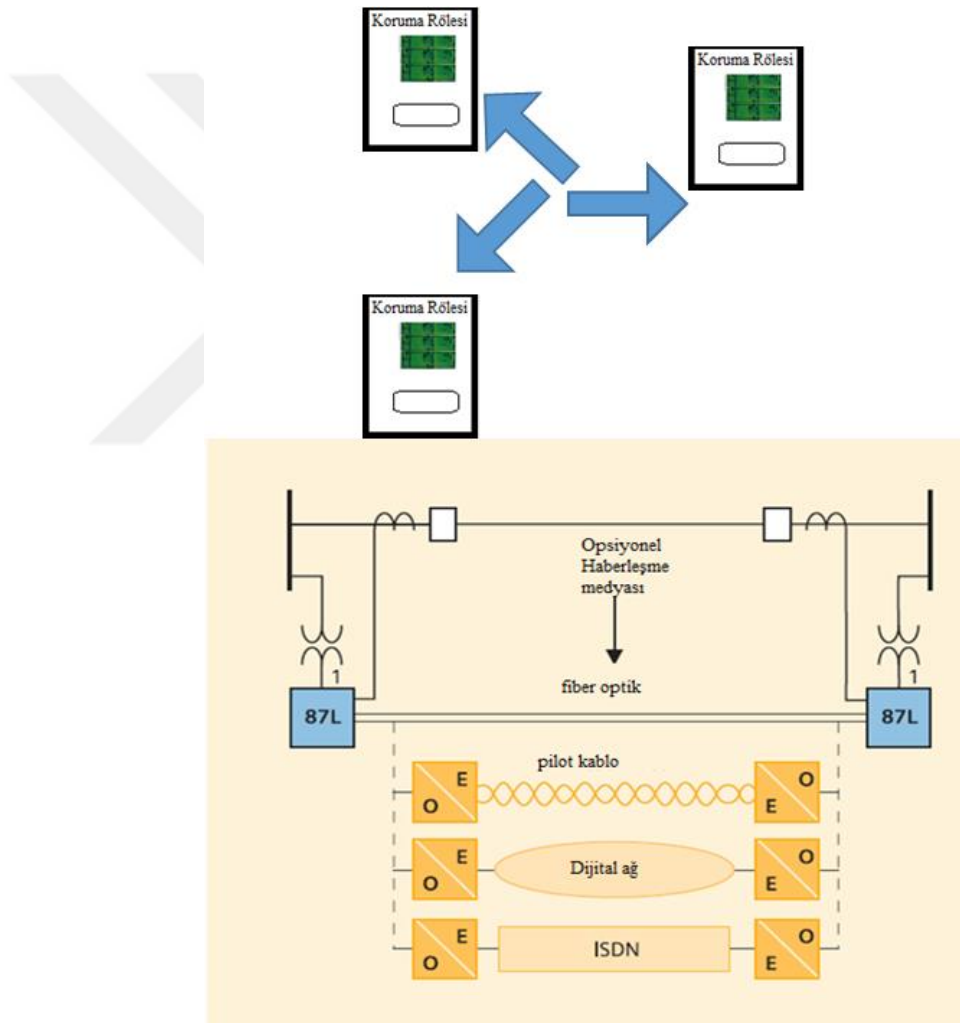
Şekil 1. 9. Enterkonnekte şebekeler örneği [12]

Avantajları: Çok az enerji kesintisi gerçekleşir, santraller uygun konumlandırılabilirdiği için işletme masrafları azalır. Elektrik dağıtım istasyonlarında gerilimin akış yönü ayarlanarak anında en az harcamayla üretim ile tüketim arasındaki denge sağlanır. Yedek generatör gücü en küçük değerdedir. Küçük santraller yerine daha büyük santraller kullanılabilir. Enterkonnekte sistemin diğer sistemlerin çoğunda olduğu gibi kesintisiz enerji verebilme, yüksek verim ve ekonomik olması gibi avantajları vardır.

Dezavantajları: Kısa devre akımı çok fazla olacağından sistemin kararlılığını sağlamak zordur. Kısa devre analizi iyi yapılmadığında arıza durumunda çok fazla sayıda abone etkilenebilir. Kısa devre akımının yüksek oluşu ve sistem kararlılığının sağlanmasının zor oluşu gibi sakıncaları vardır. Bu sistemde bir arıza olduğunda da sadece arıza olan kısmın enerjisi kesilir. Yani diğer bölgelerdeki santral ve trafolar alıcıları beslemeye devam eder [12].

## 2. KORUMA HABERLEŞME TOPOLOJİLERİ VE UYGULAMALARI

Rölelerin orta ve uzun mesafe coğrafik kapsama alanı nedeniyle, koruma röleleri arasındaki sinyal alışverişi karmaşık (çözümü zor) olur. En azından, iki istasyon aynı sistemi kullanarak röle - röle haberleşme kanalı ile birbirlerini görürler, haberleşirler. Şekil 2.1’de röle - röle haberleşmesi gösterilmiştir. Koruma haberleşme topolojileri dallı, ring, ağ gözlü ve enterkonnekte şebekelerde uygulanır.

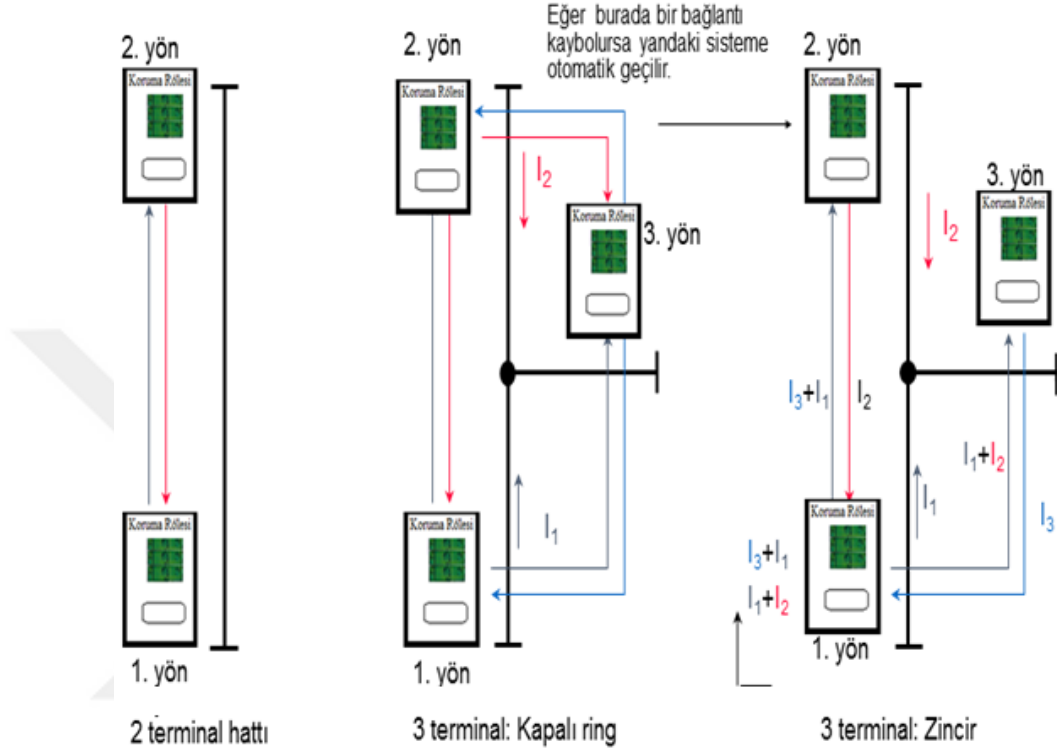


Şekil 2. 1. Röle – röle haberleşmesi [4]

### 2.1. Hat, Halka, Zincir Koruma Haberleşmesi

Elektrik koruma sisteminde koruma haberleşmesi hat, halka ve zincir olmak üzere üç farklı topolojide gerçekleştirilir. Şekil 2.2’de bu topoloji gösterilmektedir. Halka

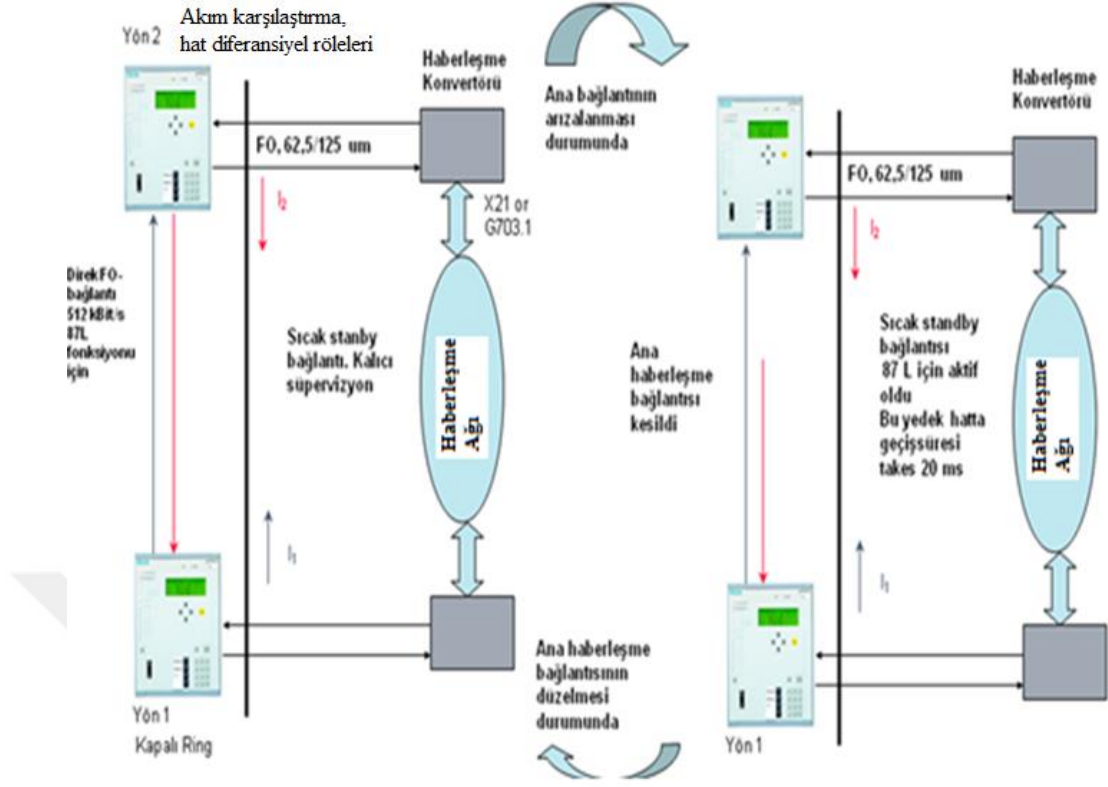
(ring) haberleşme topolojisinde hata olması durumunda sistem zincir topolojide koruma fonksiyonlarını sağlar. 3 nolu röle kapalı ringte 2 nolu röle ile haberleşirken arıza sonrası zincir haberleşme gerçekleşir ve 3 nolu röle, 1 nolu röle üzerinden 2 nolu röleye koruma haberleşmesi gerçekleştirir.



Şekil 2. 2. Hat, halka, zincir koruma haberleşmesi

## 2.2. İki Terminal Konfigürasyonda Sıcak Yedekleme

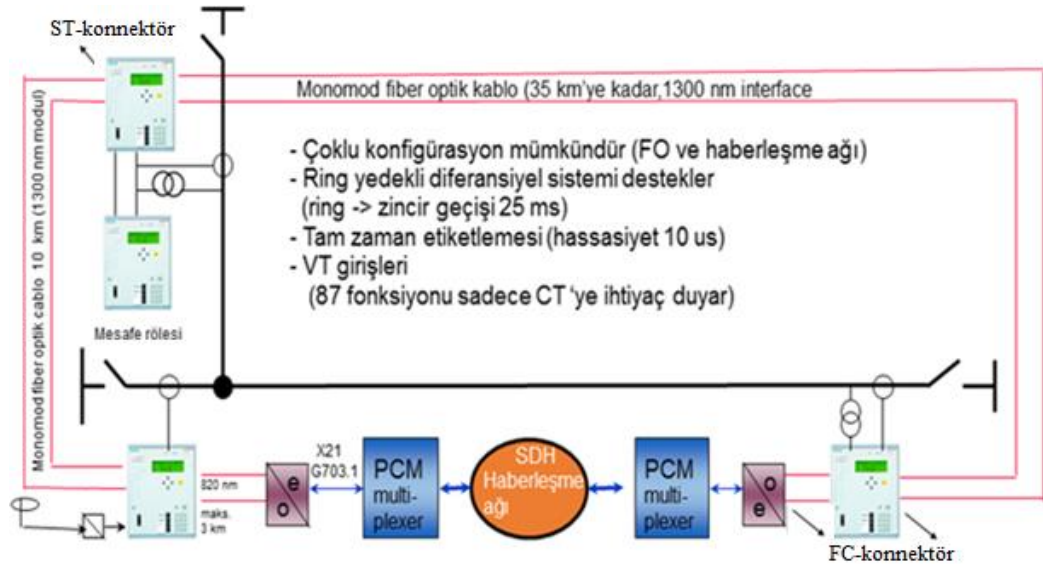
İki terminalli bir korumada birincil haberleşme hattının fiber optik koruma olduğunu varsayalım. Yedek koruma haberleşme hattı ise haberleşme ağı olsun. Şekil 2.3'te yön 1 ve yön 2 röleleri arasında fiber optik kablo arızası olmadan önce koruma rölelerinin ana haberleşme hattından haberleştiği, ana haberleşme hattındaki fiber optik kablo arızası sonrasında yedek haberleşme hattının devreye girdiği görülmektedir.



Şekil 2. 3. İki terminal konfigürasyonda sıcak yedekleme koruma haberleşmesi

### 2.3. Üç Terminalli Mesafe Koruma Haberleşmesi Uygulaması

Üç terminalli koruma haberleşmesinde Şekil 2.4'te gösterilen haberleşme yapısı oluşturulabilir. Yedekliliğin sağlanmasında; fiber optik ana haberleşme, SDH (Senkron veri haberleşmesi) haberleşme ağı ise yedek haberleşme olarak kullanılmıştır.



Şekil 2. 4. Üç terminalli mesafe koruma haberleşmesi uygulaması



## 2.5. Koruma Haberleşmesi Yöntemleri

Koruma aşağıdaki haberleşmelerden biriyle sağlanır:

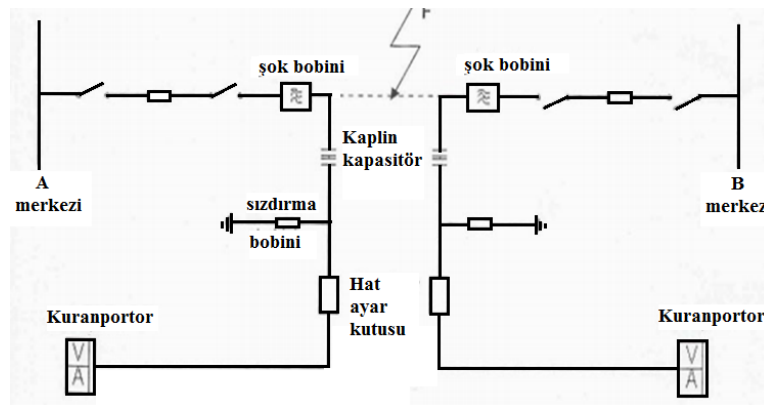
- \*Pilot kablo
- \*Doğrudan fiber optik haberleşme
- \*Haberleşme ağları
- \*Hibrit Haberleşme

### 2.5.1. PLC (power line carrier)

Yüksek gerilim enerji hattı üzerinden haberleşmedir. Koruma, ses veya veri (uzak terminal ünitesi : RTU) sinyali yüksek frekansta enerji iletim hattına modüle edilir. İletim hattının diğer ucunda modüle edilmiş bu sinyal demodülasyonla enerji iletim hattından ayrılarak karşı merkezde koruma ve/veya diğer haberleşme fonksiyonu için kullanılır.

Koruma haberleşmesinin modülasyon frekansının veri ve ses haberleşmesinin frekanslarından farklı olması ve ayrı band genişliğini kullanmaları gerekir. 30 - 500 kHz (SSB) dar bant haberleşme (4 kHz) ve 400 km'ye kadar yönlü karşılaştırma haberleşmesi (Evet/Hayır sinyaller) veya faz karşılaştırma koruması (PCP) sağlanır.

Şekil 2.6'da görüldüğü gibi PLC sisteminin çalışması için bobin (hat tıkaçı), kaplin kapasitörü, sızdırma bobini, hat ayar kutusu (tuner) gerekir. Güvenlik yönünden bu iletişim ortamının enerji iletimi için daima hazır durumda olması iletişimin sürekliliğini sağlar.



Şekil 2. 6. PLC ve ekipmanlarının enerji iletim hattına bağlanması [13]



PLC Enerji Hattı Haberleşmesi (EHH) olarak da ifade edilebilir. PLC, enerji hattını hem alternatif akımı (AC) hem de haberleşmeyi aynı anda aktarmak için kullanılan bir teknolojidir. Elektrik kablosu bir veri otobanı olarak kullanarak, ek bir kablolamaya gerek duymaksızın birden fazla hizmet için kullanılmaktadır.

Günümüzde hem iletim hem de dağıtım şebekelerinde kullanılır. Evde, işyerinde, dağıtım veya transformatör merkezlerinde kullandığımız alternatif akım 50 Hz'lik bir sinyaldir. Bu sinyalin üzerine, daha yüksek bir frekans aralığı üzerine eklenmektedir. Sinyal 3 kHz üzerinde çalıştırıldığından başka radyo frekanslı sistemlerle girişim yaşamamaktadır. Haberleşme tek iletken üzerinden yapılabileceği gibi, birden fazla iletken kullanarak kapasite artışı da sağlanabilir. Haberleşme için başka bir operatöre gerek olmaması ve var olan bir medyadan yeniden yararlanılması, PLC teknolojisinin en büyük avantajıdır.

Uygulama alanı olarak akıllı şebeke sisteminin pek çok saha uygulamasında yararlanılabilir; enerji üretimi, yenilenebilir enerji yapılanması, sayaç okuması, kontrol devrelerini izleme v.b. olarak sıralanabilir. Yüksek gerilim tesislerinde ise haberleşme, tele-koruma ve uzaktan gözetim çözümü olarak yıllardır kullanılmaktadır (TEİAŞ'ın hemen hemen tüm 380 kV tesislerinde, ağırlıklı Türkiye'de üretilen PLC cihazları bulunmaktadır) [2].

Genel olarak PLC'nin kullanıldığı alanlar aşağıdaki gibidir:

- Koruma haberleşmesi
- Orta gerilim hattı üzerinden veri haberleşmesi (kontrol, gözetim ve müdahale amaçlı),
- Hem orta gerilim hem de alçak gerilimde hat değerlerinin algılanması ve olası arıza kaynaklarının en az hata ile gösterilmesi veya fark edilmesi,
- Kayıp – kaçak tesbiti,
- Sorunlu ve kullanım ömrünü dolduran cihazların algılanması,
- Yoğun sayaç okunması (15 dk ve kısa süreler için),
- Elektrikli araçların şarj edilmesi ve sistemin kontrolü,
- Dağıtım enerji üretim ve yenilenebilir kaynakların uzaktan yönetimi [2].

PLC, elektrik hattındaki gürültü eşik değerlerine duyarlı olması ve iletilen sinyalin zayıflaması, tekrarlanmasıyla da bozulması nedeniyle uçtan uca uygulanamaz.

Özellikle kısa mesafelerde, alçak gerilim şebekesinde veya orta gerilim seviyesinde birbirine yakın dağıtım merkezleri veya trafo merkezleri arasında kullanılabilir. Sahadan alınan verilerin birbiriyle toplanarak büyüdüğü de dikkate alınır, oluşan yeni bilgi paketinin daha hızlı ve yüksek kapasiteli bir iletişim ortamı üzerinden kontrol merkezine ulaştırılması kaçınılmazdır. Fiber optik, hücresel 3G veya 4G şebekesi üzerinden yüksek kapasiteli iletişim sağlanabilir. Verinin yeni iletişim ortamına aktarılması genelde “Veri Çoklayıcılarda” (Data Concentrator) gerçekleşir veya elektrik / optik dönüştürücülerle sağlanır [2].

### **2.5.2. Mikrodalga haberleşme**

2 - 10 GHz genişbant haberleşme ( $n \cdot 64$  kbit/s) dijital veri iletimi (PCM) 50 km'ye kadar (karşılıklı görecekte) yönlü karşılaştırma, faz karşılaştırma ve diferansiyel koruma için kullanılabilir. Çevresel şartlardan haberleşme olumsuz etkilenebilir.

### **2.5.3. Optik haberleşme**

Hangi tip fiber optik haberleşme medyasının kullanılacağı mesafeye ve mevcut olan ekipmana bağlıdır. Doğrudan haberleşmelerde 512 kBit/s iletim hızını destekleyen fiber optik kablolar kullanılır. Modem veya haberleşme ağı üzerinden de bu koruma haberleşmesi sağlanabilir. Koruma haberleşmesinde çok önemli olan konulardan biri şudur: Farklı koruma rölelerinin açma süreleri haberleşme iletim kalitesine bağlıdır. Haberleşme hızı ve kalitesi düşük olan sistemlerde iletim süresinin uzaması nedeniyle koruma haberleşmesi istendiği gibi çalışmaz.

Koruma rölesindeki haberleşme modülleri (Şekil Ek-2a) genellikle takılıp sökülebilen imal edilmiş kartlardır. Koruma haberleşmesinde kullanılan bu fiber optik modüller kablo tipine ve haberleşme iletim hızına uygun olarak seçilirler. Fiber optik haberleşme her zaman doğrudan olmayabilir. Uzun mesafelerde optik/elektrik haberleşme dönüştürücüleri kullanılarak uygun haberleşme kanallarıyla (iki telli, dijital haberleşme, PLC-power line carrier- vb) koruma haberleşmesi sağlanabilir. Geniş bant haberleşme ( $n \cdot 64$  kbit/s) dijital sinyal haberleşmesi (PCM) yaklaşık 150 km'ye kadar gürültüsüz ve kuvvetlendirici (repeater) istasyonsuz, yönlü karşılaştırma ve diferansiyel koruma için kullanılabilir. Optik haberleşmenin en büyük dezavantajı

optik kaablaj ve burulma kayıplarıdır. Buna rağmen en güvenilir ve en çok tercih edilen koruma haberleşme medyasıdır.

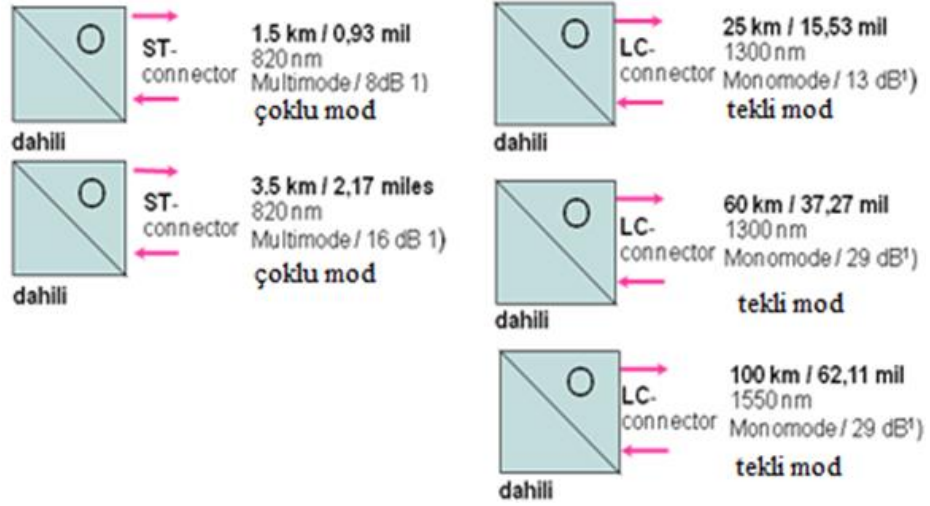
Fiber optik kablolarla daha uzun mesafelere ulaşmak için harici kuvvetlendirici (repeater) kullanılması tavsiye edilir. 150 km'yi destekleyen optik modüller geliştirilmiştir.

Optik kabloların tipine bağlı olan maksimum haberleşme mesafesi Tablo 2.1'de verilmiştir. Konnektör tipleri ise Ek-3'de verilmiştir. Tablo 2.1'de görüldüğü gibi çok modlu (multi-mode) optik kablolarla haberleşme yaklaşık 3.5 km ile sınırlıken tek modlu (single-mode) fiber optik kabloların haberleşmesi yaklaşık 100 km olur.

Tablo 2. 1. Fiber optik kablo tipleri ve haberleşme mesafeleri [4]

Konnektör Tipi	Fiber optik tipi	Optik Dalgaboyu	Perm. path attenuation	Tipik mesafe
ST	Multi-mode 62.5/125 $\mu\text{m}$	820 nm	8 dB	1.5 km (0.95 miles)
ST	Multi-mode 62.5/125 $\mu\text{m}$	820 nm	16 dB	3.5 km (2.2 miles)
ST	Mono-mode 9/125 $\mu\text{m}$	1300 nm	7 dB	10 km (6.25 miles)
FC	Mono-mode 9/125 $\mu\text{m}$	1300 nm	18 dB	35 km (22 miles)
LC	Mono-mode 9/125 $\mu\text{m}$	1300 nm	13 dB	24 km (14.9 miles)
LC	Mono-mode 9/125 $\mu\text{m}$	1300 nm	29 dB	60 km (37.5 miles)
LC	Mono-mode 9/125 $\mu\text{m}$	1550 nm	29 dB	100 km (62.5 miles)

Hat kuvvetlendiriciler (repeater) ile mesafe 170 km'ye kadar artırılabilir. Koruma rölelerine takılan koruma haberleşme modül tipleri Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



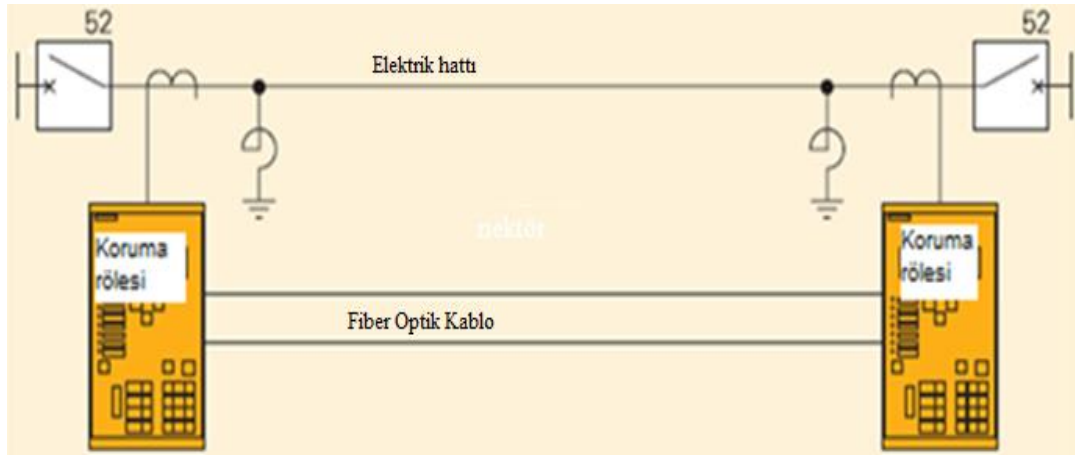
Şekil 2. 7. Koruma rölelerindeki optik haberleşme koruma haberleşme modülü örnekleri [4]

Tablo Ek-4'te pilot (bakır) kablo maksimum haberleşme mesafeleri verilmiştir.

Optik kuvvetlendirici, seri optik sinyalleri duplex mono-mode (tek-mod) fiber optik (FO) kablo ile uzun mesafelere gönderir. 820 nm optik seri sinyalleri 300 bit/s to 4.096 Mbit/s sinyale dönüştürülür. Fiber optik kablo ile 1550 nm'de (nano metre) duplex-mono-mode ile 170 km'ye kadar haberleşme sağlanabilir.

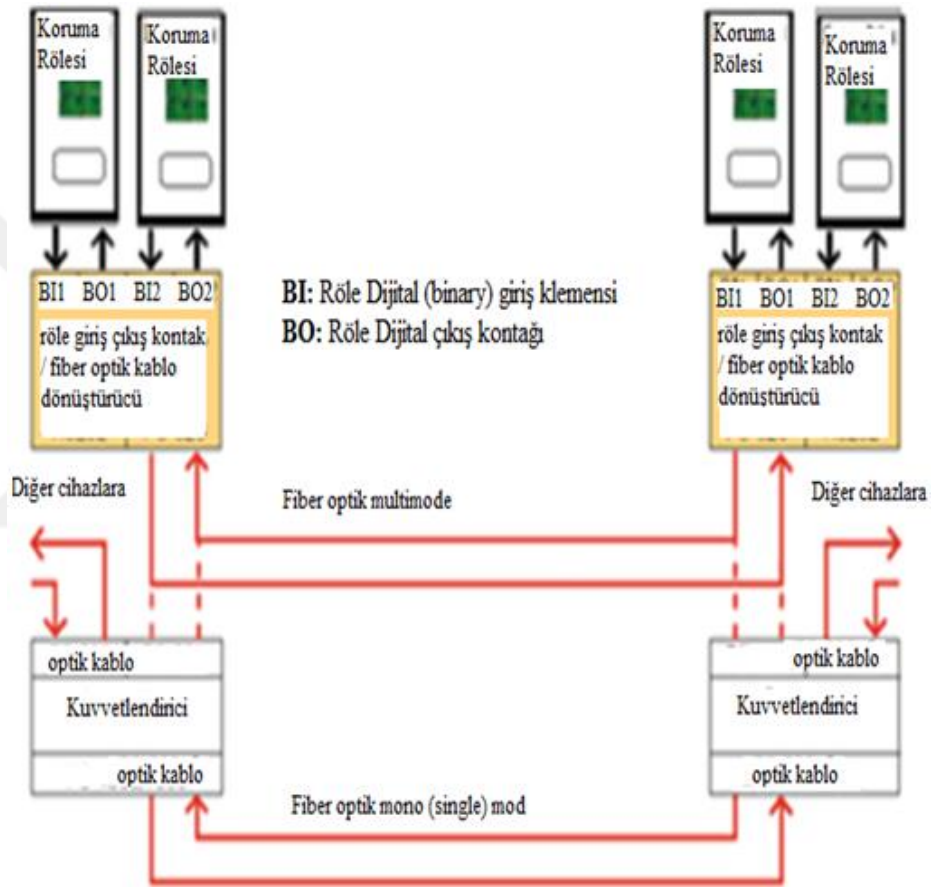
Yüksek hızlı açma 16 ms'dir, haberleşme hızı: 512 kBit/s'tir. Farklı kablo ve mesafe tipleri için farklı fiber optik haberleşme kartları kullanılır.

Şekil 2.8'de fiber optik kablo üzerinden koruma haberleşmesi verilmiştir.



Şekil 2. 8. Korumada çoklu-mod veya tek-mod fiber optik kablo haberleşmesi [4]

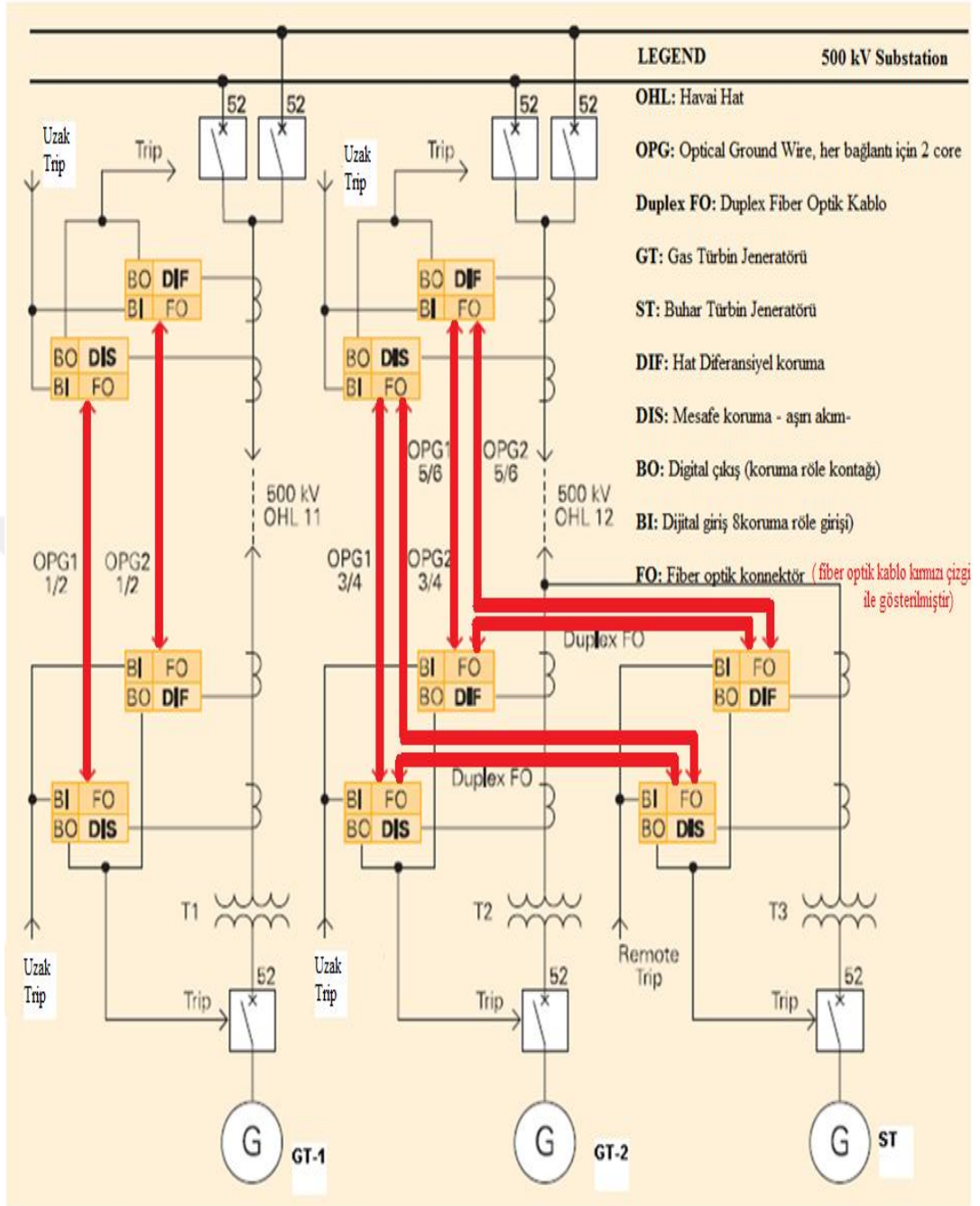
Koruma rölelerinin röle kontak çıkışlarına açma ve arıza bilgileri atanarak transdüserler ile fiber optiğe dönüştürülüp karşı merkeze sinyal alış verişi sağlanabilir. Koruma rölesinde fiber optikli koruma haberleşme modülü olmadığına alternatif olarak kullanılmaktadır. Bunun dezavantajı röle kontaklarının çekme süresi ve karşı merkezde dijital sinyalin okunma süresi kadar milisaniye bazında bir zaman kaybı sözkonusudur. Şekil 2.9’da röle kontaklarının karşı merkeze transdüser ve fiber optik ile transferi gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Koruma rölesi dijital giriş ve çıkışları üzerinden transdüserli fiber optik haberleşme [4]

Yüksek gerilim iletiminde koruma kablosu içinde bulunan fiber optik kabloya OPGW denir. OPGW fiber optik kablo farklı merkezlerdeki koruma rölelerinin koruma haberleşmesinde kullanılır.

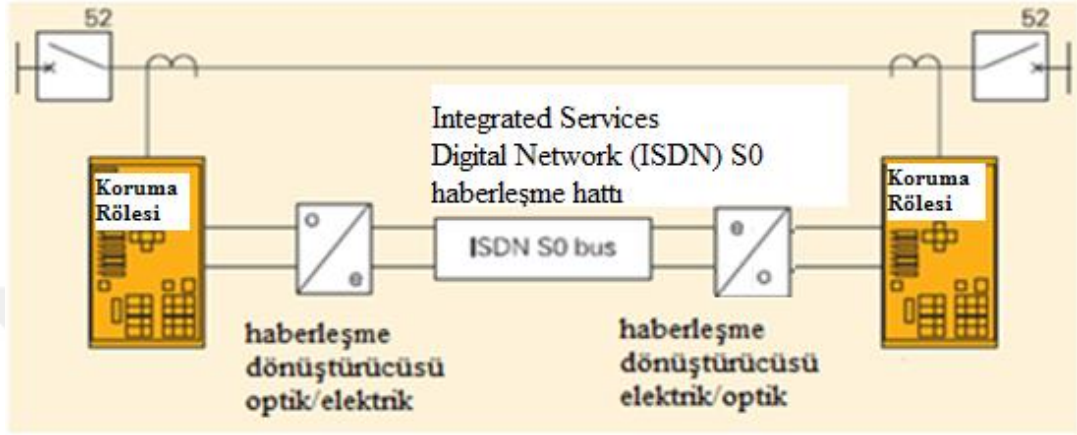
Şekil 2.10’da fiber optik kablolar kırmızı çizgilerle gösterilmiştir.



Şekil 2. 10. Optik haberleşmeli 500kV hat diferansiyel ve mesafe koruma [4]

#### 2.5.4. Dijital haberleşme ağı (ISDN) uygulaması

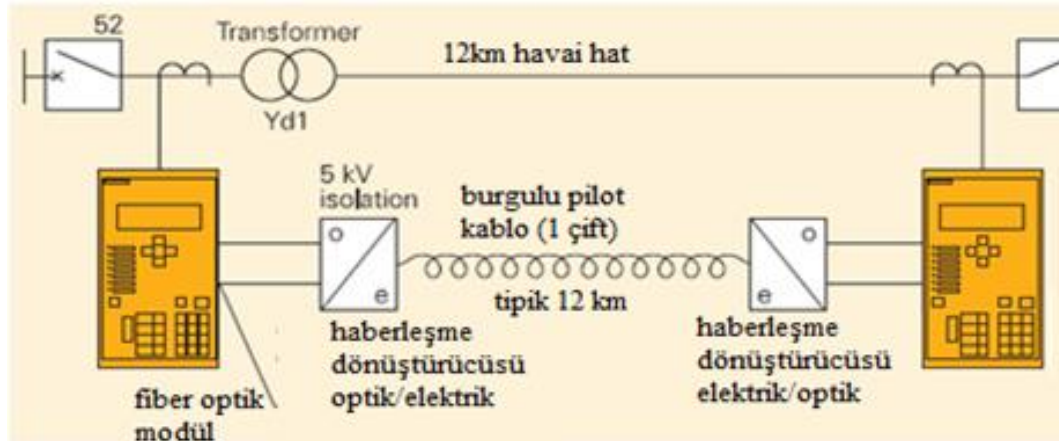
Koruma rölesinin fiber optik modül çıkışı telekom haberleşme üzerinden de haberleşebilir. Çoklayıcı (multiplexer) haberleşme sistemi üzerinden bağlantı Şekil 2.11’de verilmiştir. (o: optik haberleşme, e: elektrik telekom haberleşme)



Şekil 2. 11. Koruma rölesi optik çıkışının ISDN üzerinden haberleştirilmesi [4]

#### 2.5.5. Pilot kablolu haberleşme

Yaklaşık 20 km’den daha kısa mesafelerde dijital haberleşmede, yönlü karşılaştırma ve diferansiyel koruma için kullanılır. Şekil 2.12’de pilot kablo uygulaması verilmiştir.

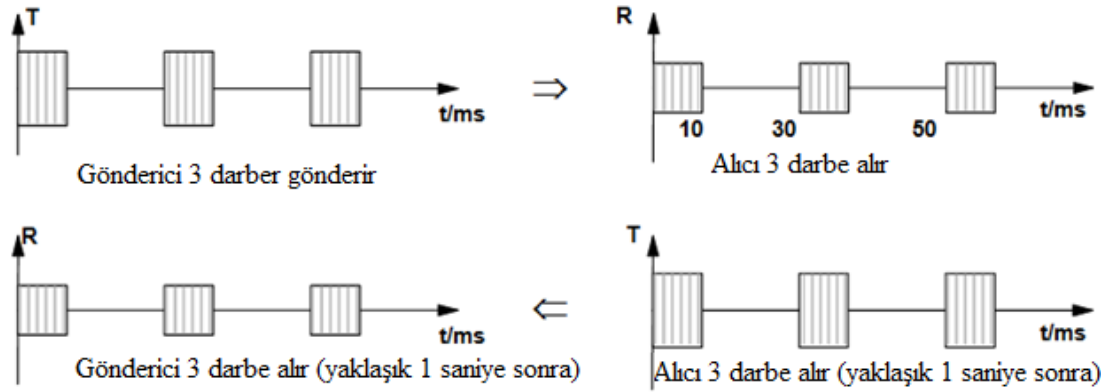


Şekil 2. 12. Pilot kablo ile hat koruma haberleşmesi [4]

Pilot kablo ile izleme ve koruma, diferansiyel koruma sistemlerinde oldukça önemli bir yöntemdir.

İşletme akımlarının düşük olduğu ve/veya uygun diferansiyel akımın oluşmadığı durumlarda (transformatörler ve ölçüm hataları), hat kopukluğu veya kısa devre farkedilmeyerek arızalara neden olabilir. Bu nedenle pilot-kablo fonksiyonu aktif edilir ve koruma reaksiyonu tanımlanır. Bir bağlantı hatası tespit edildiğinde diferansiyel koruma bloke edilebilir veya set edilmiş süre sonunda raporlanır. Her iki rölenin tanımlı davranışta haberleşebilmesi için istasyon bilgileri farklı girilir. Bir diferansiyel röle ana cihaz (master) diğeri ise alıcı cihaz (slave) olarak parametrelendirilir.

Pilot kablolar, simetrik burgulu haberleşme kablo çiftleridir (tipik olarak 73  $\Omega$ /km döngü direnci ve 60 nF/km kapasite, 800 Hz). Döngü direnci 1200  $\Omega$ 'u geçmemelidir. İki röle arasında karşılıklı pilot kablo haberleşme örneği Şekil 2.13'de gösterilmiştir.

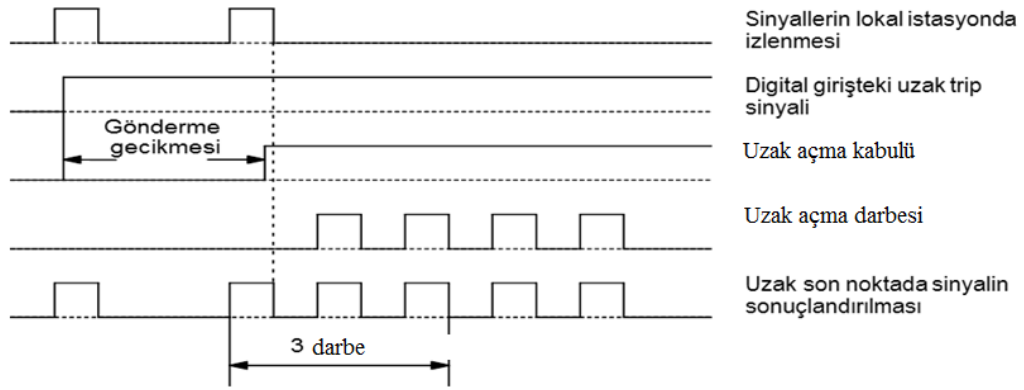


Şekil 2. 13. Pilot kablo ana cihaz – alıcı cihaz gönderme ve alma

Ana cihaz (gönderici) 3 darbe gönderir, alıcı gönderilen 3 darbeyi alır. Sonrasında Alıcı 3 darbe gönderir ve ana cihaz 3 darbe alır. 2 ile 60 arasında başarısız tekrarlama alarm verir. Darbe genişliği ve darbe aralıkları, darbe sayısı, darbe alma seviyesi, başlatma durumu izlenir.

Pilot kablo haberleşmesinde uzak açma Şekil 2.14'te gösterilmiştir. 10 ms aralıklı üç darbe, uzaktaki koruma rölesinde intertrip/uzak açma ile sonuçlanır.





Şekil 2. 14. Pilot kablo haberleşmesinde uzak açma

## 2.6. İletim Hatları Pilot Koruma Yöntemleri

İletim hatlarında pilot koruma haberleşmesi menzil, yön ve bloklama fonksiyonlarına göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılır:

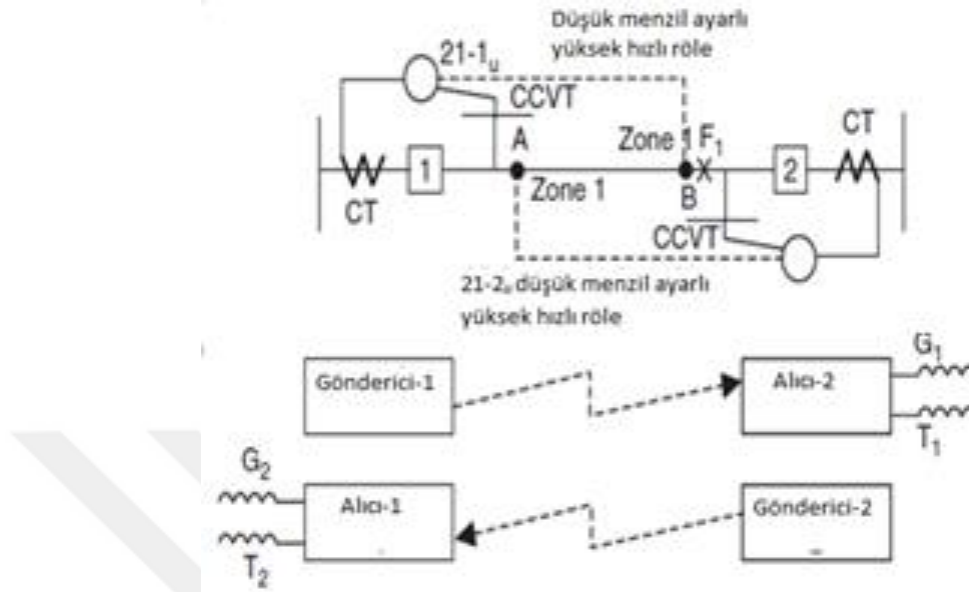
- Direkt Düşük Menzil Transfer Açma (DUTT)
- Müsaadeli Düşük Menzil Transfer Açma / Permissive Underreach Transfer Trip (PUTT)
- Müsaadeli Aşırı menzil Transfer Açma / Permissive Overreach Transfer Trip (POTT)
- Hibrit Müsaadeli Aşırı Menzil Transfer Açma (Hibrit POTT)
- Yön Karşılaştırmalı Kilitleme - Bloklama / Blocking
- Yön Karşılaştırmalı Kilit Çözme - Bloklama Açma / Unblocking (DCUB)

### 2.6.1. Direkt düşük menzil transfer açma (direct underreach transfer trip, DUTT)

Direkt düşük menzil transfer açma (DUTT) tertibi, uzak uçlara transfer açma sinyalleri göndermek için düşük menzil Kademe 1 mesafe elemanını kullanır. Karşı uçlarda, sinyal alındığında, DUTT pilot tertibi başka bir ek denetim olmaksızın çalışır. Tertibin doğru çalışması için kademe 1 faz ve toprak mesafe elemanları etkinleştirilmeli ve mesafe koruma ayar yönergelerine uygun olarak yapılandırılmalı ve ayarlanmalıdır.

Tek faz açma uygulamalarında, tertip, faz seçici tarafından sağlanan lokal arıza tipi tanımlamalarının yanı sıra uzak uçlardan alınan bilgileri de kullanır. Uzak uç

bilgileri, haberleşme kanalı üzerinden bir, iki veya dört bitlik olarak kodlanabilir [14]. Şekil 2.15'te bir hatlı DUTT örneği verilmiştir.



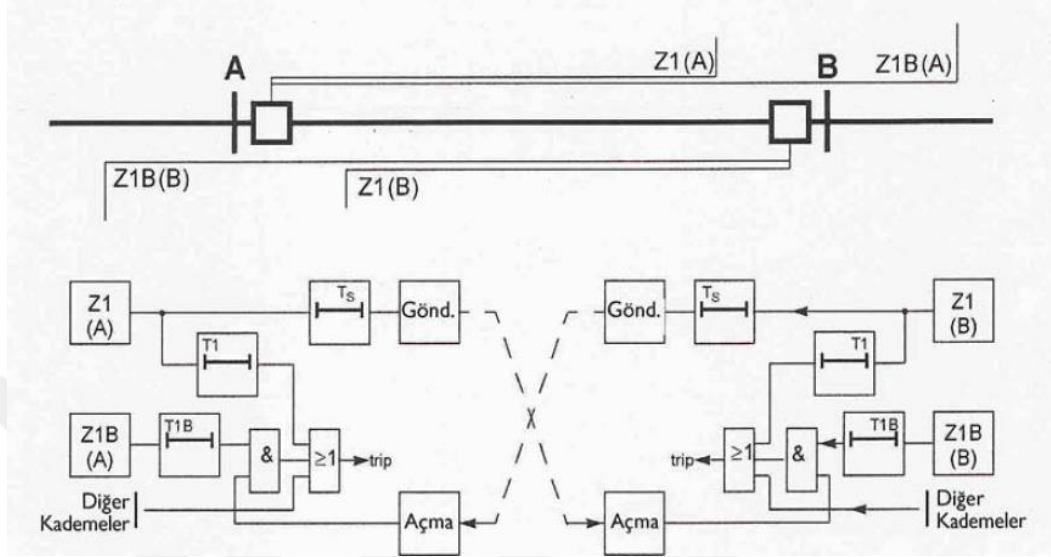
Şekil 2. 15. Bir hatlı direk düşük menzil transfer açma [8]

### 2.6.2. Müsaadeli düşük menzil transfer açma (permissive underreach transfer trip, PUTT)

Müsaadeli düşük menzil transfer açma (PUTT) tertibi, uzak uçlara bir transfer açma sinyali göndermek için düşük menzil kademe 1 mesafe elemanını kullanır. Bu sinyaller, karşı uçlarda aşırı menzil kademe 2 mesafe elemanları ile denetlenir. Tertibin doğru çalışması için, kademe 1 ve 2 faz ve toprak mesafe elemanları etkinleştirilmeli ve mesafe koruma ayar yönergelerine uygun olarak yapılandırılmalı ve ayarlanmalıdır. Tek faz açma uygulamalarında, PUTT tertibi, faz seçici tarafından sağlanan lokal arıza tipi tanımlamalarının yanı sıra uzak uçlardan alınan bilgileri de kullanır. Uzak uç bilgileri, haberleşme kanalı üzerinden bir, iki veya dört bitlik olarak kodlanabilir [14].

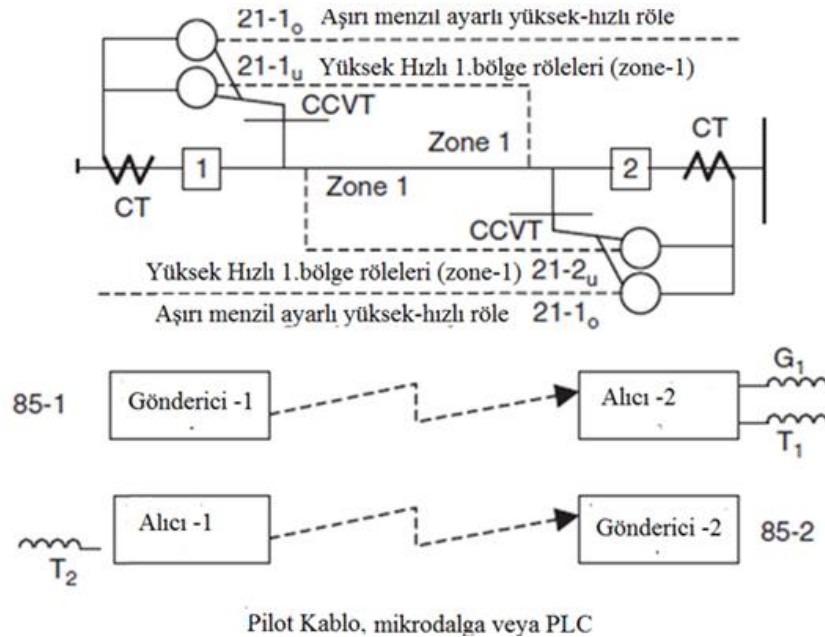
Z1 kademesi içinde bir arıza durumunda, açma sinyali karşı hat ucuna gönderilir. Karşı uçtaki cihaz, ayarlanan yönde Z1B (aşırı menzil bölgesi) kademesi içinde başlatma (pick-up) almışsa, alınan sinyal ile birlikte bir açma başlatır. Her iki hat ucundaki cihazların başlatma zamanları arasındaki farkı denkleştirmek için, gönderme sinyali, Ts süresi kadar uzatılabilir. Mesafe korumanın birinci kademe menzili (Z1), yaklaşık olarak hattın %85'ini ve aşırı menzil kademe menzili de

(Z1B), karşı istasyonun ötesini (yaklaşık olarak korunan hattın %120'sini) görecekte şekilde ayarlanır [11]. Şekil 2.16'da bu müsaadeli düşük menzilde karşıdan açtırma tertibi için kademe hızlandırılmalı çalışma tertibinin fonksiyon şeması görülmektedir.



Şekil 2. 16. Müsaadeli düşük menzilde transfer açma tertibi şeması

Müsaadeli düşük menzilde transfer açma tertibini tek başına bir özellik olarak tam işlevsel yapmak için, tertip çıkış işlenenleri diğer röle fonksiyonlarıyla, özellikle çıkış kontakları ile arayüzlenecek şekilde yapılandırılmalıdır. Şekil 2.17'de Müsaadeli Düşük Menzilde Transfer Açma (PUTT) örneği verilmiştir.



Şekil 2. 17. Müsaadeli düşük menzilde transfer açma (PUTT) [8]

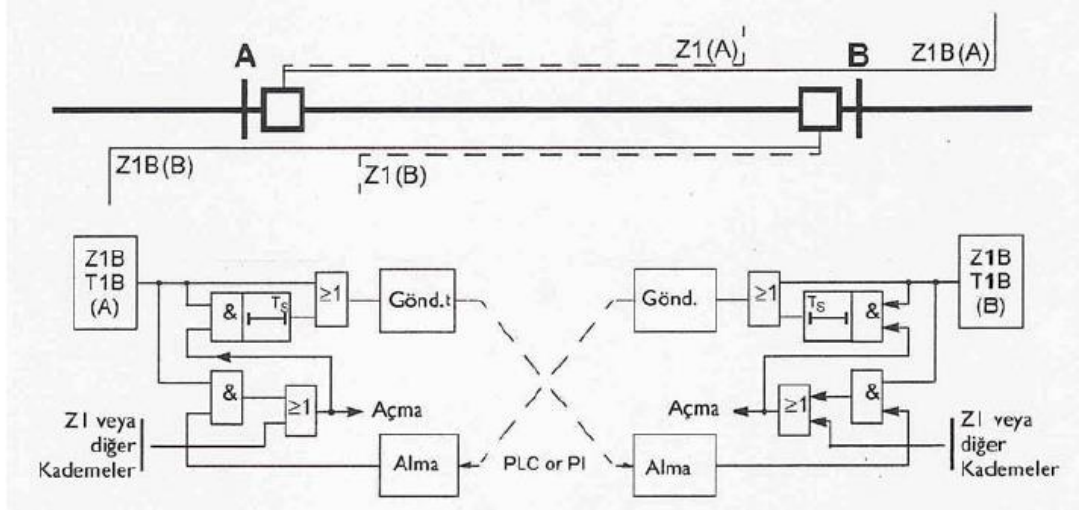
Tipik olarak; çıkış işleneni, kullanıcı gereksinimlerine göre bir açma, kesici arıza ve otomatik tekrar kapamayı başlatmak için programlanmalıdır. Açma çıkış elemanı ile birlikte kullanmak için, tertip, açma, kesici arıza ve tek faz otomatik tekrar kapama işlemlerini yapmak üzere önceden yapılandırılır.

### **2.6.3. Müsaadeli aşırı menzil transfer açma (permissive overreach transfer trip, POTT)**

Müsaadeli aşırı menzil transfer açma (POTT) tertibi, öncelikle iki uçlu uygulamalar için tasarlanmıştır. Tertip, tüm hat uçlarında arıza yönünü karşılaştırmak için genellikle bir aşırı menzil kademe 2 mesafe elemanını kullanır. Tertibi anahtarlamak ve çalışmasını başlatmak için, kademe 2 elemanları ile birlikte rölenin toprak yönlü aşırı akım fonksiyonları da kullanılabilir. Bu, yüksek dirençli arızalar için artırılmış kapsam sağlar. Tertibin doğru çalışması için, kademe 2 faz ve toprak mesafe elemanları etkinleştirilmeli ve mesafe koruma ayar yönergelerine uygun olarak yapılandırılmalı ve ayarlanmalıdır [14].

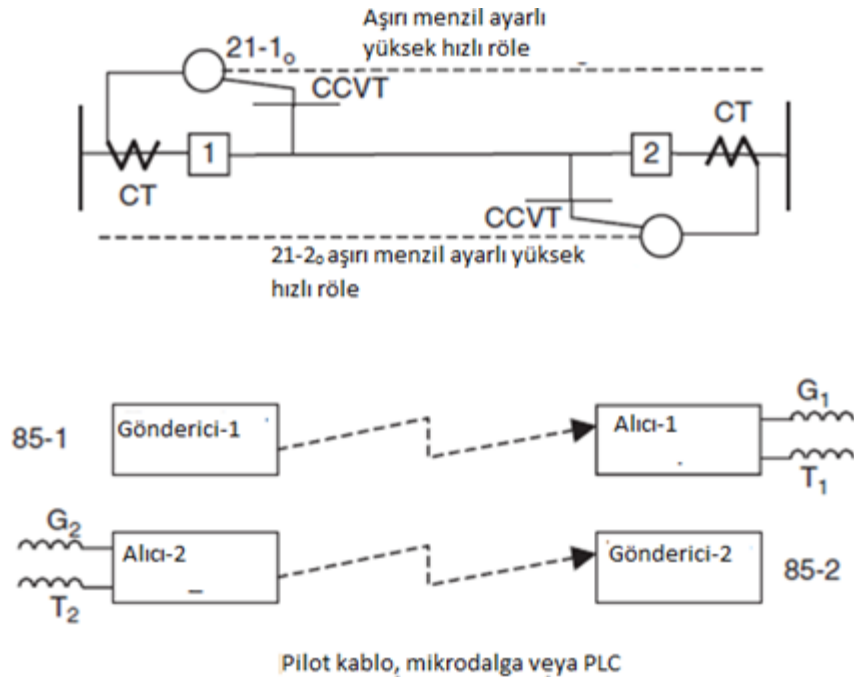
Karşı istasyonun ötesine ayarlanan aşırı menzil kademesi belirleyicidir. Bu mod, aynı zamanda Z1 kademesi için hat uzunluğunun % 85'i bir ayarın mümkün olmadığı ve dolayısıyla seçicili gecikmesiz bir açmanın yapılamayacağı aşırı kısa hatlarda da kullanılabilir. Bu durumda, Z1 kademesi ile seçicisiz açmayı önlemek için, bu kademe Şekil 2.18'de gösterildiği gibi biraz geciktirilmelidir [11].

Hızlı açma için bir önkoşul, arızanın her iki uçtan da ileri yönde, Z1B kademesi içerisinde görülmüş olmasıdır. Z1B aşırı menzil kademesi, karşı istasyonun ötesini görecektir şekilde (Şekil 2.18'de yaklaşık olarak hattın % 120'sine) ayarlanır. Gönderme sinyali, ayarlanabilir Ts süresi kadar uzatılabilir. Gönderme sinyalinin uzatımı, ancak koruma hızlı bir açma komutu vermişse etkindir. Bu, arıza bağımsız Z1 kademesi tarafından hızlı olarak temizlenmiş olsa bile, karşı hat ucundaki cihazın müsaade sinyalini almasını garanti eder. Z1B kademesi hariç diğer tüm kademelerde, korumanın sinyal iletiminden bağımsız, genel koordinasyon karakteristiğine göre, karşı hat ucundan müsaade sinyali alınmaksızın kendi kademe zamanları ile açma komutu verilir [11]. Şekil 2.18'de müsaadeli aşırı menzil transfer açma mantığı verilmiştir.



Şekil 2. 18. Müsaadeli aşırı menzil transfer açma (POTT) [11]

Hat ucu açık/zayıf besleme koşullarını tespit etmek için, hat enerjilenmesi elemanı etkinleştirilmeli ve uygun şekilde yapılandırılmalı ve ayarlanmalıdır. Eğer bu tertiple kullanılacaksa, seçilen toprak yönlü aşırı akım fonksiyonları da etkinleştirilmeli ve uygun şekilde yapılandırılmalı ve ayarlanmalıdır. Tek faz açma uygulamalarında, tertip, faz seçici tarafından sağlanan lokal arıza tipi tanımlamalarının yanı sıra uzak uçlardan alınan bilgileri de kullanır [14]. Şekil 2.19'da müsaadeli aşırı menzil örneği verilmiştir.



Şekil 2. 19. Müsaadeli aşırı menzil transfer açma uygulaması [8]

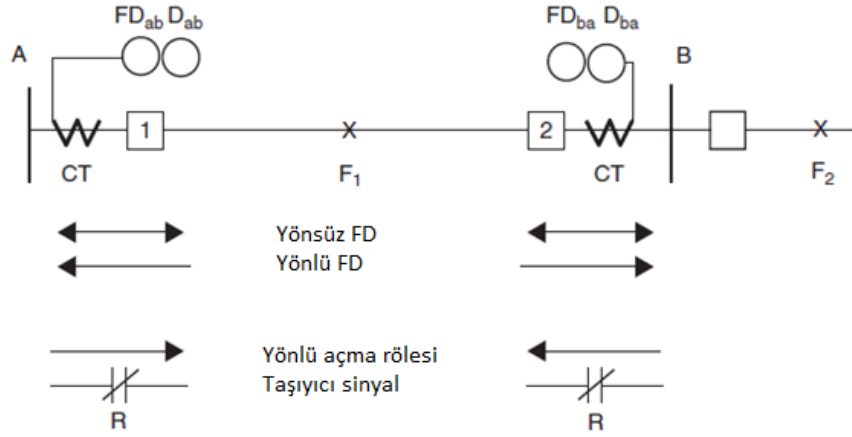
Müsaadeli aşırı menzil transfer açma tertibini tek başına bir özellik olarak tam işlevsel yapmak için, tertip çıkış işlenenleri diğer röle fonksiyonları ile, özellikle çıkış kontakları ile arayüzlenecek şekilde yapılandırılmalıdır.

#### **2.6.4. Hibrit müsaadeli aşırı menzil transfer açma (hibrit POTT)**

Hibrit müsaadeli aşırı menzil transfer açma (hibrit POTT) tertibi, tüm hat uçlarında arıza yönünü karşılaştırmak üzere genellikle bir aşırı menzil kademe 2 mesafe elemanını kullanır. Tertip, zayıf besleme koşulları etkin iki ve üç uçlu hat uygulamaları için tasarlanmıştır. Üç uçlu uygulamalarda aşırı menzil mesafe elemanı için uzun bir menzil gerekebileceği için, hem mesafe hem de toprak yönlü aşırı akım elemanları için geçici kilit mantığı sağlanmıştır. Zayıf besleme koşullarının üstesinden gelmek için, bir eko özelliği de eklenmiştir. Varsayılan olarak, tertip geri yön arızalarını belirlemek için geri yön kademe 4 mesafe elemanını kullanır. Ayrıca; geri yön toprak yönlü aşırı akım fonksiyonları da kademe 4 ile birlikte kullanılabilir. Tertibin doğru çalışması için, kademe 2 ve 4 faz ve toprak mesafe elemanları etkinleştirilmeli ve mesafe koruma ayar yönergelerine uygun olarak yapılandırılmalı ve ayarlanmalıdır.

#### **2.6.5. Yön karşılaştırmalı kilitleme - bloklama (blocking)**

Yön karşılaştırmalı kilitleme tertibi, hattın tüm uçlarında bir arızanın yönünü karşılaştırır. Müsaadeli tertiplerin aksine, kilit sinyalinin olmayışı tertibin çalışmasına izin verir. Dolayısıyla; tertip, güvenilirliğe eğilimlidir ve bir “on/off” tipi sinyalleşmeyi gerektirir. Yön karşılaştırmalı kilitleme tertibi, varsayılan olarak ileri yön arızalarını belirlemek için yalnız aşırı menzil kademe 2 mesafe elemanını kullanır. Yön karşılaştırmalı kilitleme tertibini anahtarlamak ve çalışmasını başlatmak için, kademe 2 elemanları ile birlikte rölenin toprak yönlü aşırı akım fonksiyonları da kullanılabilir [14]. Şekil 2.20’de yön karşılaştırmalı kilitleme, -bloklama- örneği verilmiştir.

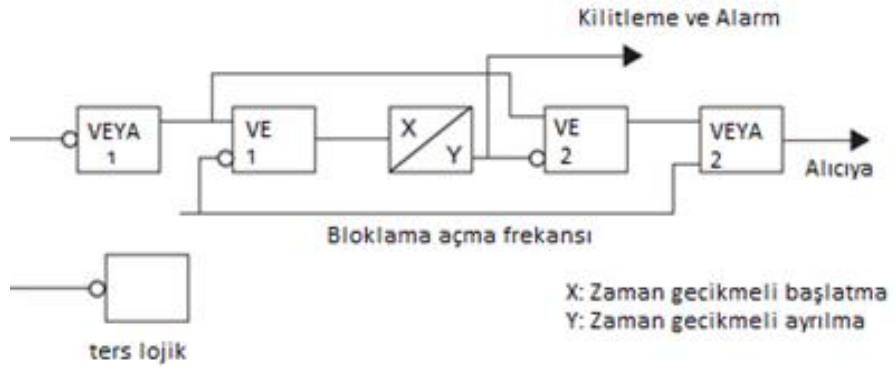


Şekil 2. 20. Yön karşılaştırmalı kilitleme - bloklama [8]

Haberleşme kanalı seçenekleri, uzak girişler, uzak çıkışlar ve tele-haberleşme arayüzlerini kapsar. Tele-haberleşme olanakları ile kullanıldığında, çıkış işleneni, arayüzde verici anahtarlama devresine bağlı bir çıkış kontağını çalıştırmak üzere atanmalıdır.

#### 2.6.6. Yön karşılaştırmalı kilit çözme - bloklama açma (unblocking)

Yön karşılaştırmalı kilit çözme tertibi, tek faz açma uygulamalarında ve bir, iki veya dört bitlik haberleşme kanalları ile kullanılabilir. Yön karşılaştırmalı kilit çözme tertibi, tüm hat uçlarında arıza yönünü karşılaştırmak için genellikle bir aşırı menzil kademe 2 mesafe elemanını kullanır. Yön karşılaştırmalı kilit çözme tertibini anahtarlama ve çalışmasını başlatmak için, kademe 2 elemanları ile birlikte rölenin toprak yönlü aşırı akım fonksiyonları da kullanılabilir. Şekil 2.21'de yön karşılaştırmalı kilit çözme örneği verilmiştir.



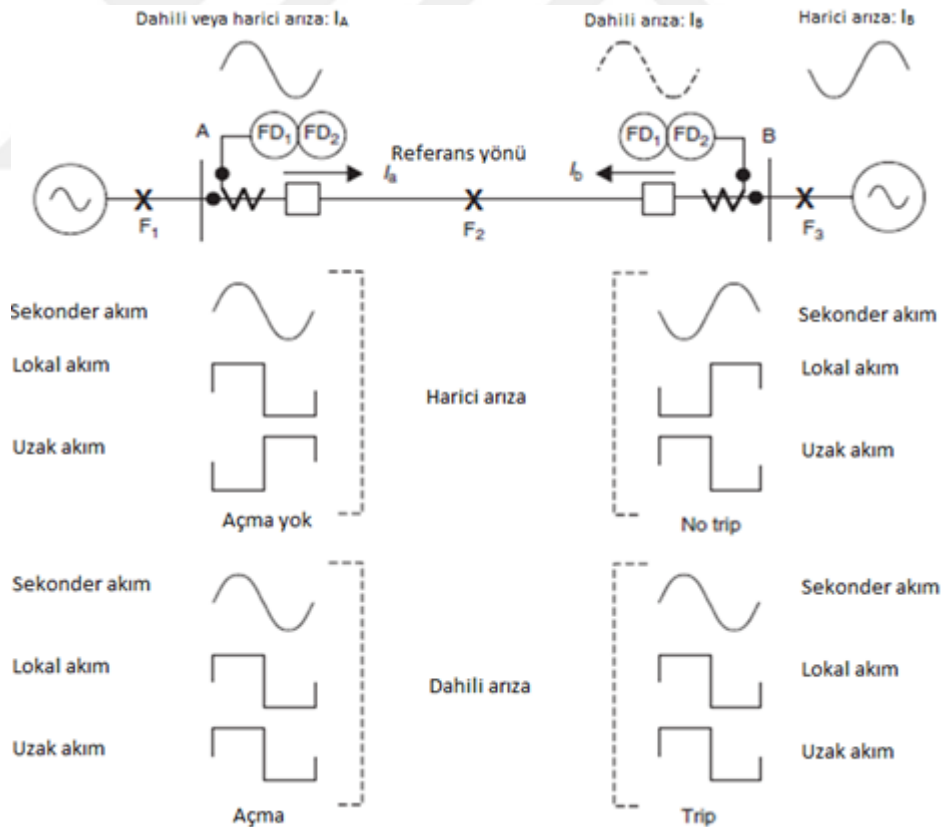
Şekil 2. 21. Yön karşılaştırmalı kilit çözme - bloklama açma [8]

Yön karşılaştırmalı kilit çözme tertibi, iki veya üç uçlu hat uygulamaları için tasarlanmıştır. Üç uçlu uygulamalarda aşırı menzil mesafe elemanı için uzun bir menzil gerekebileceği için, hem mesafe hem de toprak yönlü aşırı akım elemanları için geçici kilit mantığı sağlanmıştır.

Tek faz açma uygulamalarında, tertip, faz seçici tarafından sağlanan lokal arıza tipi tanımlamalarının yanı sıra uzak uçtan uçlardan alınan bilgileri de kullanır.

### 2.6.7. Faz ayırmalı telekoruma (phase segregated teleprotection)

Hattın tamamını kapsayacak ve aynı zamanda koruma alanının dışındaki arızaları görmeyecek direk trip mesafe koruma rölesini ayarlamak mümkün değildir. Aşırı menzil korumadan kaçınmak için direk açma ayarları uzak koruma bölgesindeki % 15-20'lik koruma bölgesinin dışında kalacak şekilde parametrenir. Şekil 2.22'de faz karşılaştırma şematik diyagramı verilmiştir.



Şekil 2. 22. Faz karşılaştırma şematik diyagram [8]

Çift devre hattının tüm hat boyunca aynı anda olan arızalar için her zaman doğru mesafe koruma faz seçimini garantilemek mümkün değildir. ZC1P'nin (mesafe



koruma fonksiyonları için faz ayırmalı şema haberleşme lojigi) ana amacı ilgili korumanın direk açma bölgesinin dışında hattın herhangi bir yerinde gerçekleşen arızalarda, doğru tek faz açmasında hızlı desteğini sağlamasıdır. Bunu sağlamak için; hattın heriki yanında her faz için on/off sinyali gönderme ye uygun üç ayrı haberleşme kanalı tesis edilir.

## 2.7. Geleneksel Koruma Haberleşmelerinin Karşılaştırılması

Tablo 2.2’de PUTT, POTT, Bloklama ve blok açma fonksiyonları ve kullanılabilirliği karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. 2. PUTT, POTT, Bloklama karşılaştırma [6]

PUTT	POTT	Bloklama	Blok Açma
Orta + uzun hatlar.	Frekans sinyali S-taşıyıcılı kısa hatlar.	Genlik modülasyonu taşıyıcılı tüm hatlar.	Çok yüksek gerilim (EHV) hatları
Frekans sinyal taşıyıcılı (PLC) veya Ek-3’te verilen fiber optikli.	Fiber optik veya mikrodalga.	Bloklama bölgesine geri bakış (hızlı) gereklidir.	Frekans Sinyal taşıyıcılı (PLC)
Eğer ikinci bölge açma hat sonuna yakınsa müsaade edilmez.	Sadece bölgeyi aşan durumlarda ileri (forward) gereklidir.	Kanal izlemesi yoktur.	Sürekli sinyal gönderimi gereklidir.
Zayıf besleme olan hatlarda uygulanamaz. Basit lojik!	Karmaşık lojik!		Bloklama bölgesine geri bakış gerekli değildir.

Geleneksel haberleşme karşılaştırmasında müsaadeli aşırı menzil transfer açmada (POTT) fiber optik kablunun, diğer haberleşme yöntemlerinde ise PLC’nin tercih edildiği görülmektedir. Zayıf beslemesi olan hatlarda PUTT uygulanmaz. Blok açma lojiginde sürekli sinyal gönderimi gerekmektedir.

### 3. IEC 61850 İLE KORUMA HABERLEŞMESİ

IEC 61850 Ethernet tabanlı bir koruma ve scada haberleşmesidir. 1995 yılında farklı ülkelerden 60 katılımcının oluşturduğu çalışma grubu tarafından IEC 61850 koruma haberleşmesinin temelini atılmıştır.

IEC 61850’de aynı ethernet hattı üzerinden hem koruma rölesi sinyal gönderimi yapılır hem de scada haberleşmesi sağlanır. Bir koruma rölesi diğer tüm koruma rölelerine bilgi gönderir. Sadece alıcı (receiver) olan koruma röleleri bu sinyali alır. Hangi koruma rölesinin gönderilen sinyalin alıcısı olduğu IED tanımlamalarıyla gerçekleşir. IED tanımlaması rölenin projedeki adı, rölelerin IEC 61850 ethernet kartının IP ve MAC adresi bilgilerini içerir.

IEC 61850, koruma röleleri arasında, HMI ve kontrol merkezi arasında bilgi alışverişini sağlayan haberleşme servislerini tanımlar [15]. SAS (Substation Automation System) istasyondaki akıllı elektronik cihazlar (IEDs, koruma röleleri vb.) arasında sinyal alışverişini, sinyal izleme ve kontrolü sağlayan bir sistemdir [16]. IEC 61850, güç sistemleri otomasyonunda birçok yerde uygulanmış olup, HMI sistemleriyle (dikey haberleşme), fiderlerin kilitleme lojiklerinde IED’lerin birbirleriyle sinyal ve ölçüm bilgisi transferine (yatay haberleşme) imkan sağlar.

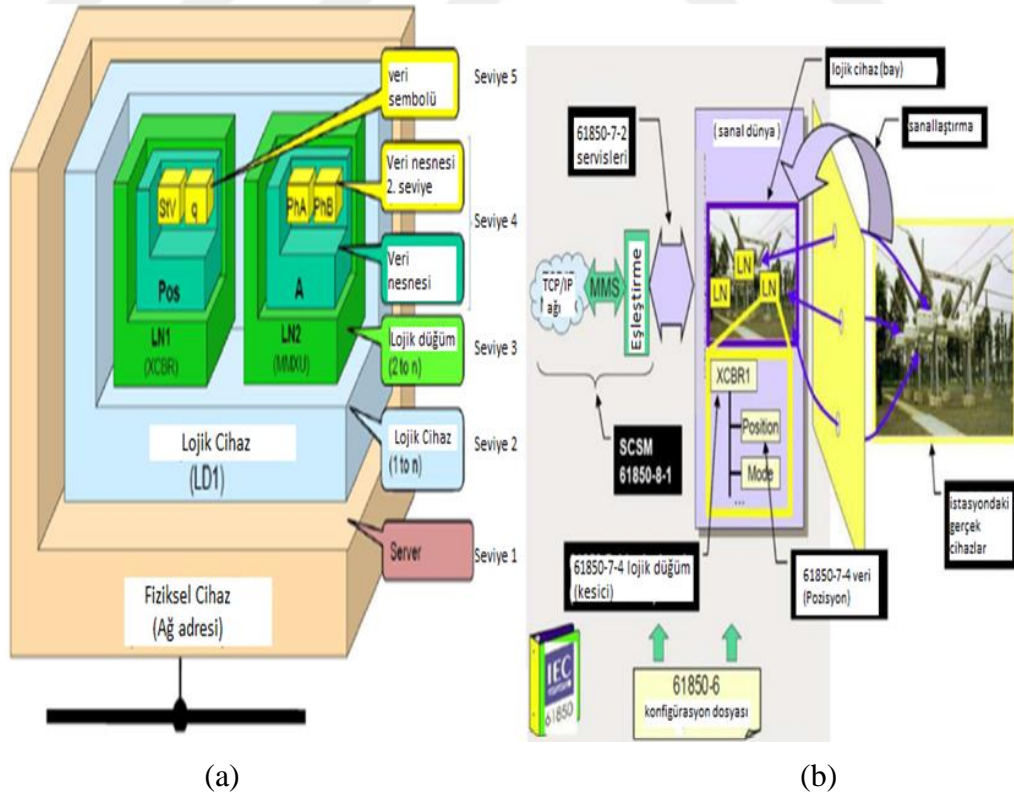
IEC 61850-8-1 Generic Object Oriented Substation Event (GOOSE) profili tanımlar [15]. GOOSE birçok haberleşme cihazı arasında çoklu düğüm (multiple nodes) haberleşmesini destekler [17]. GOOSE, IEC 61850 altyapısında koruma rölelerinin koruma haberleşmesinde kesici açma, aşırı akım bloklama vb. koruma işlemlerinde kullanılır [18]. Akıllı şebeke elektrik şebekesindeki demand ve anlık değişen güç bilgisinin gerçek zamanlı bilgi transferini sağlar [19].

Bu bölümde IEC 61850’nin veri modeli, konfigürasyon dili, bu protokolün koruma sistemlerindeki avantajları ve dezavantajları, GOOSE mesaj yapısı ve uygulama alanlarına değinilmiştir.

### 3.1. IEC 61850 Nesne Yönelimli (Object Oriented) Veri Modeli

IEC 61850 veri modeli aşağıdaki gibi tanımlanan bir hiyerarşi yaklaşımı kullanır: Akıllı elektronik cihaz (IED, koruma rölesi) bir haberleşme sunucu cihazdır. Her bir IED bir veya birden fazla lojik cihaz (Logical Devices –LD-) örneği ve birçok lojik düğüm (Logic Node –LN-) içerebilir. Her bir lojik düğüm ilgili veri nesneleriyle (data objects –DO-) standartlaştırılmıştır. Veri nesneleri (DO) ortak veri sınıflarına (common data classes –CDC-) sahiptir. Veri tipleri durum bilgisi (dijital değerler), ölçümler, operasyon ve kontrol istekleri (eğer varsa), koruma cihazı parametre ayarları, konfigürasyon olabilir. Lojik düğümler koruma fonksiyonları, sıcaklık ölçüm izlenmesi gibi nispeten cihazın kendine ait bilgileri içerir [20].

IEC 61850 nesne yönelimli bir hiyerarşi veri modelini tanımlar. Lojik düğümler veri modelenin temel elemanlarıdır. Bunlar dahili fonksiyonların bilgi içeriğini temsil eder [19]. Şekil 3.1 (a)'da IED hiyerarşisi görülmektedir. Buradaki isimlendirmeler IEC 61850'de standartlaştırılmıştır [21]. Şekil 3.1 (b)'de IEC 61850 isimlendirme ve ekipman karşılıkları görülmektedir.



Şekil 3. 1 (a): IEC 61850'de veri model katmanları [21], (b): Sanal - gerçek modellemesi [22]

Hiyerarşinin seviyeleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

Fiziksel cihaz, sistemdeki mevcut IED'yi (röle vb) tanımlar. Tipik olarak cihaz adı veya IP adresidir. Lojik cihaz, fiziksel cihazdaki ilgili lojik düğümlerin gruplarını tanımlar. Lojik düğüm örneği ise IEC 61850 veri modelindeki önemli fonksiyonları tanımlar. Veri tipi, verinin hangi türden olduğunu gösterir (ölçüm değeri, durum bilgisi, tanımlama, vb.)

IEC 61850-8-1 nesne isminin oluşmasına örnek aşağıda verilmiştir:

Örnek nesne adı: IED1/XCBR1\$ST\$Loc\$stVal

\*Röle adı -lojik cihaz- (IED1)

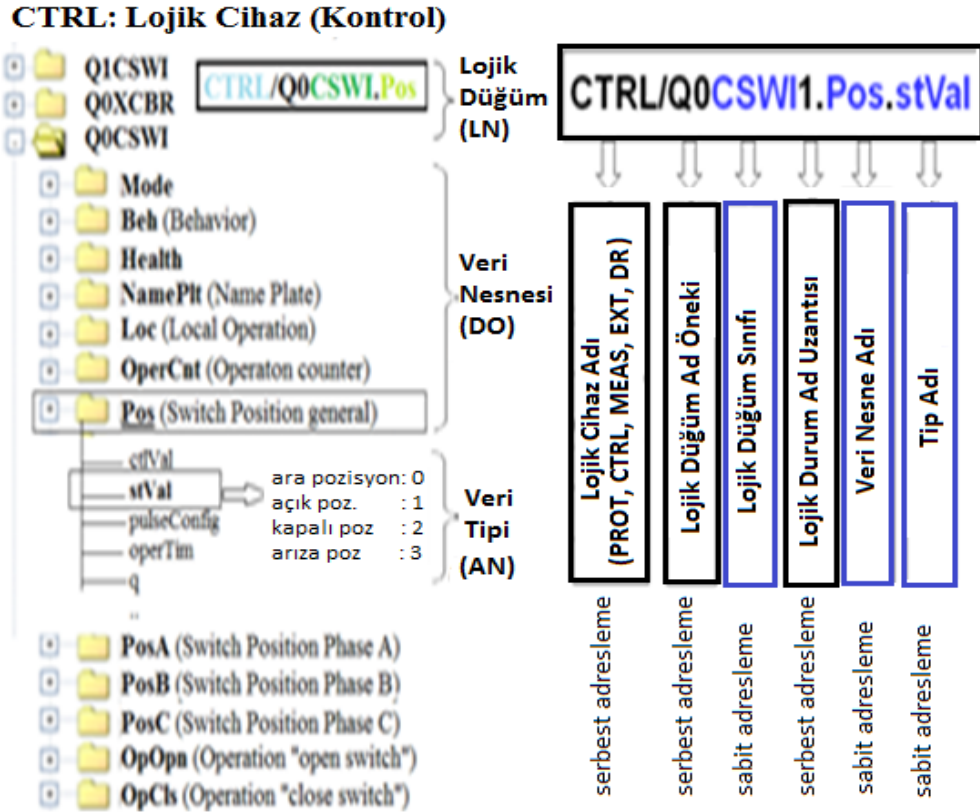
\*Lojik düğüm: Kesici (XCBR1)

\*Fonksiyonel kısıtlayıcı (ST)

\*Veri (Loc)

\*Durum bilgisi –nitelik- (stVal)

Şekil 3.2'deki örnekte lojik düğüm, veri tipi, veri nesnesinin nasıl adreslendiğini göstermektedir.

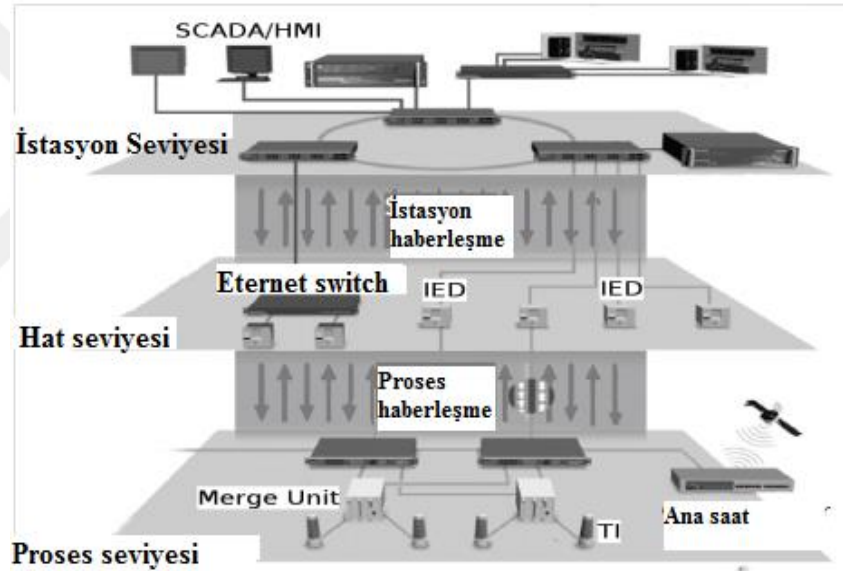


Şekil 3. 2. Kesici pozisyonu için IEC 61850-7 veri modelleme örneği

Sabit (fixed) olan kısımlarda standart adreslemeler kullanılır. Serbest (free) olan kısımlarda ise kullanıcı istediği isimlendirmeyi yapabilir veya standart adres kullanabilir.

Şekil 3.3'te verilen istasyon otomasyonu üç seviyeye ayrılır:

- 1) Proses seviyesi: Şalt ekipmanları (kesici, ayırıcı, akım trafosu vb.), sensörler, aktuatörler bulunur.
- 2) Hat seviyesi: Orta seviyedir. Koruma cihazları, IED'ler ve diğer kontrol ekipmanları bu seviyededir.
- 3) İstasyon seviyesi: HMI (scada vb.), mühendislik bilgisayarı, ağ kontrol merkezi (NCC) ekipmanlarının bulunduğu üst seviyedir.



Şekil 3. 3. İstasyon otomasyon seviyeleri [23]

### 3.2. IEC 61850 Tabanlı İstasyon Konfigürasyon Dili (SCL)

SCL dosyaları farklı üreticilerin farklı ekipmanları arasında veri transferi için kullanılır [24]. Cihaz verisi, durum bilgisi, sistem parametrelerinin transferi IEC 61850-6'de SCL olarak tanımlanmıştır [25]. SCL, istasyonun konfigürasyon verilerinin tamamının özel bir formatta saklanması için tanımlanan bir dildir.

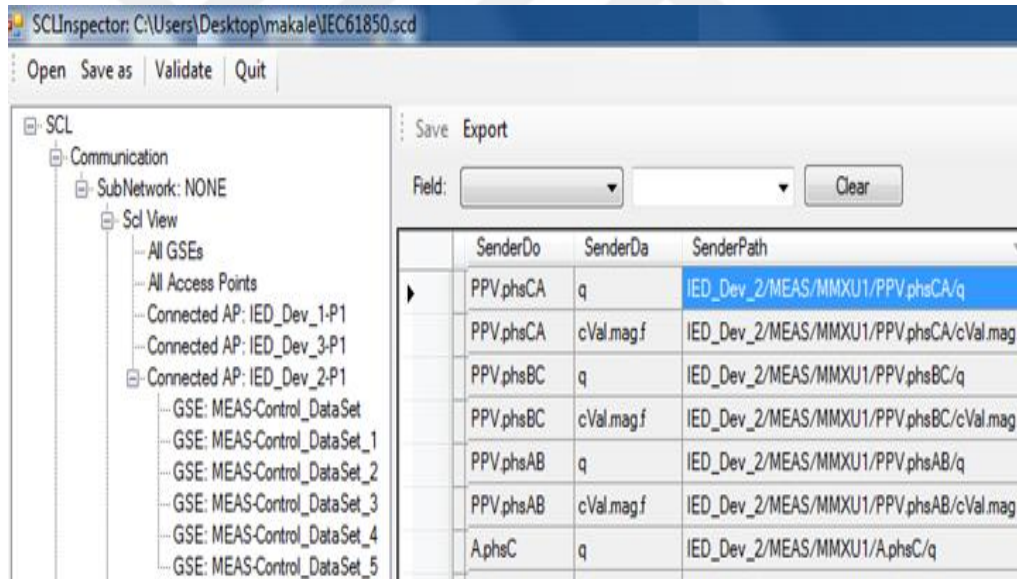
- ICD: IED yapılandırma aracından sistem yapılandırma aracına veri transferi için kullanılır.
- CID: IED yapılandırma aracından IED'ye veri transferi için kullanılır.

- SSD: Sistem özellik tanıımıdır.

- SCD: Sistem yapılandırma aracından IED yapılandırma aracına veri transferi için kullanılır.

Tüm rölelerin haberleşme yapılandırmasını ve istasyon tanımını içerir [25]. Şekil 3.4'teki çıktılar SCL denetleme yazılımı kullanılarak SCL denetlemesini ve verilerin adreslemesini gösterir. SCL dosyası, XML (genişletilebilir işaretleme dili) tabanlı olup IEC 61850 parametre detaylarını göstermektedir.

Örneğin Şekil 3.4'te SCL dosyasındaki adı IED\_Dev\_2 olan koruma rölesinde; C-A gerilimi IEC61850'de: "IED\_Dev\_2/MEAS/MMXU1/PPV.phsCA/cVal.mag" C fazı akımı IEC61850'de: "IED\_Dev\_2/MEAS/MMXU1/A.phsC" şeklinde ifade edilmektedir.



The screenshot shows the SCLInspector application window. The title bar reads "SCLInspector: C:\Users\Desktop\makale\IEC61850.scd". The menu bar includes "Open", "Save as", "Validate", and "Quit". The left pane shows a tree view of the SCL file structure under "SCL" > "Communication" > "SubNetwork: NONE" > "Scl View". The right pane shows a table with columns "SenderDo", "SenderDa", and "SenderPath".

SenderDo	SenderDa	SenderPath
PPV.phsCA	q	IED_Dev_2/MEAS/MMXU1/PPV.phsCA/q
PPV.phsCA	cVal.mag.f	IED_Dev_2/MEAS/MMXU1/PPV.phsCA/cVal.mag.f
PPV.phsBC	q	IED_Dev_2/MEAS/MMXU1/PPV.phsBC/q
PPV.phsBC	cVal.mag.f	IED_Dev_2/MEAS/MMXU1/PPV.phsBC/cVal.mag.f
PPV.phsAB	q	IED_Dev_2/MEAS/MMXU1/PPV.phsAB/q
PPV.phsAB	cVal.mag.f	IED_Dev_2/MEAS/MMXU1/PPV.phsAB/cVal.mag.f
A.phsC	q	IED_Dev_2/MEAS/MMXU1/A.phsC/q

Şekil 3. 4. IEC 61850 SCL dosyası ve SCL dosya incelenmesi

### 3.3. IEC 61850 Avantajları ve Dezavantajları

Geleneksel sistemlerde, akım farkına dayalı korumada akım trafosuna (CT) ihtiyaç duyulur. Akım trafo hassasiyetleri ve ölçüm farklılıkları korumaların hatalı çalışmasına neden olabilir. IEC 61850 tabanlı otomasyon sistemlerinde ise yönlü karşılaştırmalarda ilave akım ve gerilim trafosuna ihtiyaç duyulmaz. IEC 61850'de ölçüm kaynaklı ilave maliyet oluşmaz.

Bara korumada dağıtım fiderlerinin alt tesislerde kapalı ringler oluşturarak birbirine bağlanması durumlarında ise koruma koordinasyonu daha karışık bir hal almaktadır. Bu gibi özelleştirilmiş durumlarda IEC 61850 tabanlı GOOSE mesajlı röle haberleşmesiyle röle - röle sinyal aktarımı yapılabilir [26].

IEC 61850 kablolama, kurulum, bakım işlemlerini en aza indirir. Bununla birlikte haberleşme konfigürasyonunun değiştirilmesinde kolaylık sağlar [27]. Geleneksel koruma planlarına göre, IEC 61850 tabanlı şema koruma haberleşmesinde azaltılmış kablo ihtiyacı nedeniyle maliyet avantajı sağlar. IEC 61850'nin diğer bir avantajı ise istasyondaki rölelerin veri modelini standartlaştırarak farklı üretici firmalara ait koruma rölelerinin birlikte çalışmasına olanak tanır [21].

Çoklu senkon olmayan IED çıkış durumlarının diğer rölelere IEC 61850 ile aktarılması aşağıdakilerden biriyle sağlanır:

- (a) GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event),
- (b) GSSE (Generic Substation Status Event).

GOOSE veya Generic Substation Status Event (GSSE) mesajlarıyla proses haberleşmesine bağlı röleler ilgili sinyal paketlerini transfer ederek kontrol, izleme ve koruma fonksiyonlarının gerçekleştirilmesini sağlar. İstasyon röleleri, HMI (insan makina arayüzü) izleme ve otomasyon için kullanılan başka bir ağa bağlıdır. İstasyondaki rölelerin haberleşmesi sadece otomasyon sağlamaz aynı zamanda geleneksel koruma sistemlerinin performanslarını arttıracak yeni koruma planlarını geliştirme imkanı sağlar [27]. Haberleşme ve konfigürasyon perspektifinden bakıldığında rölelerdeki IEC 61850 SCL dosyaları istasyondaki rölelerin konfigürasyon parametlerine erişilmesini sağlayarak bu dosyalar doğrudan dökümantasyon ve mühendislik işlemlerinde kullanılabilir [28]. Genişleyebilme ve veri bütünlüğü IEC 61850'nin başka bir önemli özelliğidir [24].

IEC 61850 altyapılı sistemlerde aşağıdaki durumlar dikkate alınmalıdır:

- (a) Koruma haberleşmesinde bir noktadan kaynaklanan röle haberleşme problemi. Bu durum yedekli haberleşme yapısı sağlayan “Hızlı Genişleyen Ağaç Protokolü” (RSTP: Rapid Spanning Tree Protocol) ve ilave yedek röle vb çözülebilir.
- (b) IEC 61850 sistemine dahil olmayan diğer rölelerden koruma sinyallerinin temini.

IEC 61850’de istasyondaki tüm fonksiyonları ve sinyalleri LN şeklinde tanımlamak zorunlu değildir. Kullanıcı istediği takdirde genişletilmiş “genel mantıksal düğümler” (GGIO) sinyal tanımını kullanarak lojik düğüm isimlendirmelerini kendi seçebilir. Bu durum farklı üretici firma koruma rölelerinin birlikte çalışma problemine veya devreye alma zorluğuna neden olabilir [16]. Haberleşme sisteminde büyük veri transferi olabileceği de hesaba katılmalıdır [29]. IEC 61850’de rölelerin birlikte uyumlu çalışması veri modeli ve bu modellerdeki veri haberleşmesiyle sağlanır. Çoklu ortam mesajlaşma servisi (MMS) üzerine sanal modelleme kullanılarak ekipmanların sanal model yapısı (VMD) oluşur [30]. IEC 61850 optik ring yedekliliğini destekleyerek haberleşmede sürekliliği sağlamış olur.

IEC 61850 ağ/haberleşme arızaları genellikle aşağıdaki durumlarla gerçekleşir:

- (a) Operasyonel hatalar
- (b) Veri haberleşme hataları: Protokol uyumsuzluğu, güncelleme ve uyumluluk problemleri.
- (c) Senkronizasyon hatası
- (d) Yazılım hataları: Kod hataları, veritabanı hataları
- (e) Harici hatalar: Güç kaynağı arızası, yaşlanma, çevresel koşulların etkisi [31].
- (f) Siber ataklar

- Servis Atakları: Atakçı IED’lerde birçok oturum açmaya ve geçersiz bilgi göndermeye çalışabilir. - Şifre çözme denemesi atakları.

- Paket Takibi Atakları: FTP, HTTP, ve Telnet izlenebilmektedir [32].

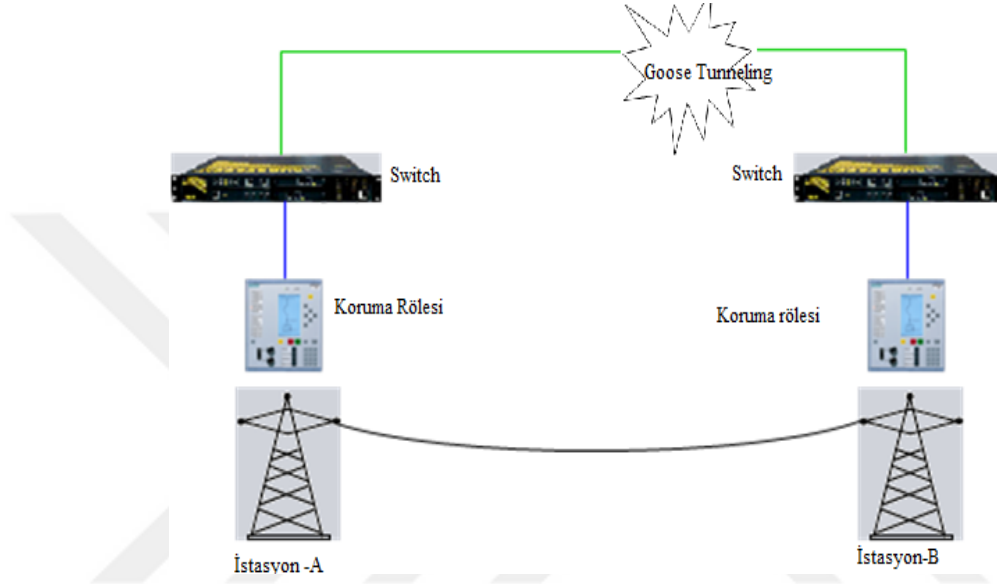
Bu durumlara karşı gerekli yazılım ve donanım güvenliği tesis edilmelidir.

#### **3.4. IEC 61850’nin İstasyonlar Arasında Koruma Amaçlı Kullanılması**

İstasyon – istasyon haberleşmesi (SS - SS: substation - substation), farklı istasyonlardaki koruma rölelerinin birbiriyle IEC 61850 protokolüyle haberleştirilmesini ifade eder [17]. Bu henüz devreye alınmış ve tam doğrulanmış bir uygulama değildir [15]. Bununla birlikte IEC 61850 90-1 istasyonlar arasındaki röle haberleşmesini de tanımlar. İki veya daha fazla istasyonun haberleşmesinde VLAN, VID, band genişliği ve düşük haberleşme gecikmesi (latency) önemli kavramlardır.

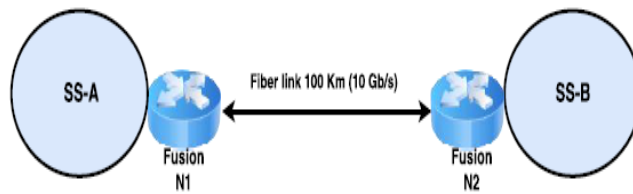


Fusion haberleşme teknolojisi kritik güç sistem koruması haberleşmesinde çözüm olabileceği önerilmiştir. Buna rağmen bu doğrulanmış değildir. Sistemi güvenli ve korumayı hızlı sağlayan tedbirlerin tamamı gereklidir. Tünelleme, bir haberleşme paketinde farklı bir protokol bilgisinin yollanmasıdır. Uzak merkezlerdeki (farklı istasyonlardaki) iki koruma rölesinin fiber optik üzerinden GOOSE tünelleme (tunneling) kullanılarak haberleşmesi Şekil 3.5’te gösterilmiştir.



Şekil 3. 5. GOOSE tünelleme ile istasyon istasyon haberleşmesi

IEC 61850 haberleşmesi için uzak mesafe ağlarda fusion teknolojisi kullanımı Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3. 6. Fusion ağ mimarili istasyon - istasyon haberleşme yapısı

### 3.5. GOOSE Protokolü

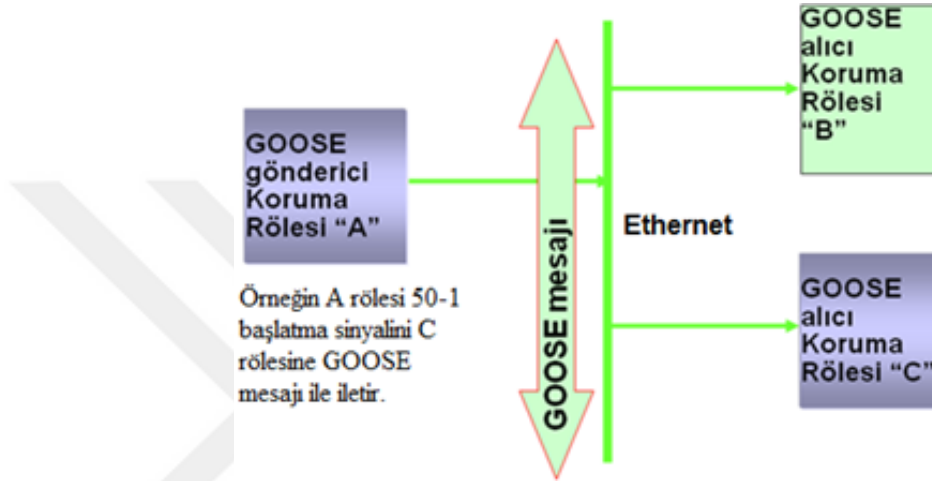
GOOSE yüksek hızlı röleler (IED veya AEC) arasında kullanılan bir IEC 61850’nin bir alt haberleşme protokolüdür. Örnek olarak aşağıdaki korumalar yapılabilir:

- Otomatik tekrar kapatma (auto-reclosing)

Röle ve kesici / Fider kontrol ünitesi (BCU: bay control unit) arasında.

- Inter-trip (röle - röle arasında)
- Bloklama (röle – röle / fider kontrol ünitesi arasında)
- Kilitleme (fider kontrol ünitesi) [16].

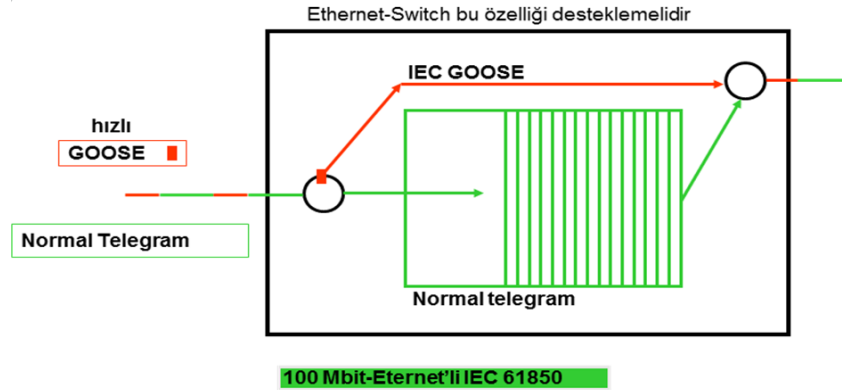
GOOSE mesajını gönderen gönderici (publisher) alıcı ise abone (subscriber) diye adlandırılır [17]. Şekil 3.7’de bir röleden diğer rölelere GOOSE mesajı gönderme prensibi verilmiştir.



Şekil 3. 7. Röleden röleye GOOSE mesajı uygulaması

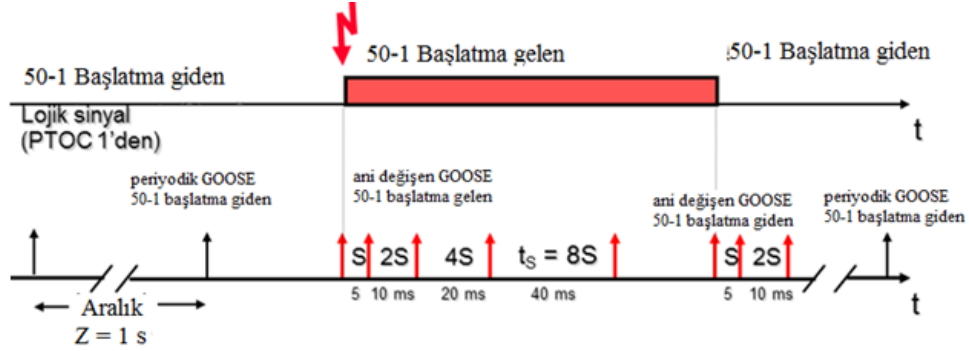
IEC 61850 tabanlı GOOSE haberleşmede sinyaller önceliklendirilerek kritik önemli sinyallerin ağda beklemeden hedefe ulaşması sağlanır.

Yüksek öncelikli parametrelendirilmiş sinyaller ağ trafik yığınyında beklemeden hedefe ulaşır. Şekil 3.8’de yüksek öncelikli (high priority) sinyallerin bir röleden diğer röleye transfer edilmesi gösterilmiştir.



Şekil 3. 8. GOOSE mesajı önceliklendirme (priority)

Açma durumunu garantilemek için açma (trip) sinyali Şekil 3.9’da görüldüğü gibi işlem sonuçlanana kadar birden fazla ardarda gönderilir.



Şekil 3. 9. GOOSE mesaj örnekleri (ardarda gönderim)

Örneğin  $Z = 1$  s zaman diliminde (alıcıdan alınan GOOSE mesajının durumu izlenir.

- 50-1 başlatma geldiğinde periyodiktan (cyclic) ani değişene (spontaneous) geçiş olur.
- $N$  ani değişen tekrarı  $tS = 2N \times S$  ( $N=0,1,2,3\dots tS < Z$  için,  $S = 5$  ms).
- $tS > Z$  olduğunda ani değişenden periyodığe geçiş olur.

IEC 61850 standartlarına göre bir noktadan başka bir noktaya haberleşmede GOOSE ve örnek değer (SV) olan iki model bulunur. GOOSE modeli, açma komutları, alarmlar, sinyaller, gibi istasyon olaylarının hızlı iletimi için “çok esnek yüksek öncelikli ve güvenli” bir mekanizmadır. GOOSE mesajları, kontrol sinyallerinin akıllı elektronik cihazlar arasında, zaman–kritikliği olan ve yüksek güvenilirliğe ihtiyaç duyulan kilitleme, koruma amaçları ve hassas görevlerinin kablo bağlantılarının yerine kullanılan röle-röle haberleşme mesajlarıdır. Bilgi değişimi yayımcı/alıcı mekanizma tabanlıdır.

Yayımcı, gönderme tarafındaki yerel bellek alanında değerleri yazar ve alıcı ise alıcı tarafındaki yerel bellek alanında değerleri okur. Haberleşme sistemi yayımcıların yerel bellek alanının güncellenmesinden sorumludur. GOOSE mesajı çok yönlü yayın (multicast) yapısındadır ve yayımlanan mesajlar konfigürasyonda belirlenen akıllı elektronik cihazlar tarafından alınır.

GOOSE mesajı, durumun değişti bilgisini zamanıyla birlikte alıcı cihazın görmesine müsaade eden bilgiyi içerir. Son durum değişim zamanı, alıcı cihazların yerel

zamanlayıcılarını verilen olayla bağlantılı ayarını sağlar. Mesajı alan AEC, mesajdaki bilgiyi verilen durum için uygun koruma yanıtını belirlemek için kullanır.

GOOSE mesajının IEC 61850 standartları tabanında olmasından dolayı, bu mesaj sadece IEC 61850 tabanlı otomasyonlu istasyonlarda kullanılabilir. Üstelik GOOSE mesajı haberleşmesinde kullanılan cihazlar aynı istasyonda olmalıdır çünkü GOOSE mesajı ile haberleşme farklı istasyonlar arasında mümkün değildir [33].

### 3.6. Transformatör Artçı Korumada IEC 61850 Uygulaması

Bu kısımda Kore'deki IEC 61850 haberleşmesi kullanılarak yapılan transformatör yedek koruma uygulamasına değinilmiştir. Geleneksel adım mesafe korumasında bölge (zone) kesişme durumunda sorunlar oluşur. Eğer farklı rölelerin aynı bölgeleri kesişirse, gerçek arıza yeri ile sanal arıza yerini birbirinden ayırt etmek oldukça zordur ve aksaklıklar oluşur. Bu durumda bölge uzunluğu veya zaman gecikmesi, kesişme bölgelerini ayırmak için genelde değiştirilir. Bununla birlikte bu değişiklikler güç koruma sistem koordinasyonunu etkiler.

Trafo artçı (backup) koruma bu kapsamda iyi bir örnektir. Genellikle, trafo yedek koruma rölesinin 2. bölgesi, hat yedek koruma rölesinin 2. bölgesine çok yakınsa bu bölgedeki değişiklik yöntemi belli olmayabilir. Bu kapsamda sorunların üstesinden gelmek için, trafo artçı korumasında; IEC 61850-tabanlı mesafe koruma rölesi kullanıldığı geliştirilmiş işletme yöntemi Kore'de uygulanmıştır [33]. Tablo 3.1'de trafolar için yedek koruma yöntemi görülmektedir.

Tablo 3. 1. Kore'de trafolar için yedek koruma yöntemi [33]

Gerilim Seviyesi	Yedek Koruma Şeması	Yedekleme Bölgesi
765 / 345 kV	Faz Mesafe Rölesi	Bölge 2, Bölge 3
	Toprak Mesafe Rölesi	Bölge 2, Bölge 3
345 / 154 kV	Faz Mesafe Rölesi	Bölge 2

Faz mesafe rölesi ve toprak mesafe rölesi hemen hemen aynı algoritmayı ve parametre ayarlarını kullanır. Tek fark hata tiplerine bağlı olarak kompanzasyon bölümlerindedir.

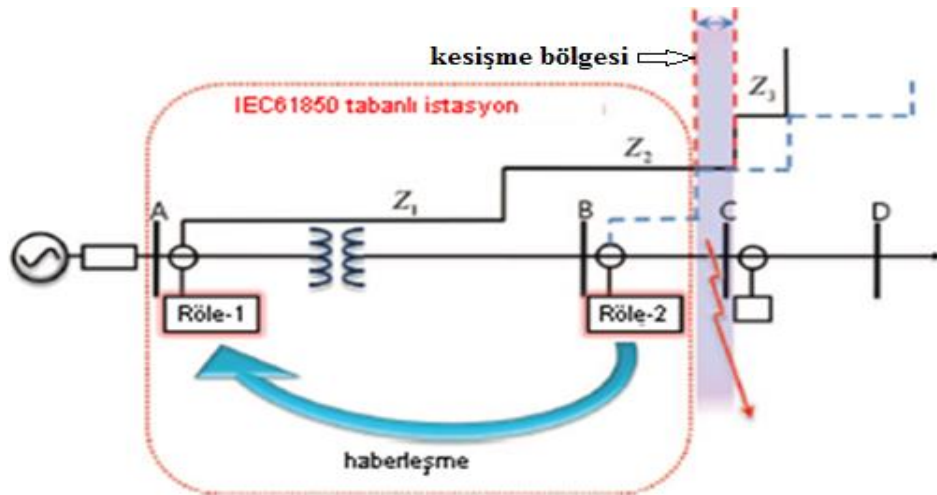
Eğer farklı rölelerin aynı yedek bölgeleri kesişiyorsa, bu her iki mesafe rölesinde de çok önemli bir sorun oluşturacaktır. Kesişim bölgesinde oluşan herhangi bir hata

rölelerin arasında hataya neden olur. Yedek bölgeleri, geleneksel kademe mesafe röle yönteminde kesişme olmayacak şekilde ayarlanır. Bazı özel sistemlerde, bununla birlikte, sistemler ayar kurallarına uysa bile bölgeler kesişmelidir. Bu sorunlar, genelde zaman gecikmesini veya bölge boyutunu değiştirerek giderilir (bu çözüm güç koruma sisteminin koordinasyonunu etkileyebilir). Bölgeleri değiştirmek, her bir bölgenin sonunda korumasız bir alan bırakır ve zaman gecikmesini değiştirmek, rölenin diğer bölümlerle olan koordinasyon sorunlarına zemin hazırlar [33].

### 3.6.1. IEC 61850'li trafo koruma sistem konfigürasyonu

Kore'de uygulanan IEC 61850 ile geliştirilmiş mesafe koruma röle yöntemi Şekil 3.10'de gösterilmektedir. Şekil 3.10'da gösterilen konfigürasyonda, eğer 2. bölgenin kesişiminde bir arıza oluşursa, röle-1 bloke olması gerektiğinden sadece röle-2 işlem yapmalıdır. Röle-1 ve röle-2 arasında haberleşmeyi kullanmak mümkündür. İstasyon IEC 61850 standartları tabanında ise GOOSE mesajı ile 400 ms içerisinde tamamlanması gereken bloke etme mesajı gönderilebilir. GOOSE mesajı ile haberleşme mümkündür çünkü trafo artçı koruma rölesi ve iletim hat koruma rölesi aynı istasyondadır.

Açma mesajları gibi önemli hızlı mesajlar, IEC 61850 tabanlı bir istasyon sisteminde GOOSE mesajı kullanılarak 10 ms'den daha az bir süre içinde hedefe gönderilir. Bloklama mesajlarının 400 ms içinde tamamlanma zorunluluğu nedeniyle, GOOSE mesajlarının kullanım konsepti mantıklıdır [33].



Şekil 3. 10. İkinci bölgede kesişmenin olduğu mesafe koruma röleli diyagramı [33]

-Sistemde kullanılan koruma röleleri:

IED-1 (AEC-1): Trafo artçı koruma rölesi

IED-2 (AEC-2): İletim hat artçı koruma rölesi

IEC 61850 Simülasyon sistemi üç kısımdan oluşur:

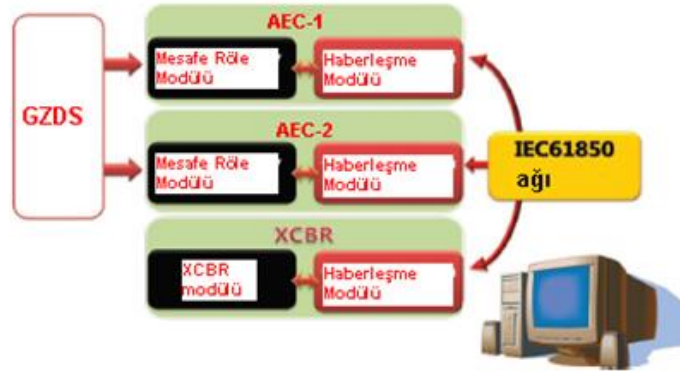
1-) Giriş sinyali için GZDS (gerçek zamanlı dijital simulator)

2-) AEC (akıllı elektronik cihaz)

3-) İzleme bilgisayarı

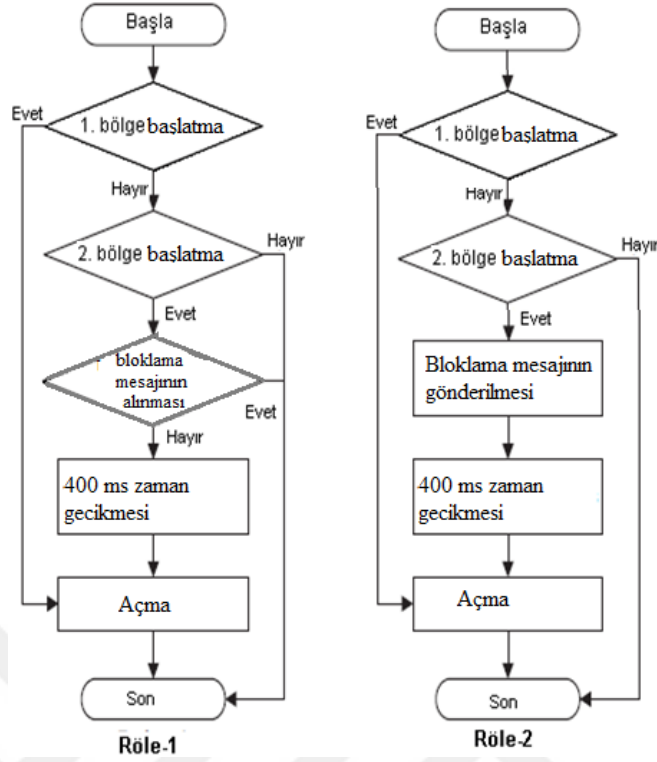
Simülasyon sistemi GZDS kullanarak test edilmiştir. Her bir AEC, biri mesafe koruma ve diğeri haberleşme için kullanılan iki ayrı modülden oluşur. Haberleşme modülünün (Şekil Ek-2b) görevi, IEC 61850 ağına erişmek ve IEC 61850 standardına uygun olarak röle programındaki değişkenlerin karşılıklı değişimini sağlamaktır.

Her bir haberleşme modülü GOOSE mesajı yayımlayabilir ve ayrıca IEC 61850 ağı üzerinden ilgili GOOSE mesajlarını alabilir. Simülasyon sisteminin genel görünümü Şekil 3.11’de verilmiştir. XCBR, kesicinin IEC 61850’deki lojik düğüm ifadesidir.



Şekil 3. 11. Simülasyon sistemi genel görünümü [33]

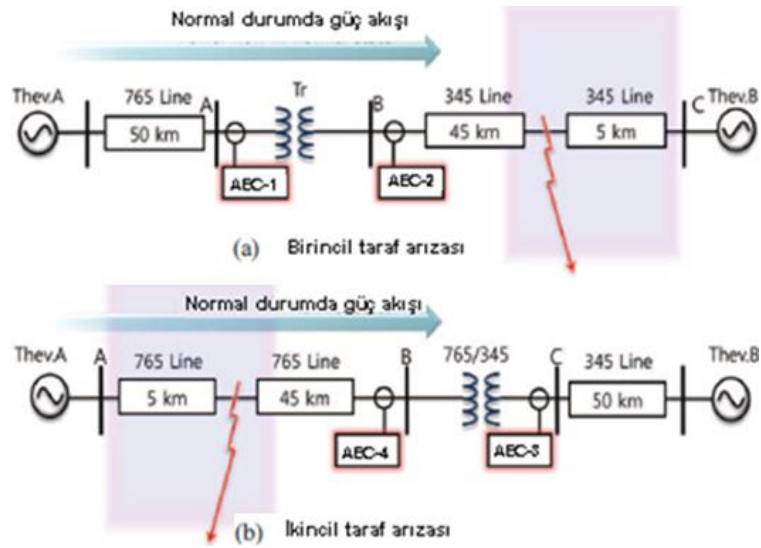
Trafo yedek koruma için 2. bölgenin işlem süresi 400 ms'dir. Eğer kesişim bölgesinde herhangi bir hata oluşursa, kesişim bölgesindeki rölelerin her ikisi de aynı 400 ms sonrasında işlem görecektir. Eğer 2. bölge kesişiminde herhangi bir arıza oluşursa, röle-2, röle-1 üzerinde önceliğe sahiptir. Böylece; 2. bölge kesişiminde arıza oluştuğunda, röle-1 bloke olmalıdır. Röle-2 2.bölgede başlatma olduğunda, röle-2 röle-1'e GOOSE mesajında bir bloklama mesajı gönderir. Şekil 3.12'de gösterildiği gibi her bir rölede farklı bir algoritma gerekir.



Şekil 3.12. Uygulamadaki her bir rölenin akış diyagramı [33]

Röle-1 de 2. bölgede baslatma olsa bile röle-2 den aldığı bloklama mesajı ile işlemini durdurmalıdır. Bu yöntem, bölge kesişmeleri olduğunda röle ayar yönteminde hiçbir değişiklik yapmadan koordinasyon problemini çözebilir.

Şekil 3.13'te gösterildiği gibi trafoların olduğu iki iletim sistemi, IEC 61850'li trafo koruma yöntemini test etmek için tasarlanmıştır.

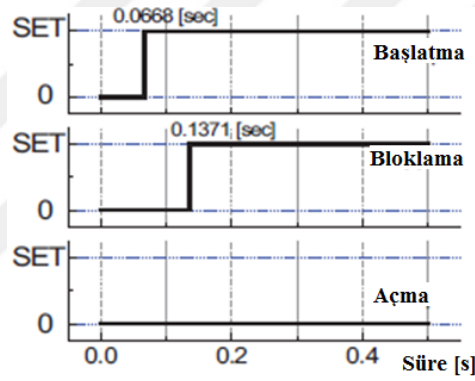


Şekil 3. 13. Trafolu iletim sistemleri

AEC-2 mesafe koruma rölesi kendi 2. bölgesinde başlatma yaptığında, bu olayla ilgili bilgi, haberleşme üzerinden haberleşme modülüne gönderilir. Haberleşme modülü AEC-1'e GOOSE mesajıyla bir bloklama mesajı gönderir. AEC-1'in haberleşme modülü bu mesajı alır ve AEC-1'in 2. bölgede açmasını bloke eder.

### 3.6.2. IEC 61850'li trafo koruma GOOSE mesajı kullanımı

Arıza iletim hattının %90'ında oluşsa bile her iki röle de 2. bölge başlatma olur. Bu durumda, her iki röle 400 ms gecikme sonrasında açacaktır. Bu durumlarda, her bir AEC'nin haberleşme modülünden önceliği olan, bir GOOSE mesajı ile bloklama mesajı yayımlar. Sekonder AEC bu bloklama mesajını alır ve açma bloke edilir. Şekil 3.14'te başlatma, bloklama ve açma zamanları verilmiştir [33].



Şekil 3. 14. Açma ve bloklama zamanları [33]

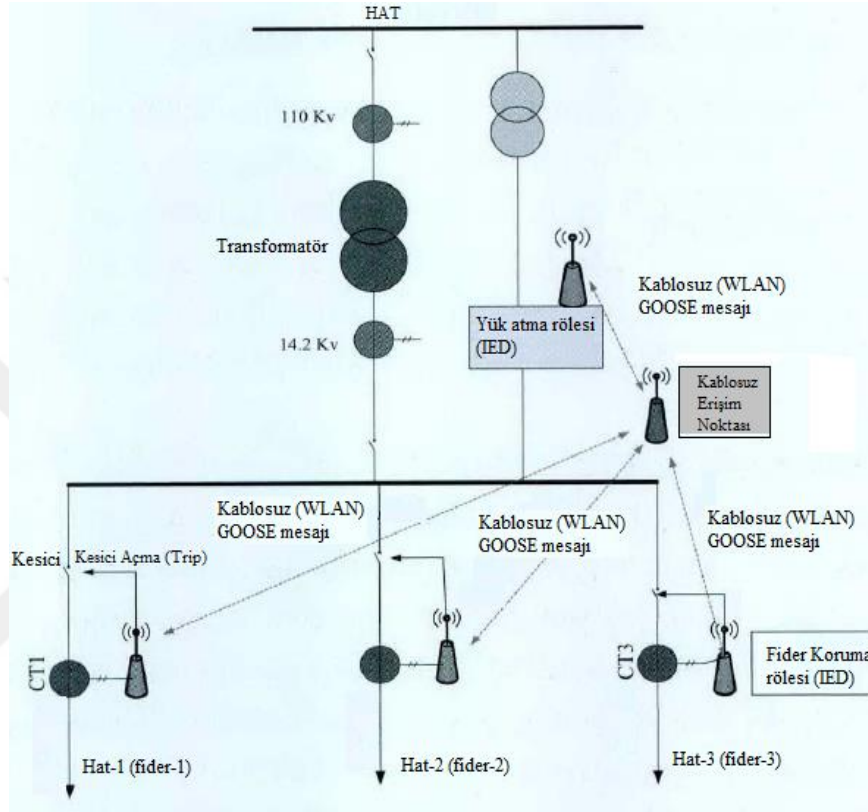
Bloklama mesajının 400ms içinde gönderilme zorunluluğu dikkate alındığında, bu haberleşme performansı uygundur. IEC 61850 tabanlı, trafo yedek koruma için mesafe koruma rölesi kullanılan geliştirilmiş bir işlem yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem ile trafonun gerisinde kesişim bölgesinde bir arıza oluştuğunda mesafe koruma rölesindeki aksama ve sorunların giderildiğini göstermektedir. Bu yöntemle, trafonun gerisindeki bölge kesişme problemini giderme yeteneğine sahiptir [33].

### 3.7. IEC 61850'in Yük Atma'da (Load Shedding) Uygulanması

Hat gerilim ve frekans değerleri kullanılarak bir istasyonda IEC 61850 tabanlı merkezi bir yük atma yapılabilir. GOOSE mesajlarıyla hangi fiderin açacağı veya hangi fiderin devreye alınacağı senaryosu otomatik yapılabilir. Burada merkezi bir koruma rölesi ve/veya IED bu görevi üstlenir.



Merkezi IED’de yazılan senaryoya göre Şekil 3.15’te 14.2 kV çıkış fiderlerinin yük atması planlanabilir. Bir gerilim veya frekans saptması durumunda senaryodaki yük atma çalıştırılarak GOOSE mesajı ile işlemler (kesici açma / kapatma emirleri) yerine getirilir. Şekil 3.15’teki uygulama kablosuz alan ağıyla tasarlanmış IEC 61850 tabanlı yük atmalı bir GOOSE mesajlaşma uygulamasıdır [34].



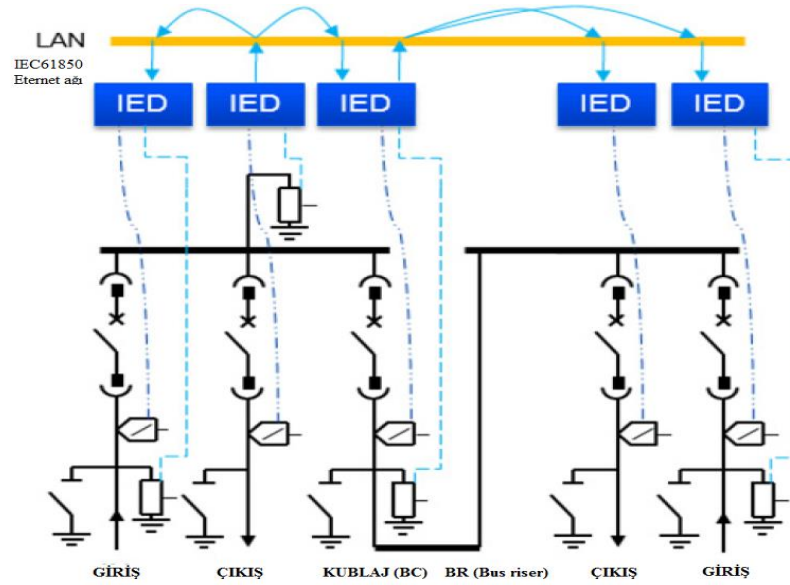
Şekil 3. 15. Kablosuz haberleşme ağındaki yük atma uygulaması [34]

### 3.8. IEC 61850’li Senkronizasyon Kontrol (Synchro-check) Uygulaması

Senkronizasyon kontrolün ana amacı elektrik ağındaki senkronizasyon şartları sağlanmadığında kesicinin kapatmasını engellemektir. Senkronizasyon kontrolü ile birbirine bağlanacak her iki kısmın gerilimi tam senkron oluncaya kadar kısımların birleşme işi (kublaj) gerçekleşmez. Hattın birinin enerjisiz olması durumunda da güvenli kapatmak için hattın enerjisiz olduğu doğrulanır [35].

Senkronizasyon kontrolü, gerilim farklılıklarını, faz açısı farklılıklarını ve frekanstaki kaymayı izleyerek kullanıcı tarafından ayarlanmış uygun kesici kapamalarını sağlar [35].

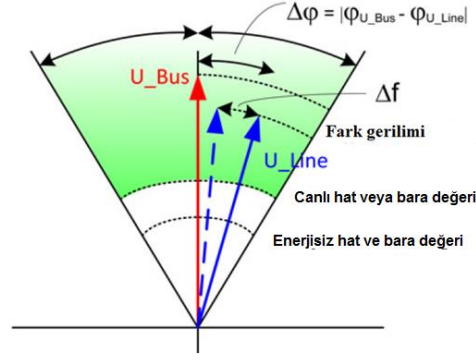
Şekil 3.16’da orta gerilimde giriş, çıkış fiderleri ve kublajın olduğu busbar örneği verilmiştir. IEC 61850’li LAN (yerel alan ağı) fiderler arasında sinyal gönderimi için kullanılır. Örneğin GOOSE mesajı kullanılarak fiderler arasında kilitleme ve bloklama yapılabilir. Busbar gerilimi ise IEC 61850 hattı üzerinden bir röleden diğer röleye alınır [35].



Şekil 3. 16. IEC 61850’nin senkronizasyon kontrolünde kullanımı [35]

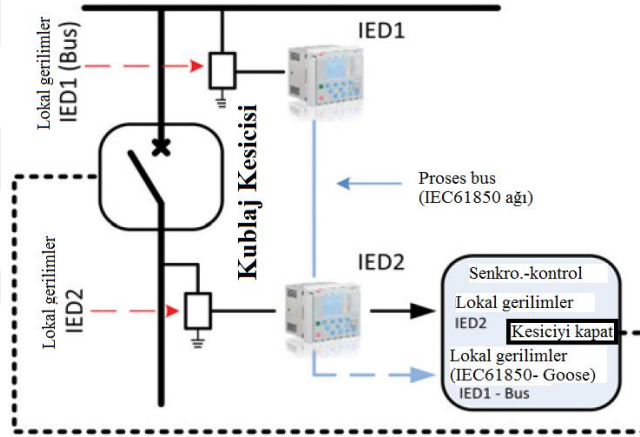
Senkronizasyon kontrol fonksiyonu ile gerilim, faz açısı, sistem frekansının kontrol edilerek senkronizasyon şartları oluştuğunda senkronizasyonu sağlayan kesicinin kapatması sağlanır. Enerjisiz hat tarafı için senkronizasyon kontrolü yapılmaz.

Bu uygulamada ölçüm bilgileri geleneksel sistemlerdeki gibi ölçüm cihazlarından alınmayıp bu bilgilerine sahip koruma rölesinden (IED) IEC 61850 GOOSE haberleşmesi yoluyla alınmıştır. Böylece sistem karmaşıklığı ve maliyeti azaltılmıştır. Şekil 3.17’de senkronizasyon kontrolünün fazör diyagramı gösterilmiştir [35].



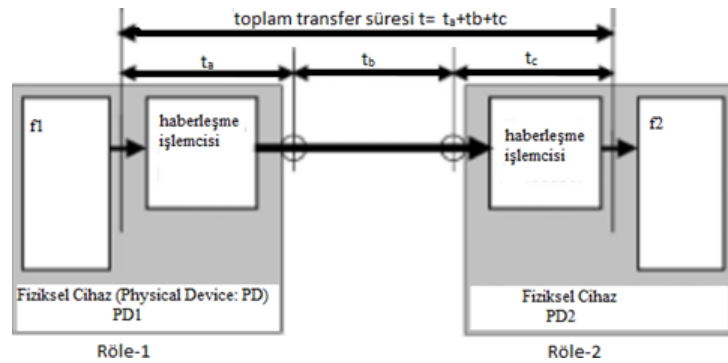
Şekil 3. 17. Senkronizasyon kontrolü fazör diyagramı [35]

Şekil 3.18’de senkronizasyonun GOOSE mesajı ile kontrolü ve senkronizasyon şartları oluştuğunda kesicinin kapatması şematik olarak gösterilmiştir [35].



Şekil 3. 18. IEC 61850’li senkronizasyon kontrol ile kublaj kesici kapatma [35]

IEC 61850 GOOSE haberleşmesinde sinyalin hedef röleden alınmasına kadar geçen süre Şekil 3.19’da görülmektedir.



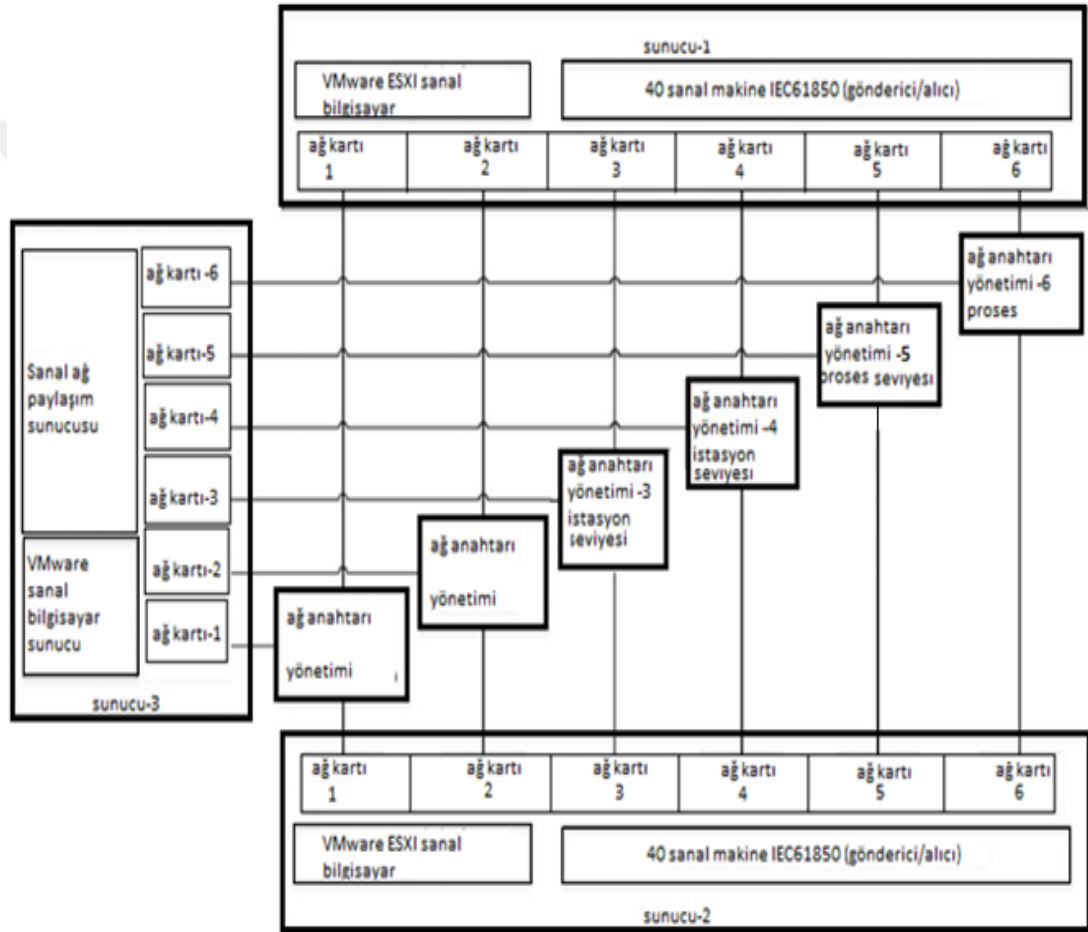
Şekil 3. 19. IEC 61850 GOOSE mesajı gönderiminde geçen süre [36]

$t_a$ : Röle-1'in GOOSE mesajını göndermesi için işlemcide harcanan süre (gönderici)

$t_b$ : Gönderici röleden alıcı röleye geçen süre

$t_c$ : GOOSE mesajını alınması için işlemcide harcanan süre (alıcı)

IEC 61850 haberleşmede röle haberleşme performanslarını tespit etmek için sanal bilgisayarlı ve sanal ağ kartlı haberleşme ile ölçümler yapılabilir. Şekil 3.20'de IEC 61850 sanal ağ sistemini göstermektedir. Burada IEC 61850 yedekliliği sanal sunucularla (VM: virtual machine) sağlanmıştır.



Şekil 3. 20. Sanal sunucu ve ağ kartlarıyla IEC 61850 sistem testi [36]

Pratikte bir optik IEC 61850 halkasındaki maksimum haberleşebilen röle sayısı:  $n$ , harici ethernet anahtarı sayısı olmak üzere;  $32 \cdot 2^n - 1$ 'dir. Bu sayı üretici firmalarda farklılık göstermektedir.

#### **4. IEC 61850 TABANLI KORUMA VE GOOSE MESAJI UYGULAMASI**

Bu uygulamada koruma rölelerinin birbirleriyle IEC 61850 ağında alışan GOOSE haberleşme alt protokolünde değişik senaryoları gerçekleştirilmiştir.

Uygulama-1: İki adet aşırı akım koruma rölesinin IEC 61850 GOOSE mesajıyla birbirlerine bilgi göndermesi incelenmiştir. Gerçek röle ve röle test cihazıyla yapılmıştır. Röle parametrelemede Siemens Digsı 4.92 ile IEC 61850 System Configurator V4.80, röle test cihazı simülasyonu için ise Omicron QuickCMC yazılımları kullanılmıştır. Siemens IEC 61850 Browser V3.0.4 yazılımı ile Goose mesajlarının senaryolara göre gönderildiği doğrulanmıştır.

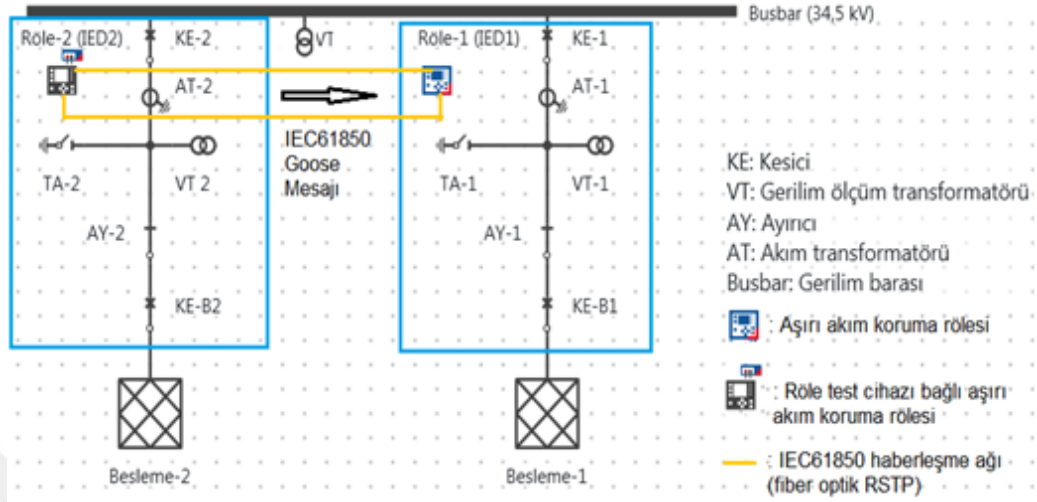
Uygulama-2: İki yönden beslemeli iki hatlı dört mesafe koruma röleli bir sistemde farklı bölgelerdeki faz-faz, faz toprak arızalarında GOOSE mesajı uygulaması ters kilitleme (reverse interlocking) uygulanmıştır. Modellemesi ve testi simülasyon test yazılımlarıyla yapılmıştır. Röle parametrelemede Siemens Digsı 4.92 ile IEC 61850 System Configurator V4.80, sistem modellemesinde Omicron Relay Sim Test 2.20 SR2, IEC 61850 sinyal testi için Omicron IEDScout 4.2 test yazılımları kullanılmıştır.

Uygulama-3: Üç terminalli bir sistemde üç adet mesafe koruma rölesinin hatlarda oluşacak arızalarda senaryolara göre davranışı incelenmiştir. Modellemesi ve testi simülasyon test yazılımlarıyla yapılmıştır. Röle parametrelemede Siemens Digsı 4.92 ile IEC 61850 System Configurator V4.80, sistem modellemesinde Omicron Relay Sim Test 2.20 SR2, IEC 61850 sinyal testi için Omicron IEDScout 4.2 test yazılımları kullanılmıştır.

##### **4.1. IEC 61850 GOOSE Bara Koruma Uygulaması**

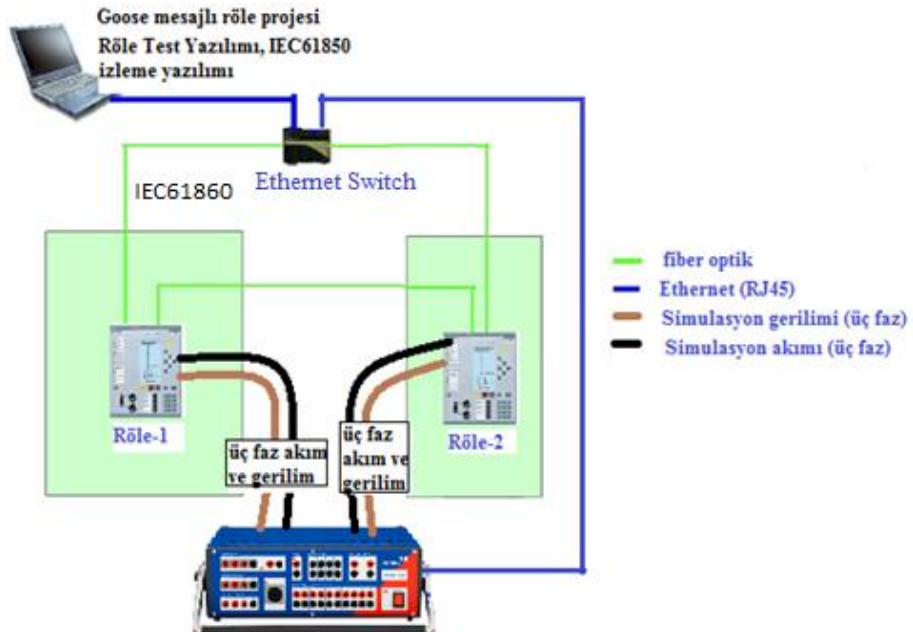
İki adet aşırı akım koruma rölesinin IEC 61850 GOOSE mesajıyla birbirlerine bilgi göndermesi incelenmiştir. Rölelerden birinin terminallerine röle test cihazıyla akım ve gerilim uygulanmıştır. Bir rölede ölçülen değerlerin, kesici, ayırıcı, topraklayıcı pozisyon bilgilerinin ve açma isteğinin IEC 61850 GOOSE mesajı ile başka bir

röleye gönderilmesi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen iki röleli GOOSE mesajı uygulaması Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



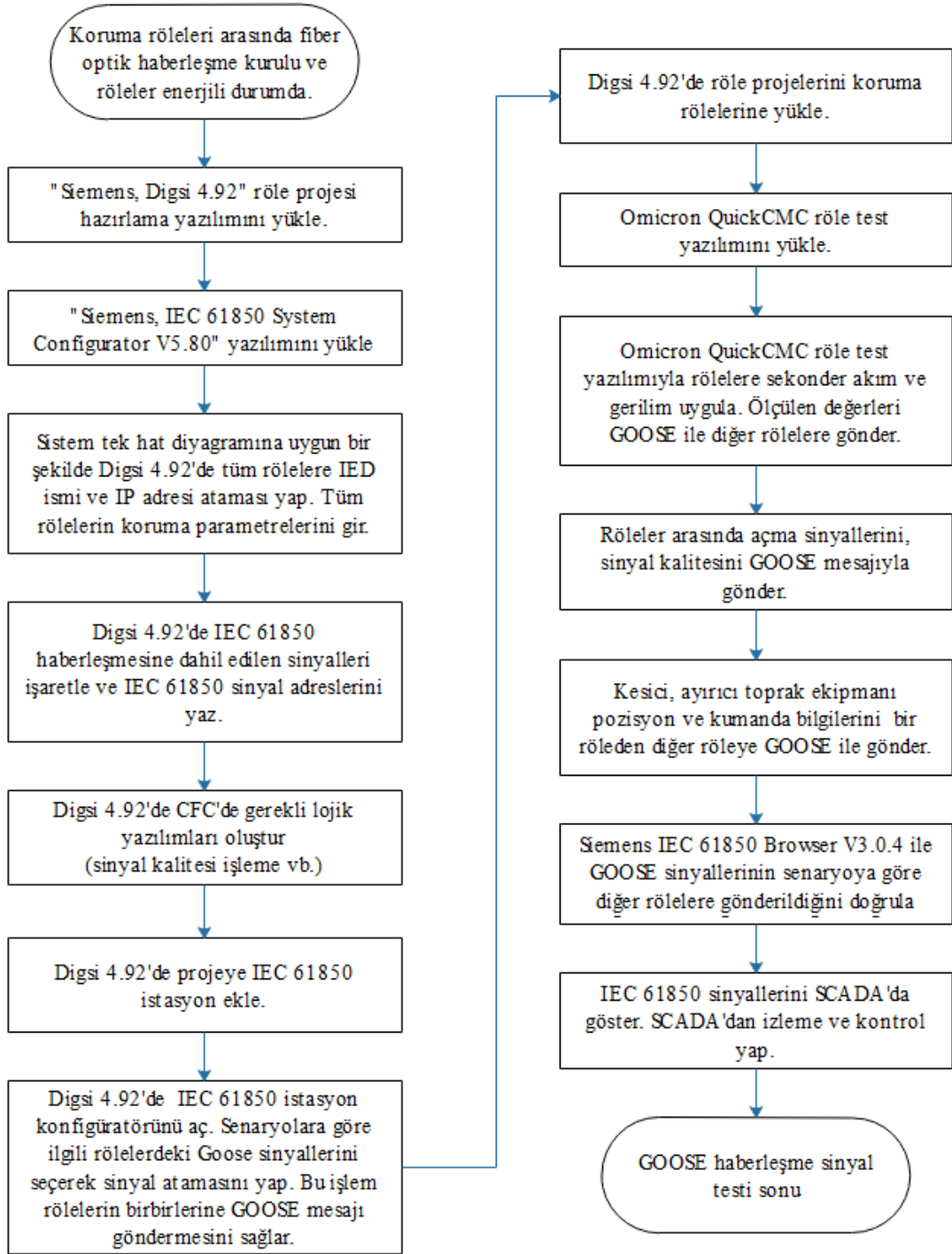
Şekil 4. 1. Busbar'a bağlı iki adet koruma rölesinde GOOSE mesajı uygulaması

Gerçek bir fiber optik haberleşme arızası sırasında IEC 61850 haberleşme portlarının davranışı incelenmiştir. IEC 61850 ve GOOSE mesajı uygulaması ile röleler (IED) arasında sinyal alışverişi doğrulanmış ve yüksek öncelikli “Hızlı Kapsayan (Genişleyen) Ağaç Protokolü (RSTP)” yapısı uygulaması yapılmıştır. Bu amaçla akım ve gerilim simülatörü kullanılmıştır. Haberleşme sistem donanımı Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



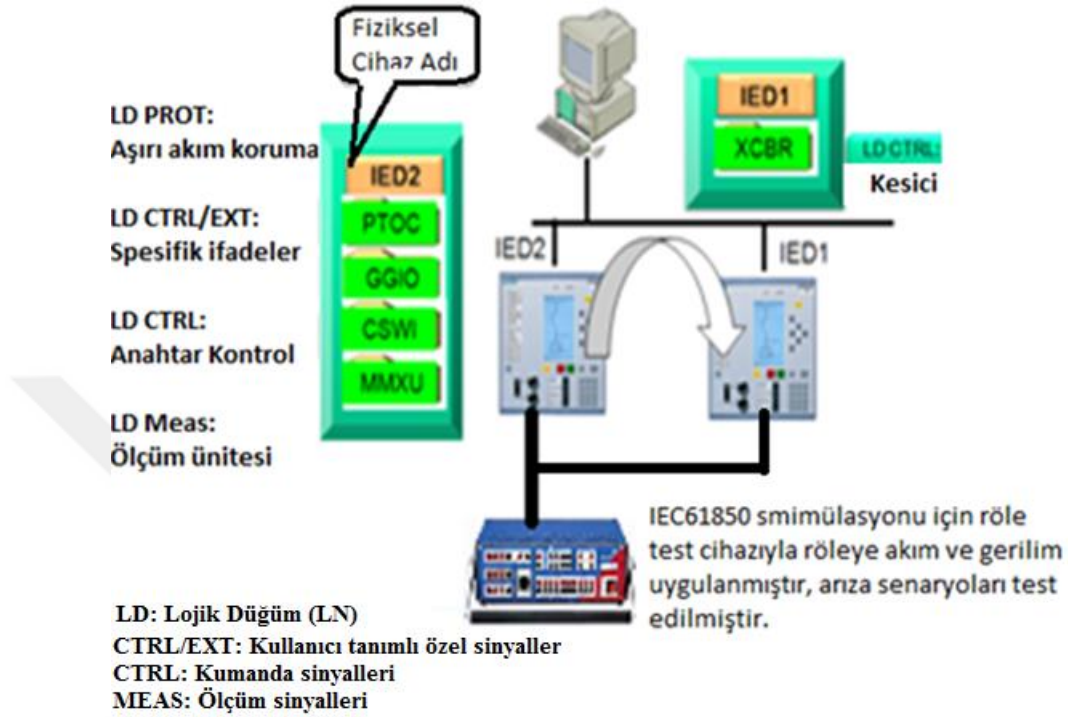
Şekil 4. 2. Busbara bağlı iki röle arasında GOOSE haberleşme ağı ve röle test cihazı

Uygulamada kullanılan yazılımlar ve akış diyagramı Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4. 3. Uygulama-1 test ortamı akış diyagramı

Gerçek bir akımın ve gerilimin röle test cihazıyla iki adet röleye uygulanması, röle-2'deki (IED2) ölçülen değerlerin IEC 61850 GOOSE mesajı ile röle-1'e (IED1) gönderilmesi Şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4. 4. GOOSE mesajı ile aşırı akım koruma kontrol ve ölçüm uygulaması

ANSI/IEEE Standard C37.2 Standardı elektrik güç sistemlerinde koruma röleleri ve kesici gibi cihazların özelliklerini tanımlayan kodlardır. Uygulamada kullanılan koruma rölelerin aktif edilen koruma fonksiyonları (ANSI kodları) aşağıdadır:

Röle-1: 27, 46, 49, 50, 50BF, 50N, 50Ns, 51, 51N, 59, 64, 67, 67-TOC, 67N, 67N-TOC, 67Ns, 74,

Röle-2: 46, 49, 50, 50BF, 50N, 50Ns, 51, 51N, 51Ns, 52, 67, 67-TOC, 67N, 67N-TOC, 67Ns, 74,

Uygulamada kullanılan rölelerdeki IEC 61850 fiber optik ethernet kartı Ek-2c'de görülmektedir.

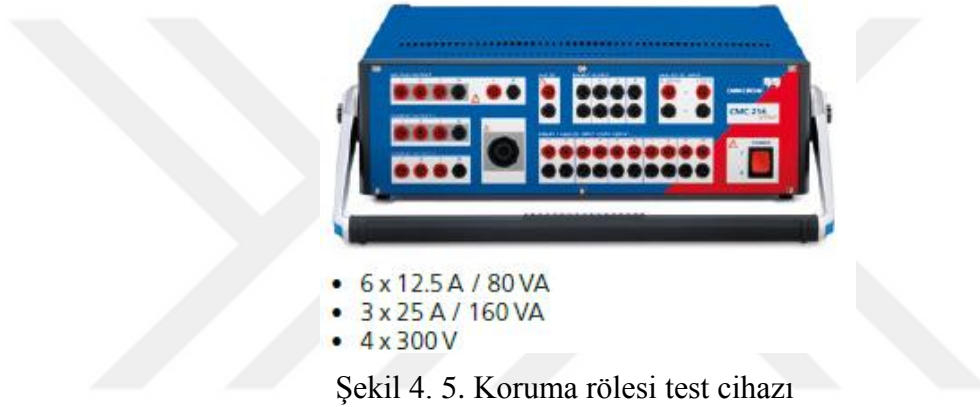
Uygulamada kullanılan röle test cihazının özellikleri aşağıdadır:

- Altı adet akım kaynağı mevcuttur.
- Dört adet gerilim kaynağı.



- Akım ve gerilim, frekans hem sabit hem de rampalı uygulanabilmektedir.
- Kesici açma, kapatma simülasyonu.
- Olayların oluş zamanını göstermesi (Aşırı akım trip, kesici açma).
- Faz - faz arızası, faz - toprak arızası simüle edilebilmektedir.

Akım ve gerilim kaynakları Şekil 4.5'te gösterilen röle test cihazına bağlı bilgisayardan simüle edilmektedir. Yeni versiyon röle test cihazları IEC 61850 sinyal simülasyonunu sağlayacak haberleşme portuna sahiptir. Bu durumda bir adet koruma rölesinin sinyal simülasyonu da test cihazıyla yapılabilir. Test cihazının akım gerilim çıkışları kablolarla röle-1 ve röle-2'ye bağlanmıştır.



Şekil 4. 5. Koruma rölesi test cihazı

- LC fiber optik kablo: Röleleri birbirine bağlayıp halka bağlantı yapmak için kullanılan fiber optik kablo.
- 110 VDC güç kaynağı: Test edilen koruma röleleri 110VDC beslemelidir. Harici 110VDC güç kaynağı ile koruma rölelerinin cihaz beslemesi sağlanmıştır.

Hazırlanan test düzeneğinde aşağıdaki durumlar test edilmiştir:

Durum-1:

Ölçülen değerlerin röle-2'den röle-1'e GOOSE ile gönderilmesi.

Durum-2:

Başlatma, açma ve röle haberleşme kalitesi sinyallerinin röle-2'den röle-1'e GOOSE ile gönderilmesi.

Durum-3:

Kesici, ayırıcı ve toprak ekipmanı pozisyon bilgilerinin röle-2'de simüle edilmesi ve röle-1'e röle-2 pozisyon bilgilerinin GOOSE ile gönderilmesi.

Durum-4:

Kesici ve ayırıcı kumanda sinyallerinin (açma-kapatma) röle-2'de simüle edilmesi ve röle-1'e bu sinyallerin GOOSE ile gönderilmesi.

Durum-5:

Durum bilgilerinin röle-2'de simüle edilmesi ve röle-1'e bu sinyallerin GOOSE ile gönderilmesi

Durum-6:

IEC 61850 haberleşme sinyallerinin scadada gösterilmesi

Durum-7:

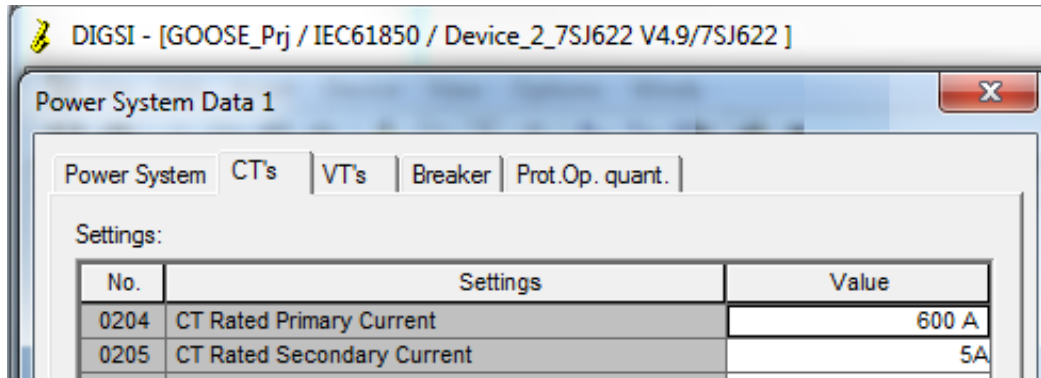
Fiber optik kabloda IEC 61850 haberleşme arızası oluşturulması ve sistemin IEC 61850 yedek (RSTP) üzerinden haberleştiğinin doğrulanması

Bu durumlar daha detaylı olarak aşağıda verilmiştir.

#### 4.1.1. Ölçülen değerlerin GOOSE ile röleden röleye gönderilmesi

Röle test cihazıyla test akım ve gerilimleri röle-2'nin akım (CT) ve gerilim (VT) terminallerine uygulanmıştır. Röle-2'deki ölçülen değerler GOOSE protokolü ile röle-1'e aktarılmış ve bu ölçüm değerleri röle-1 de koruma, bloklama ve gerilim senkronizasyonunda bara kublaj kesici açma ve kapatma uygulaması için kullanılmıştır [37].

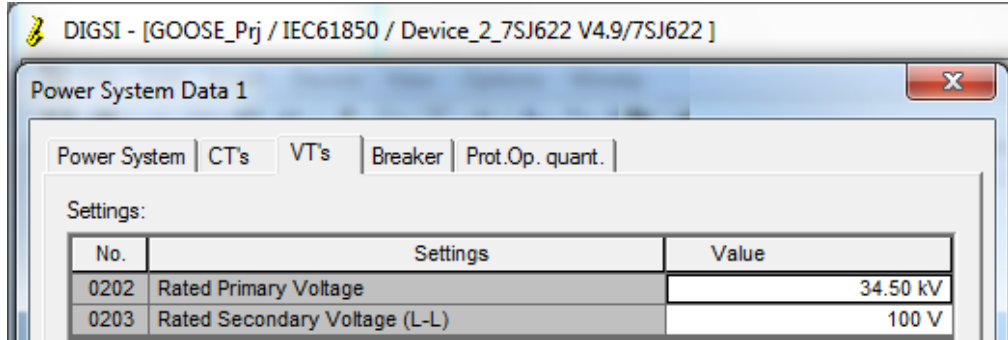
Koruma rölesinin akım trafosu primer (600 A) ve sekonder (5 A) ayar değerleri rölede Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



No.	Settings	Value
0204	CT Rated Primary Current	600 A
0205	CT Rated Secondary Current	5A

Şekil 4. 6. Röle-2 akım trafosu primer ve sekonder değerleri

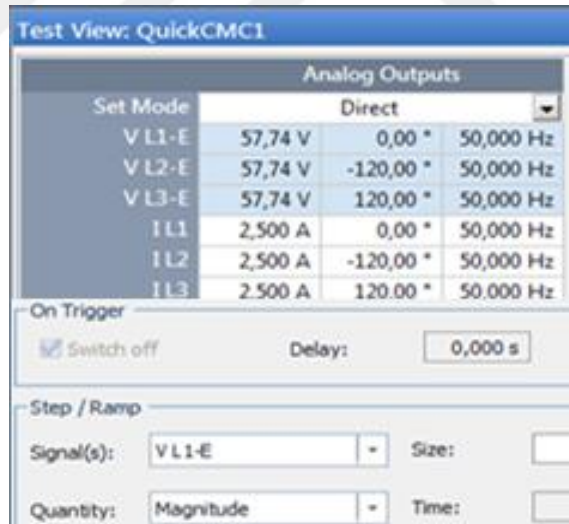
Koruma rölesindeki gerilimin primer ve sekonder değerleri Şekil 4.7’de görüldüğü gibi 34.5 kV / 100 V girilmiştir.



No.	Settings	Value
0202	Rated Primary Voltage	34.50 kV
0203	Rated Secondary Voltage (L-L)	100 V

Şekil 4. 7. Röle-2 gerilim trafosu primer ve sekonder değerleri

Röle akım trafosu primer/sekonder (600 A / 5 A) olduğundan, röle test cihazıyla rölenin akım klemenslerine 2.5 A akım uygulandığında bu primer tarafında 300 A’ e karşılık gelir. Röle test cihazında 2.5 A sekonder uygulandığı durum Şekil 4.8’de görülmektedir.  $V_{L1-E}$ ,  $V_{L2-E}$ ,  $V_{L3-E}$ ’de görülen 57.74 V sekonder gerilim, röledeki 100 V faz- faz sekonder gerilimine karşılık gelir ( $V_{L1-E} = 100/\sqrt{3} = 57.74$  V).



Set Mode	Value	Offset	Frequency
V L1-E	57,74 V	0,00 *	50,000 Hz
V L2-E	57,74 V	-120,00 *	50,000 Hz
V L3-E	57,74 V	120,00 *	50,000 Hz
I L1	2,500 A	0,00 *	50,000 Hz
I L2	2,500 A	-120,00 *	50,000 Hz
I L3	2,500 A	120,00 *	50,000 Hz

Şekil 4. 8. Röle test cihazından rölelere akım ve gerilim uygulama

Röle test cihazıyla her iki röleye faz akımı sekonder: 2.5A (primer 300 A) ve faz-faz gerilimi sekonder: 100V (primer: 34.5 kV) uygulanmıştır. Röle-2’ye uygulanan akım ve gerilim değerleri GOOSE mesajı ile Röle-1’e gönderilmiştir. Bu durum Şekil 4.9’da Röle-1 ölçülen ve GOOSE ile gelen değerler ekranında görülmektedir.

Operational values, primary -  
05.01.2018 - GOOSE\_Prj / IEC61850 / Device\_1\_75I808 V4.7/

Number	Measured value	Value
00601	Ia	300 A
00602	Ib	302 A
00603	Ic	300 A
00604	In	0 A
00831	3Io (zero sequence)	0 A
00605	I1 (positive sequence)	302 A
00606	I2 (negative sequence)	0 A
00621	Va	20,0 kV
00622	Vb	20,0 kV
00623	Vc	20,0 kV
00624	Va-b	34,6 kV
00625	Vb-c	34,6 kV
00626	Vc-a	34,6 kV
00627	VN	0,0 kV
00832	Vo (zero sequence)	0,0 kV
00629	V1 (positive sequence)	20,0 kV
00630	V2 (negative sequence)	0,0 kV
00641	P (active power)	18,1 MW
00642	Q (reactive power)	0,0 MVAR
00645	S (apparent power)	18,1 MVA
00901	Power Factor	1,00
00644	Frequency	50,0 Hz
30800	Voltage VX	.....
30801	Voltage phase-neutral	.....
00680	Angle Va-Ia	0 °
00681	Angle Vb-Ib	0 °
00682	Angle Vc-Ic	0 °
	Ia (Device 2)	299,3 A
	Ib (Device 2)	299,3 A
	Ic (Device 2)	299,3 A
	Va-b (Device 2)	34,5 kV
	Vb-c (Device 2)	34,5 kV
	Vc-b (Device 2)	34,5 kV

Röle-1 ölçülen değerler

Röle-2'den Röle-1'e  
gönderilen akım gerilim değer

Röle-1 cihazındaki  
Röle-1 ve Röle-2  
değerlerinin Röle  
izleme yazılımıyla  
görüntülenmesi

Şekil 4. 9. Akım gerilim simülatörü kullanarak ölçüm değer simülasyonu [37]

İstenen sinyalin veya ölçümün Röle-2'den Röle-1'e aktarılabilmesi için IEC 61850 GOOSE mesajı uygulamasında kaynak ve hedef sinyal eşleştirmesi (GOOSE mapping) yapılır.

Şekil 4.10'da IEC 61850 tabanlı GOOSE mesajında eşleştirme (mapping) yapılarak Röle-2'deki 50-1, 50N-1, 67-1 ANSİ kodlu arıza bilgileri Röle-1'de oluşturulan bu sinyallerin karşılıklarına bağlanmıştır.

GOOSE application

Röle-2 (50-1, 50N-1, 67-1)	Röle-1 (50-1, 50N-1, 67-1)
IED_Dev_2/PROT/PTOC8/Str ACD Protection/50-1/Pickup	
IED_Dev_2/PROT/PTOC8/Str/3-pole SPC Protection/50-1/Pickup/3-pole	IED_Dev_1/CTRL/D2501GGIO1/SPCSO1 Control/D2501GGIO1/50-1 Trip (Device 2)
IED_Dev_2/PROT/PTOC8/Str ACD Protection/50N-1/Pickup	
IED_Dev_2/PROT/PTOC8/Str/3-pole SPC Protection/50N-1/Pickup/3-pole	IED_Dev_1/CTRL/D250N1GGIO1/SPCSO1 Control/D250N1GGIO1/50N-1 Trip (Device 2)
IED_Dev_2/PROT/PTOC10/Str ACD Protection/67-1/Pickup	
IED_Dev_2/PROT/PTOC10/Str/3-pole SPC Protection/67-1/Pickup/3-pole	IED_Dev_1/CTRL/D2671GGIO1/SPCSO1 Control/D2671GGIO1/67-1 Trip (Device 2)

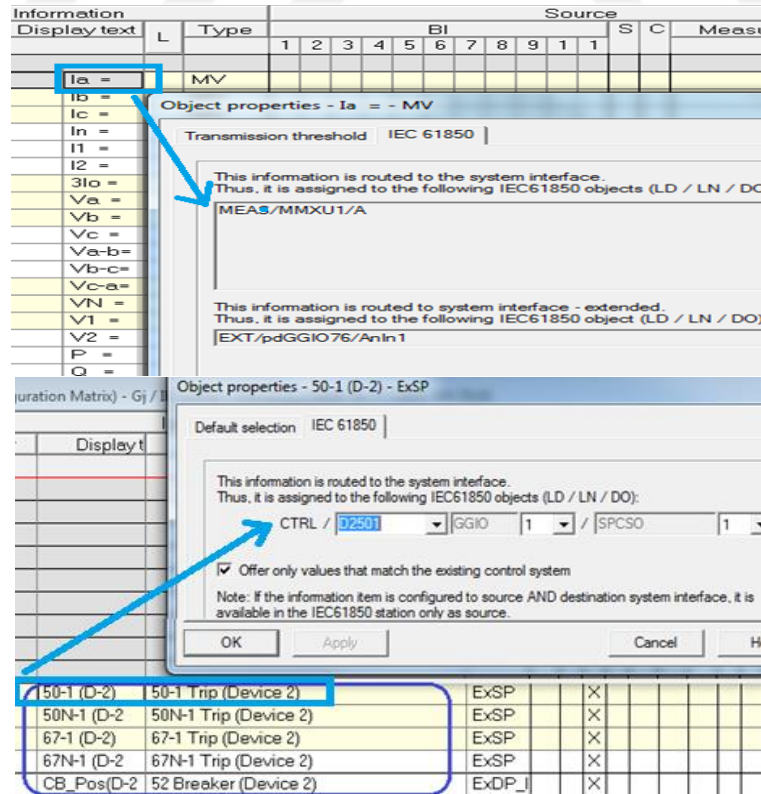
Şekil 4. 10. IEC 61850 sinyallerinin bir röleden diğer röleye atanması [37]

Ölçüm bilgileri, açma sinyalleri, kesici çiftli bilgi sinyali (açık/kapalı, ara/arıza, tekli bilgi sinyali vb.) IEC 61850 sinyali olarak tanımlanabilir. Uygulamada standart ve/veya kullanıcı tanımlı “genel mantıksal düğümler” de (GGIO) kullanılmıştır.

#### 4.1.2. Açma sinyallerinin GOOSE ile röleden röleye gönderilmesi

Röle-2 simülatörle başlatma ve açma akımları uygulanmıştır. Bunun için röle-2 nin akım ve gerilim terminallerine simülatör akım ve gerilimi kaynağı bağlanmıştır. Röle-2’de oluşan açma sinyalleri gözlemlenmiş olup (açma ANSI kodları: 50-1, 50N-1, 67-1, 67N-1 vb.) bu açma sinyallerinin başarılı bir şekilde röle-2’den GOOSE protokolü ile röle-1’e aktarıldığı doğrulanmıştır. Bu açma sinyalleri röle-1 de koruma, bloklama, blok açma için kullanılmıştır. Koruma rölelerinde farklı senaryolar için birden fazla parametre grubu kullanılabilir [37].

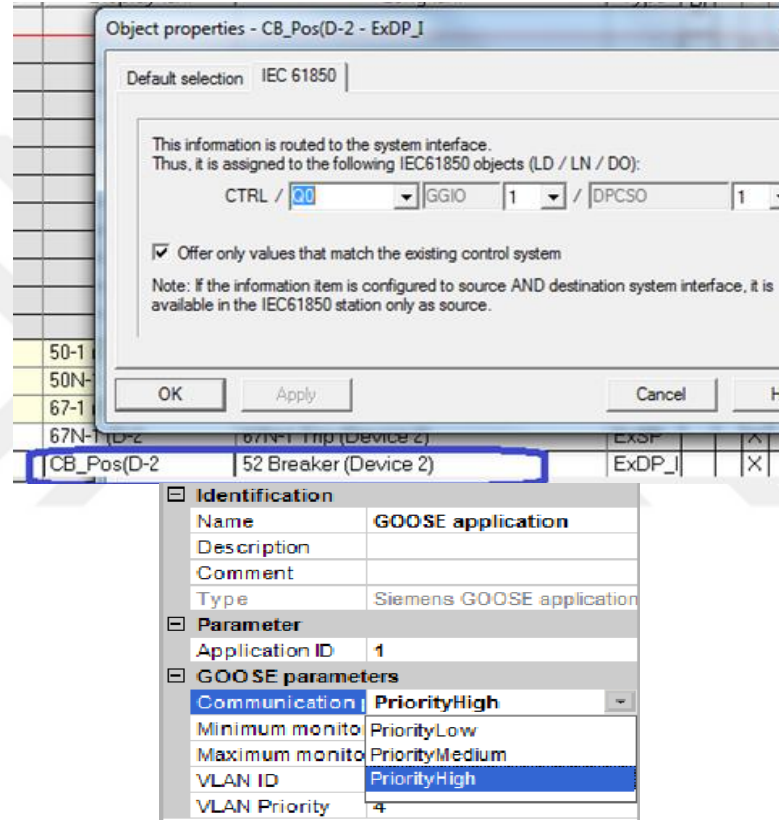
Her bir IEC 61850 rölesi, açma, blok, durum, pozisyon bilgi sinyallerini diğer rölelere gönderebilir [27]. IEC 61850 sinyali kaynak ve hedef olarak parametrelendirilmiştir. Şekil 4.11’de akım ölçümünün bir koruma rölesinde GOOSE mesajı için tanımlandığı görülmektedir.



Şekil 4. 11. IEC 61850 ölçüm sinyallerinin ve açma sinyallerinin tanımlanması [37]

GOOSE mesajları önceliklendirilebilir. Bu sayede IEC 61850 ethernet haberleşmesinde önemli sinyalleri bekletmeden alıcı röleye gönderme sağlanmış olur. Örneğin açma ve kesici pozisyon bilgileri yüksek öncelikli gönderilerek korumanın hatasız çalışması sağlanır.

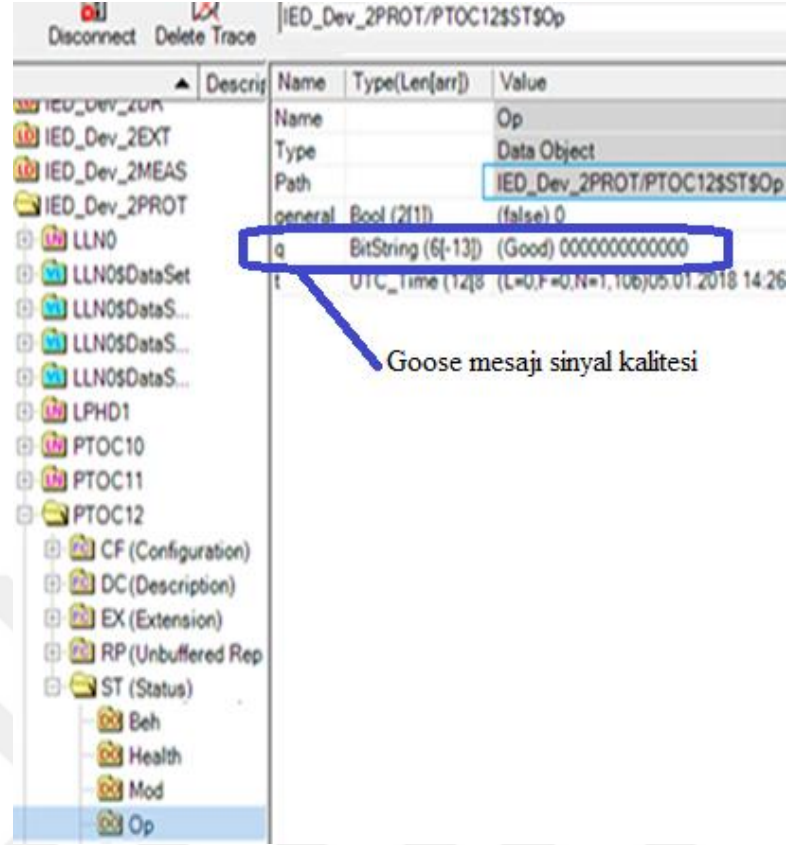
Sinyal önem seviyesi, düşük, orta ve yüksek öncelik olmak üzere üç tiptir. Öncelik seviyesini kullanıcı belirler. Şekil 4.12’de GOOSE sinyallerin önceliklendirilmesi görülmektedir.



Şekil 4. 12. Röle-2 kesici pozisyon bilgisinin Röle1’de tanımlanması ve sinyal önceliğinin atanması [37]

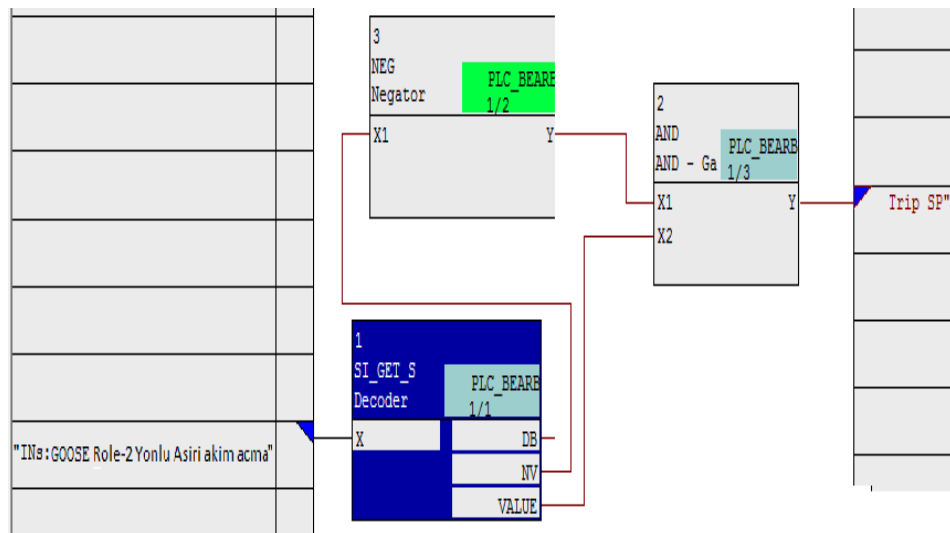
GOOSE sinyal kalitesi (q), iyi (good) veya kötü (bad) olabilir.

Sinyalin haberleşme kalitesi GOOSE haberleşme ağı kullanılarak gönderilmiştir. Şekil 4.13’te açma röle-2’den röle-1’e gönderilirken bu sinyal ile birlikte sinyalin haberleşme kalitesi de röle-1’e gönderilir. Sinyalin haberleşme kalitesinin iyi olması GOOSE haberleşmesiyle mesajın doğru alındığı anlamına gelir. Bu durum röle-1’e gelen sinyal kalitesi iyi olduğu sürece koruma ve diğer fonksiyonlar için kullanılabilir.



Şekil 4. 13. Yönlü aşırı akım bilgisinin IEC 61850 GOOSE mesajı ile gönderilmesi ve sinyal kalitesi [37]

Röle-2'den röle-1'e alınan sinyal kalitesi iyi değilse alınan sinyalin geçersiz olmasını sağlayacak yazılım Röle-1'de "sürekli fonksiyon diyagramında (CFC)" Şekil 4.14'te gösterildiği gibi uygulanmıştır. Bu lojikle geçersiz sinyallerin koruma fonksiyonlarında kullanılmaması sağlanmaktadır.



Şekil 4. 14. Yönlü aşırı akım sinyal kalitesinin işlenmesi

### 4.1.3. Ekipman pozisyon bilgilerinin GOOSE ile röleden röleye gönderilmesi

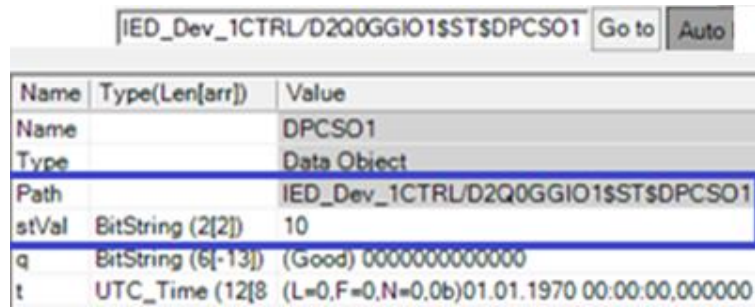
Röle-2’de kesici, ayırıcı ve topraklama pozisyonları röle binary giriş klemenslerinde simüle edilerek GOOSE mesaj ile röle-1’e gönderilmiş ve röle-1 de bu ekipmanların pozisyon bilgileri (açık, kapalı, ara, arıza pozisyon) doğru bir şekilde gözlemlenmiştir. Röle-1 ‘deki (hat1) kesici, röle-2’den gelen topraklama ekipmanı devrede pozisyon bilgisine göre kilitlemeye geçmiş ve kesici kapatma engellenerek ilave elektriksel koruma sağlanmıştır. Tablo 4.1’de çiftli bilgi sinyallerinin gözlenen durumları görülmektedir.

Bir kesici veya ayırıcının alabileceği pozisyonlar çiftli bilgi sinyali ile ifade edilir. Yüksek gerilimde çiftli bilgi sinyali kesici/ayırıcı ekipmanın durumunu tam anlamak için önemlidir. Tablo 4.1’de çiftli bilgi sinyalinin (double point information) durumları görülmektedir:

Tablo 4. 1. Çiftli bilgi sinyali olası durum matrisi

Röle dijital giriş -2 (kesici kapalı konum)	Röle dijital giriş 1 (kesici açık konum)	Kesici veya Ayırıcı durum bilgisi (çiftli bilgi sinyali)
lojik 0 (kapalı bilgisi yok)	lojik 0 (açık bilgisi yok)	Ara pozisyon (hatalı durum)
lojik 0 (kapalı bilgisi yok)	lojik 1 (açık bilgisi var)	Açık pozisyon (devre dışı)
lojik 1 (kapalı bilgisi var)	lojik 0 (açık bilgisi yok)	Kapalı pozisyon (devrede)
lojik 1 (kapalı bilgisi var)	lojik 1 (açık bilgisi var)	Arıza durumu (ne açık ne kapalı)

Kesici, ayırıcı, toprak ayırıcı bilgileri bir koruma rölesinden diğer koruma rölesine IEC 61850 ile gönderilmiştir. Tablo 4.1’e göre röle-2’den röle-1’e transfer edilen kesicinin kapalı pozisyonda olduğu bilgisi (stVal –status Value-: 10) Şekil 4.15’te görülmektedir.



Name	Type(Len[arr])	Value
Name		DPCSO1
Type		Data Object
Path		IED_Dev_1CTRL/D2Q0GGIO1\$ST\$DPCSO1
stVal	BitString (2[2])	10
q	BitString (6[-13])	(Good) 00000000000000
t	UTC_Time (12[8	(L=0,F=0,N=0,0b)01.01.1970 00:00:00,000000

Şekil 4. 15. Röle-2 kesici pozisyon bilgisinin Röle-1’e alınması [37]



#### 4.1.4. Kumanda sinyallerinin (açma-kapatma) GOOSE ile röleden röleye gönderilmesi

Kesici açma/kapatma komutu çiftli komut sinyali olarak Tablo 4.2'deki gibi tanımlanıp bir koruma rölesinden diğer koruma rölesine gönderilebilir.

Röle-2'de kesici, ayırıcı kumanda sırasında (açma-kapatma yapılırken) röle-2 binary çıkış klemenslerinde kumanda çıkışı doğrulanmış buna ait çiftli kumanda bilgi sinyali GOOSE mesaj ile röle-1'e gönderilmiştir. Röle-1'de kumanda anında sinyaller doğru bir şekilde görülmüştür.

Tablo 4. 2. Çiftli kumanda sinyali olası durum matrisi

Röle dijital giriş -2 (kesici kapat)	Röle dijital giriş 1 (kesici aç)	Kesici veya Ayırıcı açma/kapatma
lojik 0 (kapat komutu yok)	lojik 1 (aç komutu var, birkaç milisaniye süreli darbe)	Açma komutu (trip) aktif
lojik 0 (kapat komutu var, birkaç milisaniye süreli darbe)	lojik 1 (aç komutu yok)	Kapatma komutu devrede

#### 4.1.5. Cihaz durum bilgilerinin GOOSE ile röleden röleye gönderilmesi

Röle-2'de tekli durum sinyalleri (MCB –otomat attı-, UPS kesintisiz güç kaynağı gerilim seviye hatası vb.) röle binary giriş klemenslerinde simüle edilerek GOOSE mesaj ile röle-1'e gönderilmiş ve röle-1 de bu tekli bilgi durum sinyalleri (otomat atık, UPS arıza) doğru bir şekilde gözlemlenmiştir. Bu değerler röle-1'de kilitleme ve arıza takibi için kullanılmıştır. Koruma röleleri mevcut durumunu IEC 61850 haberleşme kanalıyla tüm diğer rölelere göndererek haberleşmenin sağlıklı olup olmadığı da garantilenmiş olur.

#### 4.1.6. IEC 61850 haberleşme sinyallerinin scadada gösterilmesi

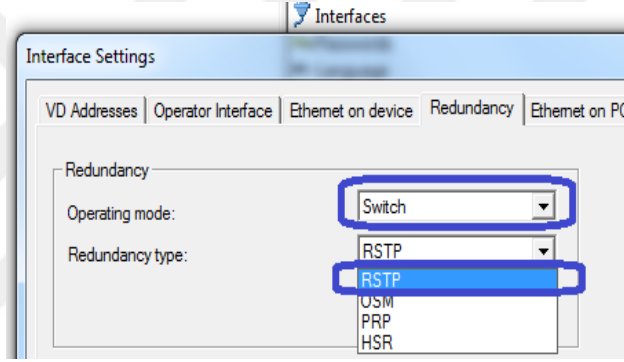
Durum 1-5'te belirtilen sinyaller mevcut IEC 61850 haberleşme ağı kullanılarak ağ üzerindeki scada bilgisayarına gönderilmiş ve scada bilgisayarından kumanda ve izleme başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

#### 4.1.7. IEC 61850 ile RSTP haberleşme yedekliliğinin sağlanması

GOOSE mesajları IEC 61850 haberleşmeyle gönderilir. Geleneksel koruma ile geleneksel olmayan IEC 61850 tabanlı koruma arasında aşağıdaki farklar vardır:

- IEC 61850’de herhangi bir röle birden fazla röledeki birçok ölçüm bilgisine erişebilir.
- IEC 61850’ye dahil herhangi bir röle istasyondaki diğer kesici konumları, trip bilgileri vb çok kolay bir şekilde erişir (GOOSE mesajı ile).

Şekil 4.16’da IEC 61850 cihazlarının ağdaki işletme modu (switch veya line) veya yedeklilik tipi görülmektedir. Fiber optik ring hatlarda RSTP yedeklilik için tercih edilir.



Şekil 4. 16. IEC 61850 RSTP fiber optik haberleşme yedekliliği ayarı [37]

RSTP, IEC 61850 haberleşmesinin fiziksel haberleşme arızası durumunda sürekliliğini ve rölelerin kesintisiz bilgi almasını sağlayan bir protokoldür.

RSTP, IEC 61850 röle haberleşme yedekliliğini şu şekilde sağlar: Başlangıçta IEC 61850 fiber optik hattında bir arıza olmadığını düşünelim. Bu durumda RSTP protokolü fiber optik hattın bir noktasını sanal başlangıç noktası olarak ana port tayin eder ve haberleşmeyi bu sanal noktadan sağlı sollu ikiye ayırır. Fiber optik hattındaki sanal RSTP halkası ayırma yeri sistemdeki cihazların “mac adres” sıralamasına ve cihaz önceliklerine (priority) göre otomatik olarak hesaplanır.

IEC 61850 fiber optik ethernet hattından rölelerin GOOSE mesajıyla haberleştiğini düşünelim. Haberleşme sırasında fiber optikte veya röle portlarında veya ethernet switch tarafında herhangi bir hata oluşursa sanal RSTP noktası hata olan noktaya otomatik taşınarak sistemin yedekliliği sağlanmış olur.

Tablo 4.3'te IEC 61850 haberleşme ağındaki mümkün olan RSTP port bilgilerini gösterir.

Tablo 4. 3. RSTP port durumu [38]

<b>RSTP (802.1w) Port Durumu</b>	<b>STP (802.1D) Port Durumu</b>	<b>Port Topolojide tanımlı mı?</b>	<b>Port MAC adresi öğrenir mi?</b>
(Forwarding) gönderme	(Forwarding) gönderme	Evet	Evet
(Discarding) ayırma	(Disabled) kullanım dışı	Hayır	Hayır
(Discarding) ayırma	(Blocking) bloklama	Hayır	Hayır
(Discarding) ayırma	(Listening) dinleme	Evet	Hayır
(Learning) öğrenme	(Learning) öğrenme	Evet	Evet

RSTP yedekliliği sağlamak için STP ana portunu ve STP atanmış portunu bloklamadan gönderme moduna otomatik alır. Ana port sistem için en uygun haberleşme noktasını ifade eder. Atanmış port ise bir sonraki IEC 61850 ağ segmentine bilgiyi transfer edecek ana port bilgisini içerir. Alternatif port ise ana port noktasına en uygun ikinci yolu tarifler. Eğer mevcut ana port haberleşme bağlantısını kaybederse alternatif port yedek port olur. Ayırma portu ise STP haberleşmesinin olduğunu ve diğer normal ağ trafiğinin engellendiği anlamına gelir. Gönderme portu ise portun hem STP hem de normal ağ haberleşmesini ilettiği anlamına gelir.

Şekil 4.17'de GOOSE örnek uygulamasında kullanılan röle cihaz isimleri, IP adresleri, ağ mask adresleri, cihaz MAC adresleri, cihaz tanımları, RSTP portun modu ve durumu, yedekli haberleşme kanallarının çalışıp çalışmadığı (up), hangi kanalın aktif olarak devrede olduğu (ch1: kanal1), ana, atanmış, gönderme, ayırma port durumları ve haberleşme arızası olan rölenin arıza (mac adresi: erişilemiyor) bilgileri görülmektedir.

Nr.	IED Name	IP address	Subnet mask	Gateway	MAC address	Description	UpTime	Mode	Type	Ch1	Ch2	Active	NTP Master
1	IED_Dev_1	192.168.0.101	255.255.255.0	0.0.0.0	B4-B1-5A-02-17-53	SIPROTEC4 EN100_O+ V04.29.01_01 Ed1	1h 16m 49s	switch	rstp	Up	Up	Ch1	Unknown
2	IED_Dev_2	192.168.0.102	255.255.255.0	0.0.0.0	00-09-8E-FD-0F-4A	SIPROTEC4 EN100_O V04.08.04_01	1h 15m 49s	switch	rstp	Up	Up	Ch1	Unknown
3	IED_Dev_3	192.168.0.103	255.255.255.0	0.0.0.0	Unknown								

Nr.	IED Name	IP address	OptLevel Ch1	OptLevel Ch2	RstpRole Ch1	RstpRole Ch2	RstpStat Ch1	RstpStat Ch2	Neighbor Ch1	Neighbor Ch2
1	IED_Dev_1	192.168.0.101	2464	2464	Root	Designated	Forwarding	Forwarding	94-B8-C5-5D-44-28	IED_Dev_2
2	IED_Dev_2	192.168.0.102	0	2464	Unknown	Root	Discarding	Forwarding	94-B8-C5-5D-44-27	IED_Dev_1

Yeşil: IEC61850'li IED cihaz istenen sürede ping (eternet haberleşme) yanıtı veriyor.  
Sarı: IEC61850'li IED cihaz istenen sürede ping (eternet haberleşme) yanıtı vermiyor.  
Kırmızı: IEC61850'li IED cihaz yanıt vermiyor (haberleşme bağlantısı yok, cihaz enerjisiz, cihaz tanımlı değil vb.)

Şekil 4. 17. IEC 61850 RSTP port durum bilgileri [37]

#### 4.2. İki Hatlı, Hat Başından Beslemeli Dört Röleli Mesafe Koruma Uygulaması

Bu uygulamada amaç koruma rölelerinin bölge kesişimlerinde doğru rölelerin açmasını sağlayacak ve diğer röleleri bloke edecek senaryoların GOOSE mesajı ile gerçekleştirmektir. Burada rölelerin geleneksel yöntemlerle koruma sağlayan uzak korumaları (teleprotection) devredışı bırakılarak bölge seçimleri ve açmalarının GOOSE ile yapılması önerilmiştir. Bu uygulamada gerçek cihaz kullanılmamıştır.

Cihaz modellemesi “RelaySimTest” simülasyon yazılımıyla ve senaryoların testi IEDScout simülasyon yazılımıyla yapılmıştır. Sistem modellemesinde bölge-1, bölge-2 ve bölge-3'te sistemde arıza yokken ve arıza varken her bir rölenin ölçtüğü kısa devre primer faz gerilimleri, primer faz akımları, primer empedans değerleri gözlemlenmiştir. Röle parametreleri Omicron IEDScout test yazılımına aktarılarak IEC 61850 GOOSE haberleşmesi ile farklı bölgelerdeki faz-toprak, faz-faz kısa devre senaryolarında sistemin davranışı incelenmiştir. Uygulamadaki empedans değerleri RelaySimTest yazılımının atadığı varsayılan değerlerdir.

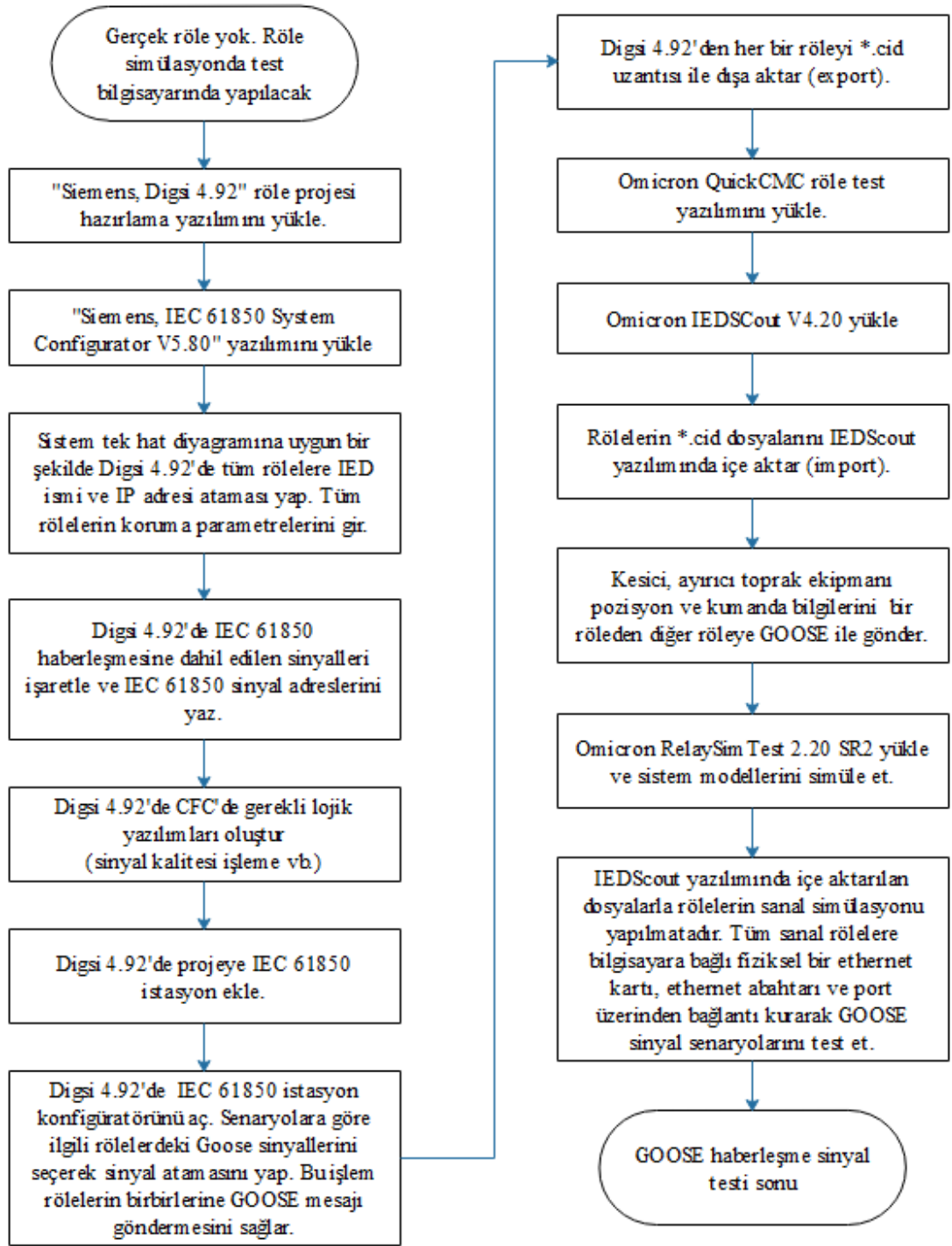
Hat-1 ( A-B arasındaki ölçüm transformatörleri arasındaki bölge ) bilgileri:

- Uzunluğu 32 km (% 100 = 32 km)
- Nominal akım: 600 A
- Topraklama: güçlü toprak bağlantısı (solidly grounding). Bu tür topraklamada nötr toprağa güçlü bağlıdır ve tek fazdaki arızada diğer sağlıklı fazların geriliminin artmaması hedeflenir.
- Hat empedansları olarak RelaySimTest yazılımının aşağıdaki varsayılan değerleri kullanılmıştır:
  - R1': 193 mΩ/km
  - X1': 400 mΩ/km
  - R0': 540.4 mΩ/km
  - X0': 1,12 Ω/km

Hat-2 ( B-C arasındaki ölçüm transformatörleri arasındaki bölge ) bilgileri:

- Uzunluğu 64 km (% 100 = 64 km)
- Gerilim seviyesi 132 kV
- Nominal akım: 600 A
- Topraklama: güçlü toprak bağlantısı
- Hat empedansları olarak RelaySimTest yazılımının aşağıdaki varsayılan değerleri kullanılmıştır:
  - R1': 193 mΩ/km
  - X1': 400 mΩ/km
  - R0': 540.4 mΩ/km
  - X0': 1,12 Ω/km
- Besleme-A:
  - 132 kV, Z=21.318Ω, 80.0°, Solidly grounded, SIR: 1.5, K=0.6
- Besleme-B:
  - 132 kV, Z=21.318Ω, 80.0°, Solidly grounded, SIR: 1.5, K=0.6

Uygulamada kullanılan yazılımlar ve akış diyagramı Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 18. Uygulama-2 test ortamı akış diyagramı

Empedans rölelerinin röle ayar değerleri örneği Ek-5'te verilmiştir.

#### 4.2.1. Mesafe koruma bölge hesabı

Röle-1 mesafe koruma bölgesinin hesabı:

$$1. \text{ Bölge empedansı} = \text{Hat-1'in } \% 80'i \times \sqrt{(R1'^2 + X1'^2)}$$

1. Bölge empedansı = % 80 x 32km x  $\sqrt{(R1'^2+X1'^2)}$  m $\Omega$ /km

1. Bölge empedansı = 25.6 x 444.13 m $\Omega$  = 11.37  $\Omega$

2. Bölge empedansı = (Hat-1'in %100'ü x  $\sqrt{(R1'^2+X1'^2)}$ )+  
(Hat-2'nin % 20'si x  $\sqrt{(R1'^2+X1'^2)}$ )

2. Bölge empedansı = (% 100 x 32) x 444.13 m $\Omega$  + (%20 x 64) x 444.13 m $\Omega$

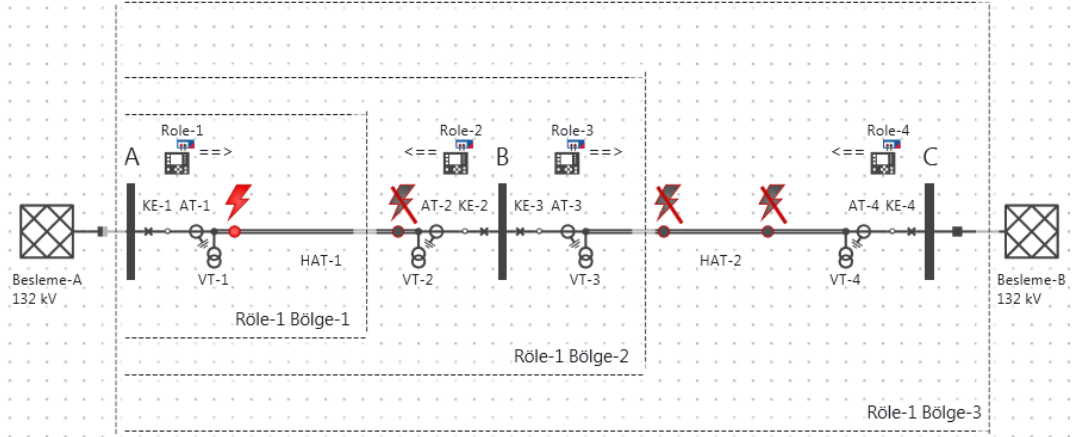
2. Bölge empedansı = 14212 m $\Omega$  + 5685 m $\Omega$  = 19.9  $\Omega$

3. Bölge empedansı = Hat-1'in %100'ü x  $\sqrt{(R1'^2+X1'^2)}$  +  
Hat-2'nin %100'ü x  $\sqrt{(R1'^2+X1'^2)}$

3. Bölge empedansı = 32 x 444.13 m $\Omega$  + 64 x 444.13 m $\Omega$  = 14212 m $\Omega$  + 28424 m $\Omega$

3. Bölge empedansı = 42.64  $\Omega$  olarak hesaplanır.

Röle-1 koruma yönü ok sembolüyle, koruma bölgeleri ise kesikli çizgiyle Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4. 19. İki hatlı dört röleli korumada Röle-1 koruma bölgeleri

Kısa devre arızasının sembolü Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 20. Simülasyon arıza sembolleri

Röle-2 mesafe koruma bölgesinin hesabı:

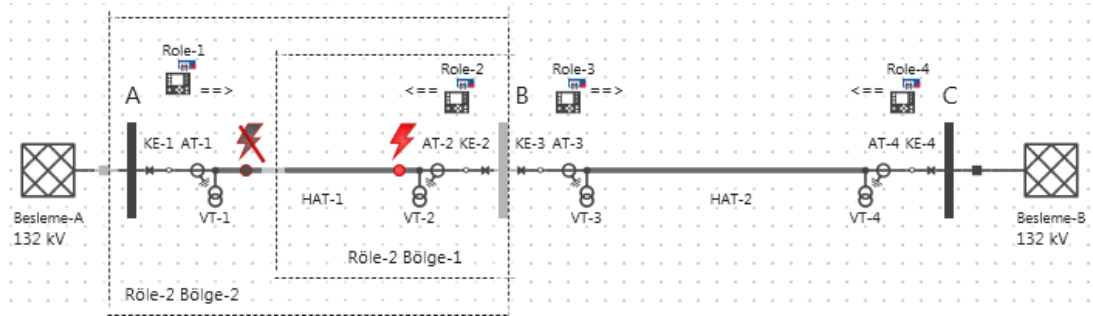
$$1. \text{ Bölge empedansı} = \text{Hat-1'in } \% 80'i \times \sqrt{(R1'^2 + X1'^2)}$$

$$1. \text{ Bölge empedansı} = 25.6 \times 444.13 \text{ m}\Omega = 11.37 \Omega$$

$$2. \text{ Bölge empedansı} = \text{Hat-1'in } \%100'ü \times \sqrt{(R1'^2 + X1'^2)}$$

$$2. \text{ Bölge empedansı} = 32 \times 444.13 \text{ m}\Omega = 14.2 \Omega$$

Röle-2'nin koruma yönü ve bölgeleri Şekil 4.21'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 21. İki hatlı dört röleli korumada Röle-2 koruma bölgeleri

Röle-3 koruma bölgesinin hesabı:

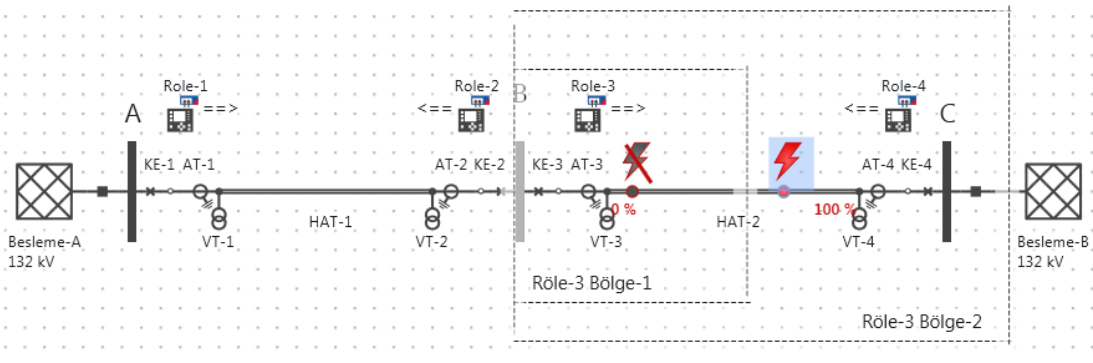
$$1. \text{ Bölge empedansı} = \text{Hat-2'nin } \% 80'i \times \sqrt{(R1'^2 + X1'^2)}$$

$$1. \text{ Bölge empedansı} = 51.2 \times 444.13 \text{ m}\Omega = 22.74 \Omega$$

$$2. \text{ Bölge empedansı} = \text{Hat-2'nin } \%100'ü \times \sqrt{(R1'^2 + X1'^2)}$$

$$2. \text{ Bölge empedansı} = 64 \times 444.13 \text{ m}\Omega = 28.4 \Omega$$

olarak hesaplanmış olup Röle-3 koruma yönleri ve bölgeleri Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 22. İki hatlı dört röleli korumada Röle-3 koruma bölgeleri



Röle-4 mesafe koruma bölgesinin hesabı:

$$1. \text{ Bölge Empedansı} = \text{Hat-2'nin } \% 80'i \times \sqrt{(R1'^2 + X1'^2)}$$

$$1. \text{ Bölge Empedansı} = 51.2 \times 444.13 \text{ m}\Omega = 22.74 \Omega$$

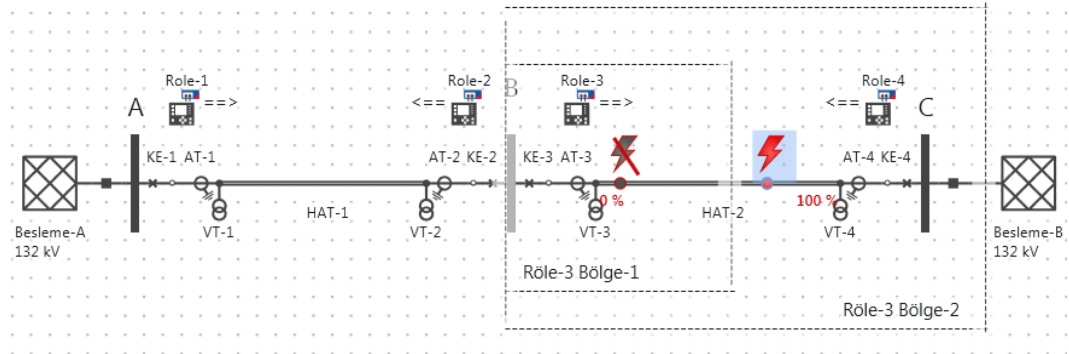
$$2. \text{ Bölge Empedansı} = \text{Hat-2'nin } \%100'ü \times \sqrt{(R1'^2 + X1'^2)} + \\ \text{Hat-1'in } \% 20'si \times \sqrt{(R1'^2 + X1'^2)}$$

$$2. \text{ Bölge Empedansı} = 64 \times 444.13 \text{ m}\Omega + 6.4 \times 444.13 \text{ m}\Omega = 31.23 \Omega$$

$$3. \text{ Bölge Empedansı} = \text{Hat-2'nin } \%100'ü \times \sqrt{(R1'^2 + X1'^2)} + \\ + \text{Hat-1'in } \%100'ü \times \sqrt{(R1'^2 + X1'^2)}$$

$$3. \text{ Bölge Empedansı} = 64 \times 444.13 \text{ m}\Omega + 32 \times 444.13 \text{ m}\Omega = 42.63 \Omega$$

Röle-4 koruma yönü ve bölgeleri Şekil 4.23'te gösterilmiştir.



Şekil 4. 23. İki hatlı dört röleli korumada Röle-4 koruma bölgeleri

#### 4.2.2. Mesafe korumada GOOSE haberleşmeyle açma ve bloklama

Burada amaç sadece arıza bölgesini en az sayıda kesici ve en hızlı şekilde açma ile kısa devre olan bölgenin sistemden ayrılmasını sağlamaktır.

Aynı yöne bakan iki koruma rölesinde (röle-1 ile röle-3 veya röle-2 ile röle 4) kısa devre arızasına uzakta olan rölenin 1. bölgesinin dışındaysa öncelikli açma arızaya yakın olan diğer rölededir. Arızaya yakın röle uzak röleye GOOSE mesajıyla bloklama göndererek arızanın kendi bölgesinde olduğunu ve açma önceliğine sahip olduğunu diğer röleye bildirerek onu bloke eder ve kendi kesicisini açtırır.

Önerilen senaryoda açma aşağıdaki sürelerde gerçekleşir:

Rölede 1. bölge başlatma var ve bloklama yoksa: beklemeden (0 ms),

Rölede 2. bölge başlatma var ve bloklama yoksa: t1 süresi sonunda (400 ms),  
Rölede 3. bölge başlatma var ve bloklama yoksa: t2 süresi sonunda (800 ms).

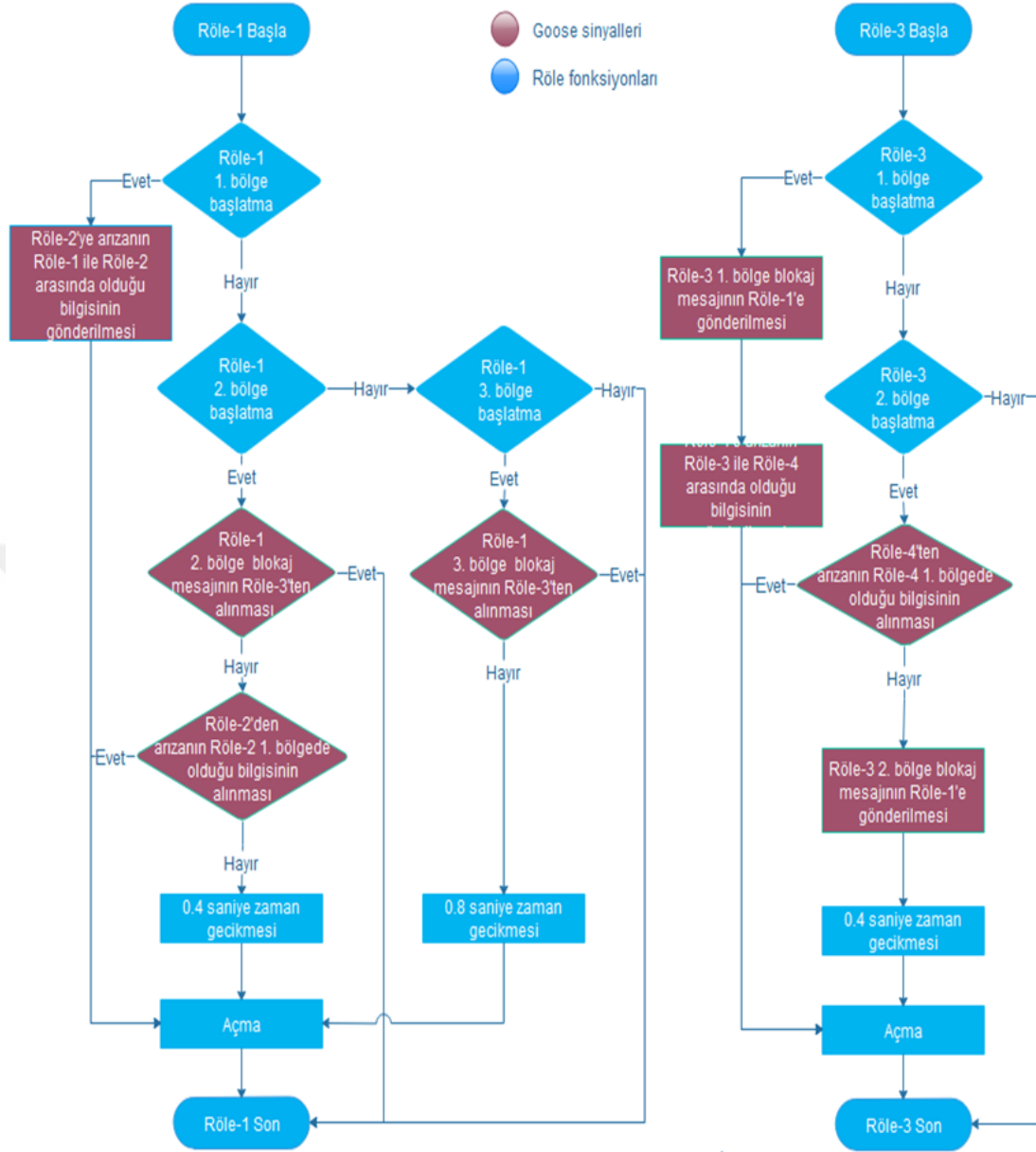
İkinci bölge arızasında bir özel durum vardır. Arıza rölenin 2. bölgesinde gerçekleşse bile diğer röle arızanın her iki röle arasındaki olduğunu GOOSE mesajıyla gönderirse 400 ms beklemeksizin her iki röle de hemen (0 ms) açma yapar.

GOOSE mesajlarının geçerli olması için mesaj sinyal kalitesinin iyi olması gerekmektedir. Rölede sürekli fonksiyon şemasında (CFC) GOOSE mesajlarının sinyal kalitesi kullanılmıştır. Bu, rölelerin sağlıklı bir şekilde haberleştiği ve korumanın GOOSE ile başarılı bir şekilde yapılacağını ifade eder.

GOOSE sinyal kalitesinin kötü olması rölelerin haberleşmesinde ve/veya mesajın iletilmesinde problem olduğu anlamına gelir. Sinyal kalitesinin iyi olmaması haberleşme donanımındaki arızadan (örneğin fiber optik kabloda deformasyon), GOOSE mesaj sinyalini gönderen rölenin arızalı olmasından veya GOOSE mesajının tanımlı olmamasından kaynaklanabilir.

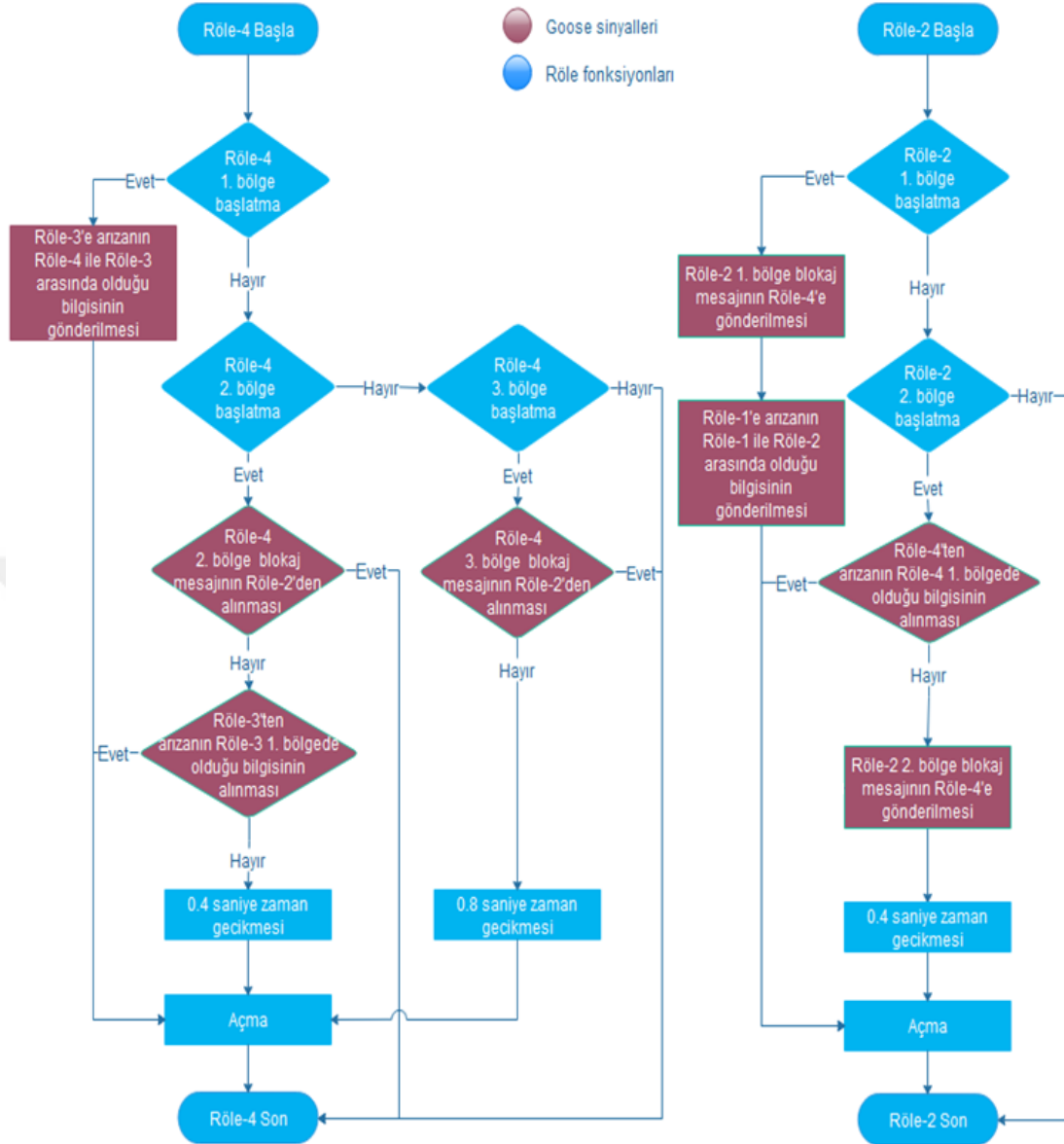
Arızaya yakın röle açamaması durumunda röle koruma parametrelerinde girilen süre sonunda (2. bölgede 400 ms, 3. Bölgede 800 ms) senaryoya uygun şekilde açar.

İki hatlı dört röleli korumada Röle1, Röle-3 ve Röle-4'ün GOOSE mesajlı akış diyagramı Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4. 24. GOOSE ile Röle-1, Röle-3 ve Röle-4'ün mesafe koruma akış diyagramı

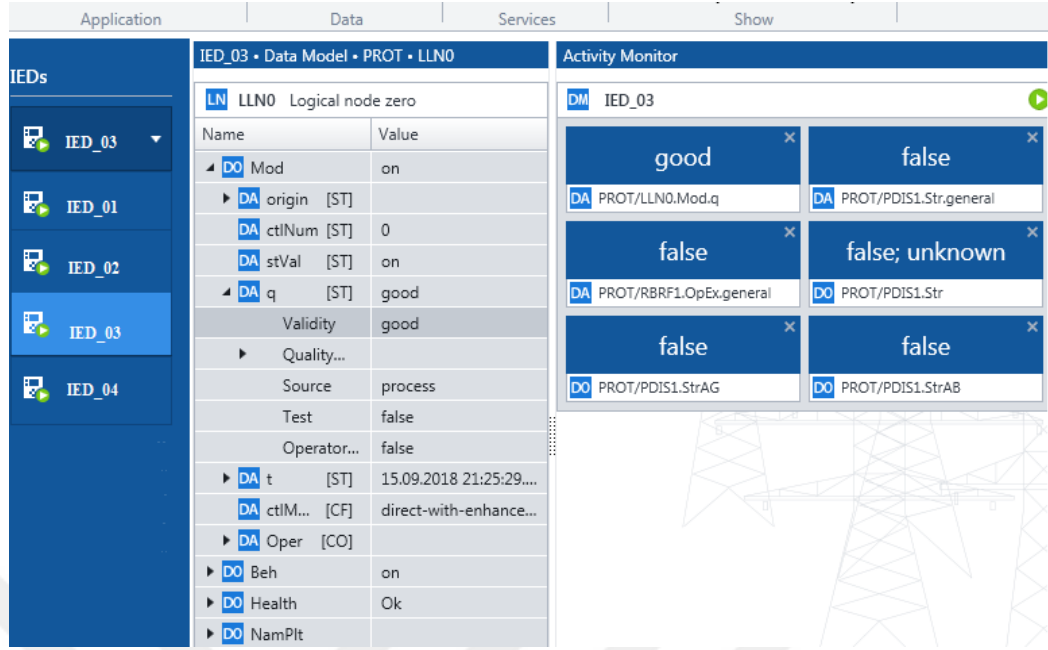
Aynı şekilde, iki hatlı dört röleli korumada Röle2, Röle-4 ve Röle-1'in GOOSE mesajlı akış diyagramı Şekil 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4. 25. GOOSE ile Rôle-2, Rôle-4 ve Rôle-1'in mesafe koruma akış diyagramı

Rölelerin GOOSE mesajı göndereceği röle projesi Şekil 4.24'deki ve Şekil 4.25'teki akış diyagramına göre oluşturulmuştur. Dört adet rölenin konfigürasyonu sc1, icd veya cid uzantısıyla dışa aktararak (export) Rôle-1, Rôle-2, Rôle-3 ve Rôle-4.cid dosyaları oluşturulmuştur.

Dışa aktarılan dosyalar IEDScout test yazılımında içe aktararak Şekil 4.26'da gösterildiği gibi sinyallerin simülasyonu sağlanmıştır. IEC 61850 ortamında GOOSE telegramlar GOOSE\_Inspector ve Wireshark izleme yazılımları ile izlenerek röleden röleye sinyal transferinin gerçekleştiği doğrulanmıştır.

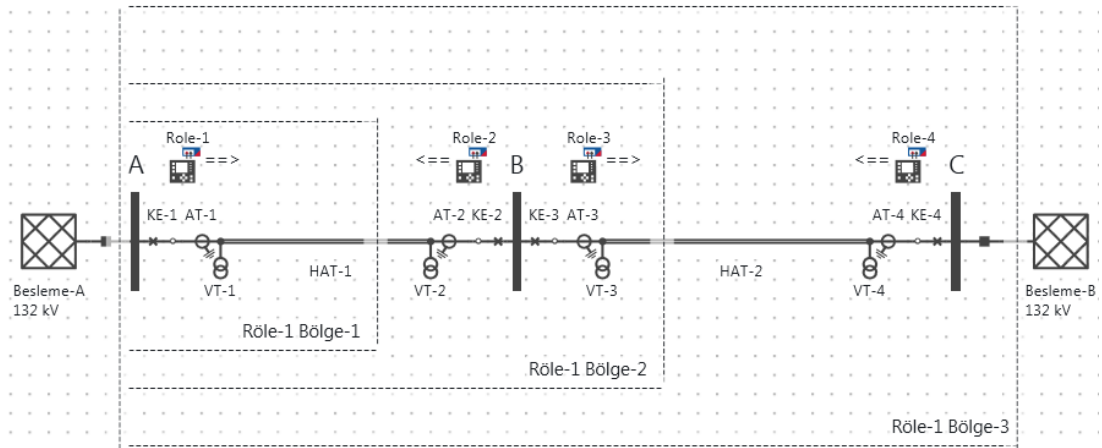


Şekil 4. 26. IED\_Scout ile sinyal simülasyonu

Simulasyon sonuçlarına göre sistem modellemesinin yapıldığı RelaySimTest yazılımında kesici pozisyonları el ile simule edilerek senaryolardaki duruma göre sistemden okuna akım, gerilim ve empedas değerleri görülmüştür. GOOSE mesajını kullanarak rölelerin korumalarının kesiştiği bölgede aşağıdaki senaryoların korunması GOOSE haberleşmesiyle gerçekleştirilmiş oldu.

#### 4.2.3. Senaryo-1, sistemde arıza yok

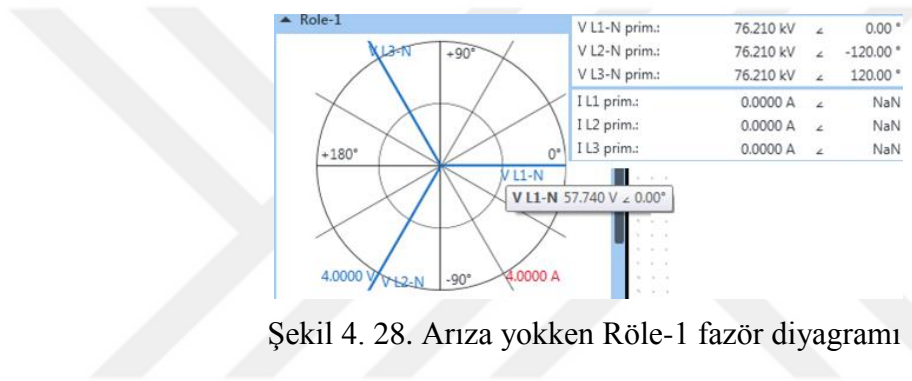
Sistemde kısa devre arızasının olmadığı durumdur. Bu durum Şekil 4.27'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 27. Sistemde arızanın olmadığı durum

- Kesiciler: Hepsi kapalı (devrede)
- Başlatma ve açma istekleri yok.
- Faz-faz gerilimleri: (primer / sekonder): 132 kV/ 100 V
- Faz-N gerilimi (primer) =  $132\text{kV}/\sqrt{3} = 132/1.73205 = 76.21 \text{ kV}$
- Faz-N gerilimi (sekonder) =  $100\text{V}/\sqrt{3} = 100/1.73205 = 57,74 \text{ V}$
- Faz-N gerilimleri (primer / sekonder): 76.21 kV / 57.74 V
- Faz akımları = 0 A
- Kısa devre arıza empedansları: Kısa devre yok ( $\infty$ )

Röle-1'in Fazör diyagramı Şekil 4.28'da gösterilmiştir.



Şekil 4. 28. Arıza yokken Röle-1 fazör diyagramı

Rölelerde ölçülen akım, gerilim ve empedans değerleri Şekil 4.29' da gösterilmiştir.

Role-1	Value	Unit	Angle
V L1-N prim.:	76.210 kV	∠	0.00 °
V L2-N prim.:	76.210 kV	∠	-120.00 °
V L3-N prim.:	76.210 kV	∠	120.00 °
I L1 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
I L2 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
I L3 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
Z L1-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L2-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L3-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L1-L2 prim.:	+∞	∠	NaN
Z L2-L3 prim.:	+∞	∠	NaN
Z L3-L1 prim.:	+∞	∠	NaN

Role-2	Value	Unit	Angle
V L1-N prim.:	76.210 kV	∠	0.00 °
V L2-N prim.:	76.210 kV	∠	-120.00 °
V L3-N prim.:	76.210 kV	∠	120.00 °
I L1 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
I L2 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
I L3 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
Z L1-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L2-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L3-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L1-L2 prim.:	+∞	∠	NaN
Z L2-L3 prim.:	+∞	∠	NaN
Z L3-L1 prim.:	+∞	∠	NaN

Role-3	Value	Unit	Angle
V L1-N prim.:	76.210 kV	∠	0.00 °
V L2-N prim.:	76.210 kV	∠	-120.00 °
V L3-N prim.:	76.210 kV	∠	120.00 °
I L1 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
I L2 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
I L3 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
Z L1-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L2-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L3-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L1-L2 prim.:	+∞	∠	NaN
Z L2-L3 prim.:	+∞	∠	NaN
Z L3-L1 prim.:	+∞	∠	NaN

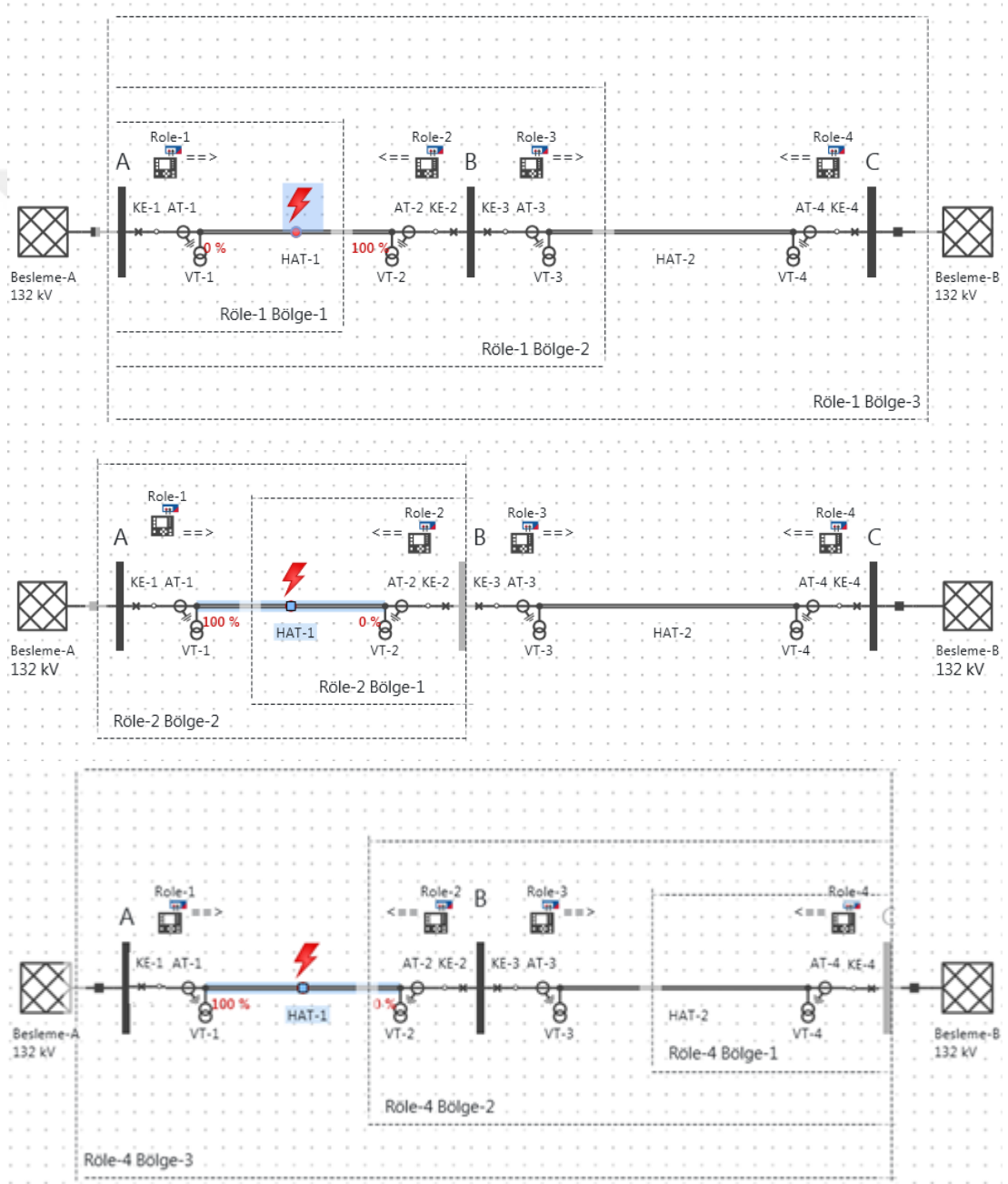
Role-4	Value	Unit	Angle
V L1-N prim.:	76.210 kV	∠	0.00 °
V L2-N prim.:	76.210 kV	∠	-120.00 °
V L3-N prim.:	76.210 kV	∠	120.00 °
I L1 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
I L2 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
I L3 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
Z L1-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L2-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L3-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L1-L2 prim.:	+∞	∠	NaN
Z L2-L3 prim.:	+∞	∠	NaN
Z L3-L1 prim.:	+∞	∠	NaN

Şekil 4. 29. Arızasız durumda ölçülen akım, gerilim ve empedans değerleri

#### 4.2.4. Senaryo-2 (hat-1'in %50'sinde L1-L2-L3-N arızası)

-Arıza; Röle-1 1.bölgede, Röle-2 1. bölgede, Röle-4 3. bölgededir.

Röle-2 1. Bölge arıza simülasyonu: Şekil 4.24'teki ve Şekil 4.25'deki akış diyagramına göre Röle-1 kesicisi (KE-1) ve Röle-2 kesicisi (KE-2) GOOSE haberleşme senaryosuyla açmıştır. Hat-1 %50'de L1-L2-L3-N arızasının rölelerin hangi koruma bölgesinde olduğu Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4. 30. Hat-1 %50'de L1-L2-L3-N arıza

Şekil 4.24'teki ve Şekil 4.25'deki senaryo uygulanır. Röle1 ve Röle-2 0ms'de açar. Bu durumda rölelerin ölçtüğü akım, gerilim ve empedans değerleri Şekil 4.31'de görülmektedir.

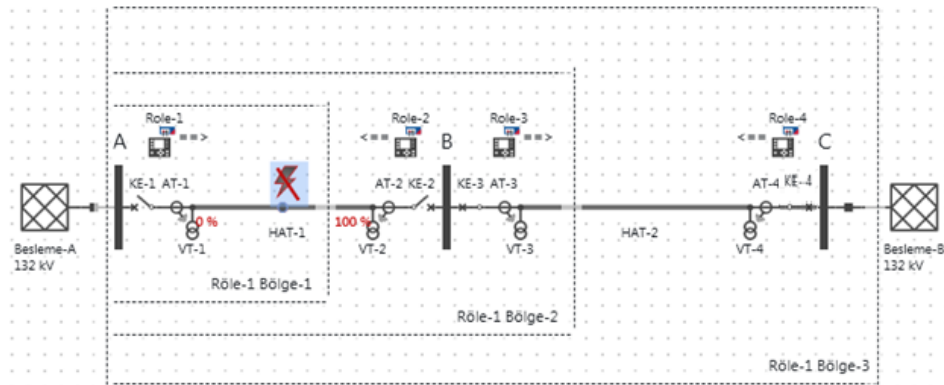
▲ Role-1			▲ Role-3		
V L1-N prim.:	19.188 kV	∠ -11.83 °	V L1-N prim.:	9.6134 kV	∠ -5.92 °
V L2-N prim.:	19.188 kV	∠ -131.83 °	V L2-N prim.:	9.6134 kV	∠ -125.92 °
V L3-N prim.:	19.188 kV	∠ 108.17 °	V L3-N prim.:	9.6134 kV	∠ 114.08 °
I L1 prim.:	2.7002 kA	∠ -76.07 °	I L1 prim.:	1.3525 kA	∠ 109.87 °
I L2 prim.:	2.7002 kA	∠ 163.93 °	I L2 prim.:	1.3525 kA	∠ -10.13 °
I L3 prim.:	2.7002 kA	∠ 43.93 °	I L3 prim.:	1.3525 kA	∠ -130.13 °
Z L1-N prim.:	7.1061 Ω	∠ 64.24 °	Z L1-N prim.:	7.1079 Ω	∠ -115.79 °
Z L2-N prim.:	7.1061 Ω	∠ 64.24 °	Z L2-N prim.:	7.1079 Ω	∠ -115.79 °
Z L3-N prim.:	7.1061 Ω	∠ 64.24 °	Z L3-N prim.:	7.1079 Ω	∠ -115.79 °
Z L1-L2 prim.:	7.1061 Ω	∠ 64.24 °	Z L1-L2 prim.:	7.1079 Ω	∠ -115.79 °
Z L2-L3 prim.:	7.1061 Ω	∠ 64.24 °	Z L2-L3 prim.:	7.1079 Ω	∠ -115.79 °
Z L3-L1 prim.:	7.1061 Ω	∠ 64.24 °	Z L3-L1 prim.:	7.1079 Ω	∠ -115.79 °

▲ Role-2			▲ Role-4		
V L1-N prim.:	9.6110 kV	∠ -5.89 °	V L1-N prim.:	48.057 kV	∠ -5.90 °
V L2-N prim.:	9.6110 kV	∠ -125.89 °	V L2-N prim.:	48.057 kV	∠ -125.90 °
V L3-N prim.:	9.6110 kV	∠ 114.11 °	V L3-N prim.:	48.057 kV	∠ 114.10 °
I L1 prim.:	1.3525 kA	∠ -70.13 °	I L1 prim.:	1.3525 kA	∠ -70.13 °
I L2 prim.:	1.3525 kA	∠ 169.87 °	I L2 prim.:	1.3525 kA	∠ 169.87 °
I L3 prim.:	1.3525 kA	∠ 49.87 °	I L3 prim.:	1.3525 kA	∠ 49.87 °
Z L1-N prim.:	7.1061 Ω	∠ 64.24 °	Z L1-N prim.:	35.532 Ω	∠ 64.24 °
Z L2-N prim.:	7.1061 Ω	∠ 64.24 °	Z L2-N prim.:	35.532 Ω	∠ 64.24 °
Z L3-N prim.:	7.1061 Ω	∠ 64.24 °	Z L3-N prim.:	35.532 Ω	∠ 64.24 °
Z L1-L2 prim.:	7.1061 Ω	∠ 64.24 °	Z L1-L2 prim.:	35.532 Ω	∠ 64.24 °
Z L2-L3 prim.:	7.1061 Ω	∠ 64.24 °	Z L2-L3 prim.:	35.532 Ω	∠ 64.24 °
Z L3-L1 prim.:	7.1061 Ω	∠ 64.24 °	Z L3-L1 prim.:	35.532 Ω	∠ 64.24 °

Şekil 4. 31. Hat-1'in %50'deki L1-L2-L3-N arızasında ölçülen değerler

Arıza sonrasında GOOSE haberleşmeli senaryoya göre KE-1 kesicisi ve KE-2 kesicisi Şekil 4.32'de gösterildiği gibi derhal (0 ms) açar. Röle-1 ve Röle-2 arasındaki bölge sistemden ayrılır. Hat-2 enerjili olmaya devam edecektir.



Şekil 4. 32. Hat-1'in %50'deki arızanın sistemden ayrılması



Hat-1 %50'deki arıza sistemden ayrıldıktan sonra ölçülen değerler Şekil 4.33'te görülmektedir.

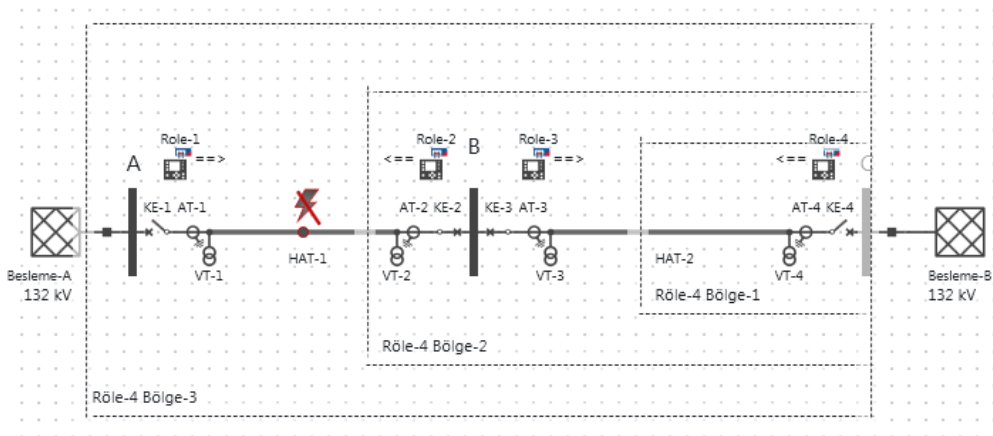
▲ Role-1			▲ Role-3		
V L1-N prim.:	76.130 V	∠ 0.00 °	V L1-N prim.:	76.210 kV	∠ 0.00 °
V L2-N prim.:	76.130 V	∠ -120.00 °	V L2-N prim.:	76.210 kV	∠ -120.00 °
V L3-N prim.:	76.130 V	∠ 120.00 °	V L3-N prim.:	76.210 kV	∠ 120.00 °
I L1 prim.:	0.0000 A	∠ NaN	I L1 prim.:	0.0000 A	∠ NaN
I L2 prim.:	0.0000 A	∠ NaN	I L2 prim.:	0.0000 A	∠ NaN
I L3 prim.:	0.0000 A	∠ NaN	I L3 prim.:	0.0000 A	∠ NaN
Z L1-N prim.:	+∞	∠ NaN	Z L1-N prim.:	+∞	∠ NaN
Z L2-N prim.:	+∞	∠ NaN	Z L2-N prim.:	+∞	∠ NaN
Z L3-N prim.:	+∞	∠ NaN	Z L3-N prim.:	+∞	∠ NaN
Z L1-L2 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L1-L2 prim.:	+∞	∠ NaN
Z L2-L3 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L2-L3 prim.:	+∞	∠ NaN
Z L3-L1 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L3-L1 prim.:	+∞	∠ NaN

▲ Role-2			▲ Role-4		
V L1-N prim.:	76.130 V	∠ 0.00 °	V L1-N prim.:	76.210 kV	∠ 0.00 °
V L2-N prim.:	76.130 V	∠ -120.00 °	V L2-N prim.:	76.210 kV	∠ -120.00 °
V L3-N prim.:	76.130 V	∠ 120.00 °	V L3-N prim.:	76.210 kV	∠ 120.00 °
I L1 prim.:	0.0000 A	∠ NaN	I L1 prim.:	0.0000 A	∠ NaN
I L2 prim.:	0.0000 A	∠ NaN	I L2 prim.:	0.0000 A	∠ NaN
I L3 prim.:	0.0000 A	∠ NaN	I L3 prim.:	0.0000 A	∠ NaN
Z L1-N prim.:	+∞	∠ NaN	Z L1-N prim.:	+∞	∠ NaN
Z L2-N prim.:	+∞	∠ NaN	Z L2-N prim.:	+∞	∠ NaN
Z L3-N prim.:	+∞	∠ NaN	Z L3-N prim.:	+∞	∠ NaN
Z L1-L2 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L1-L2 prim.:	+∞	∠ NaN
Z L2-L3 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L2-L3 prim.:	+∞	∠ NaN
Z L3-L1 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L3-L1 prim.:	+∞	∠ NaN

Şekil 4. 33. Hat-1'in %50'deki arızada Röle-1 ve Röle-2 kesicileri açırken ölçülen değerler

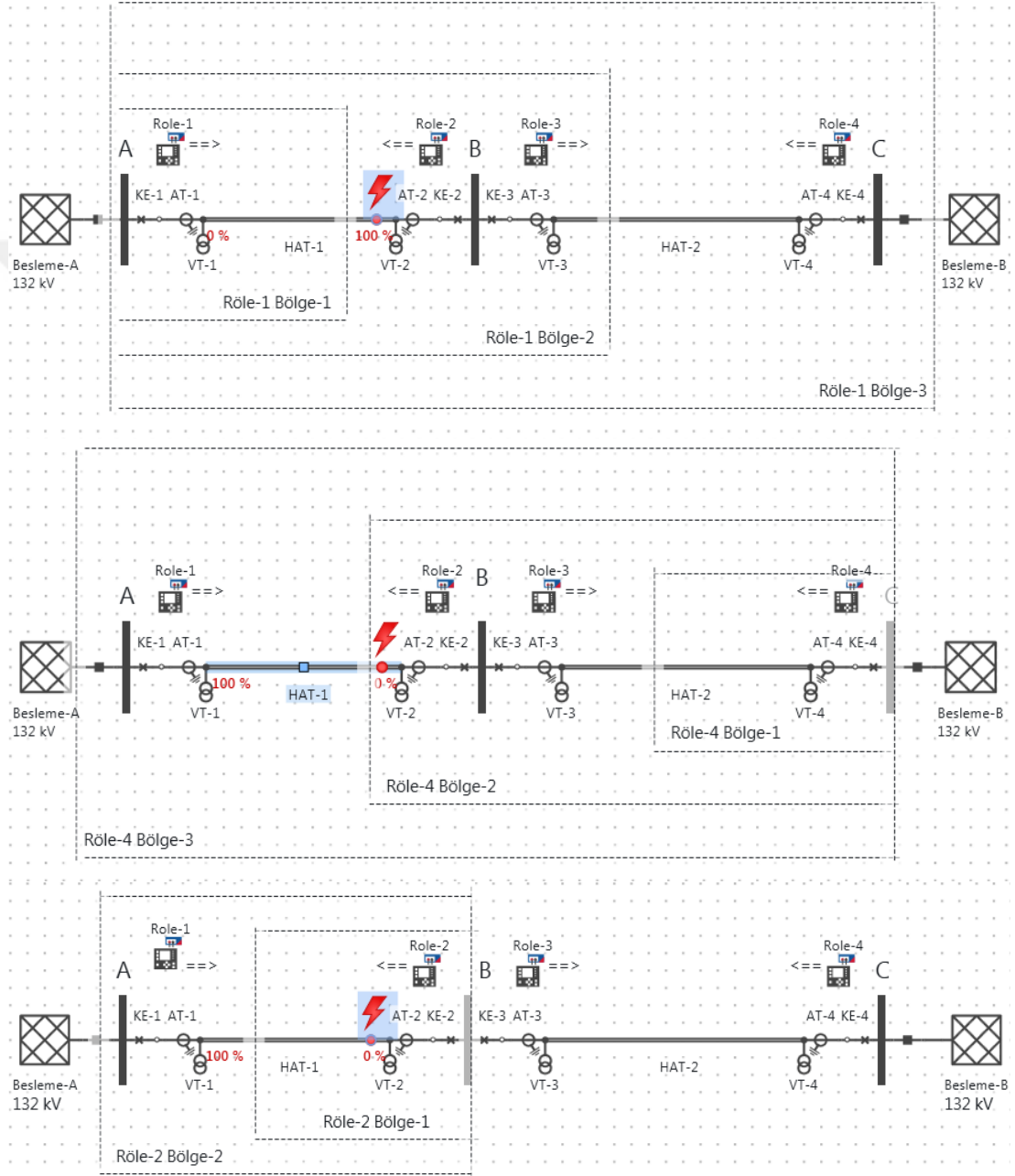
Röle-2 açma işlemi başarısız olursa 800 ms sonra Röle-4 3. bölge açma gerçekleştirecektir. Hat-1 ve Hat-2 sistemden Şekil 4.34'te görüldüğü gibi ayrılacaktır.



Şekil 4. 34. Hat-1'in %50'deki kısa devre arızasının sistemden ayrılması

#### 4.2.5. Senaryo-3 (röle-1 hat-1 %90, L1-N kısa devre arızası)

Beklenen durum, Röle-1 ve Röle-2 arasındaki bu arızada her iki rölenin de kesicilerini açtırmasıdır. Böylece faz-N arızası sistemden ayrılacaktır. Hat-1 Röle-1 %90'da L1-N arızasının rölelerin hangi koruma bölgesinde olduğu Şekil 4.35'te verilmiştir.



Şekil 4. 35. Hat-1 Röle-1 %90'da L1-N arıza

Hat-1 Röle-1 %90'da L1-N arıza durumunda ölçülen değerler Şekil 4.36'da görülmektedir.

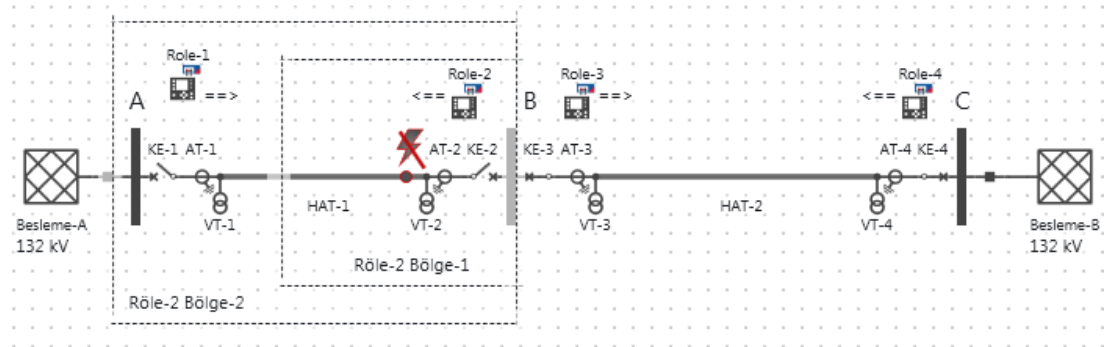
▲ Role-1			▲ Role-3		
V L1-N prim.:	28.834 kV	∠ -9.86 °	V L1-N prim.:	2.1382 kV	∠ -6.65 °
V L2-N prim.:	87.997 kV	∠ -129.55 °	V L2-N prim.:	93.325 kV	∠ -134.91 °
V L3-N prim.:	85.172 kV	∠ 131.14 °	V L3-N prim.:	93.192 kV	∠ 134.99 °
I L1 prim.:	1.4089 kA	∠ -74.10 °	I L1 prim.:	939.56 A	∠ 109.20 °
I L2 prim.:	0.0000 A	∠ NaN	I L2 prim.:	0.0000 A	∠ NaN
I L3 prim.:	0.0000 A	∠ NaN	I L3 prim.:	0.0000 A	∠ NaN
Z L1-N prim.:	12.791 Ω	∠ 64.24 °	Z L1-N prim.:	1.4224 Ω	∠ -115.85 °
Z L2-N prim.:	+∞	∠ NaN	Z L2-N prim.:	+∞	∠ NaN
Z L3-N prim.:	+∞	∠ NaN	Z L3-N prim.:	+∞	∠ NaN
Z L1-L2 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L1-L2 prim.:	+∞	∠ NaN
Z L2-L3 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L2-L3 prim.:	+∞	∠ NaN
Z L3-L1 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L3-L1 prim.:	+∞	∠ NaN

▲ Role-2			▲ Role-4		
V L1-N prim.:	2.1366 kV	∠ -6.56 °	V L1-N prim.:	44.868 kV	∠ -6.56 °
V L2-N prim.:	93.325 kV	∠ -134.91 °	V L2-N prim.:	84.322 kV	∠ -126.34 °
V L3-N prim.:	93.192 kV	∠ 134.99 °	V L3-N prim.:	81.258 kV	∠ 127.95 °
I L1 prim.:	939.56 A	∠ -70.80 °	I L1 prim.:	939.56 A	∠ -70.80 °
I L2 prim.:	0.0000 A	∠ NaN	I L2 prim.:	0.0000 A	∠ NaN
I L3 prim.:	0.0000 A	∠ NaN	I L3 prim.:	0.0000 A	∠ NaN
Z L1-N prim.:	1.4213 Ω	∠ 64.24 °	Z L1-N prim.:	29.847 Ω	∠ 64.24 °
Z L2-N prim.:	+∞	∠ NaN	Z L2-N prim.:	+∞	∠ NaN
Z L3-N prim.:	+∞	∠ NaN	Z L3-N prim.:	+∞	∠ NaN
Z L1-L2 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L1-L2 prim.:	+∞	∠ NaN
Z L2-L3 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L2-L3 prim.:	+∞	∠ NaN
Z L3-L1 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L3-L1 prim.:	+∞	∠ NaN

Şekil 4. 36. Hat-1 Röle-1 %90'deki L1-N arızasında ölçülen değerler

Şekil 4.24'teki ve Şekil 4.25'deki senaryoya göre Röle-1 ve Röle-2 kesicileri 0 ms'de açar. Bu durum Şekil 4.37'de görülmektedir.



Şekil 4. 37. Hat-1 Röle-1 %90'da L1-N arıza bölgesinin sistemden ayrılması

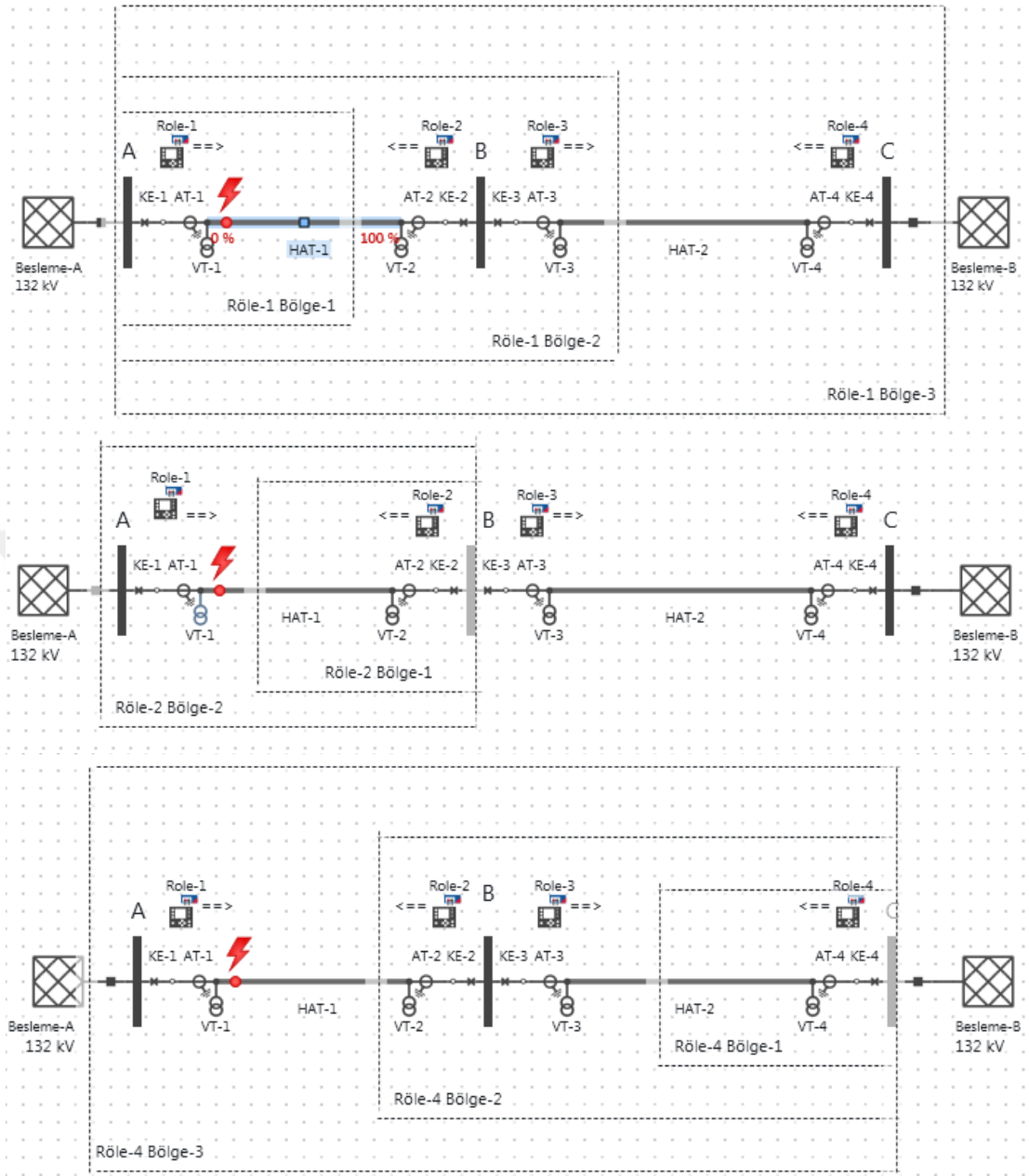
Arıza sistemden ayıldıktan sonra (Röle-1 ve Röle-2 kesicisi açık durumda) rölelerde ölçülen akım, gerilim ve empedans değerleri Şekil 4.38'de görülmektedir.

▲ Role-1				▲ Role-3			
V L1-N prim.:	0.0000 V	∠	NaN	V L1-N prim.:	76.210 kV	∠	0.00 °
V L2-N prim.:	0.0000 V	∠	NaN	V L2-N prim.:	76.210 kV	∠	-120.00 °
V L3-N prim.:	0.0000 V	∠	NaN	V L3-N prim.:	76.210 kV	∠	120.00 °
I L1 prim.:	0.0000 A	∠	NaN	I L1 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
I L2 prim.:	0.0000 A	∠	NaN	I L2 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
I L3 prim.:	0.0000 A	∠	NaN	I L3 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
Z L1-N prim.:	+∞	∠	NaN	Z L1-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L2-N prim.:	+∞	∠	NaN	Z L2-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L3-N prim.:	+∞	∠	NaN	Z L3-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L1-L2 prim.:	+∞	∠	NaN	Z L1-L2 prim.:	+∞	∠	NaN
Z L2-L3 prim.:	+∞	∠	NaN	Z L2-L3 prim.:	+∞	∠	NaN
Z L3-L1 prim.:	+∞	∠	NaN	Z L3-L1 prim.:	+∞	∠	NaN
▲ Role-2				▲ Role-4			
V L1-N prim.:	0.0000 V	∠	NaN	V L1-N prim.:	76.210 kV	∠	0.00 °
V L2-N prim.:	0.0000 V	∠	NaN	V L2-N prim.:	76.210 kV	∠	-120.00 °
V L3-N prim.:	0.0000 V	∠	NaN	V L3-N prim.:	76.210 kV	∠	120.00 °
I L1 prim.:	0.0000 A	∠	NaN	I L1 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
I L2 prim.:	0.0000 A	∠	NaN	I L2 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
I L3 prim.:	0.0000 A	∠	NaN	I L3 prim.:	0.0000 A	∠	NaN
Z L1-N prim.:	+∞	∠	NaN	Z L1-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L2-N prim.:	+∞	∠	NaN	Z L2-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L3-N prim.:	+∞	∠	NaN	Z L3-N prim.:	+∞	∠	NaN
Z L1-L2 prim.:	+∞	∠	NaN	Z L1-L2 prim.:	+∞	∠	NaN
Z L2-L3 prim.:	+∞	∠	NaN	Z L2-L3 prim.:	+∞	∠	NaN
Z L3-L1 prim.:	+∞	∠	NaN	Z L3-L1 prim.:	+∞	∠	NaN

Şekil 4. 38. Hat-1 Röle-1 %90'da arızalı bölge sistemden ayrıldığındaki değerler

#### 4.2.6. Senaryo-4 (röle-1 hat-1 %10'da L2-L3 kısa devre arızası)

Röle-1 ve Röle-2 arasındaki arızada beklenen durum, her iki rölenin de kesicilerini açtırmasıdır. Böylece faz-faz arızası sistemden ayrılacaktır. Şekil 4.39'da gerçekleşen faz-faz arızasının rölelerinin hangi mesafe koruma bölgelerine düştüğü görülmektedir.



Şekil 4. 39. Hat-1 Röle-1 %10'da L2-L3 kısa devre arızası

Hat-1 Röle-1 %10'daki faz-faz arızasında rölelerin ölçtüğü akım, gerilim ve empedans değerleri Şekil 4.40'da görülmektedir. L1 (1. faz) empedans değeri normal görülmekte ( $\infty$ ), L2 ve L3 empedansları ise arıza empedanslarına sahiptir. Koruma rölesi arıza empedanslarını algıladığında koruma rölesinde girilmiş parametrelere göre röle bölge başlatmaları Şekil 4.24'teki ve Şekil 4.25'deki senaryolara göre devreye girer.

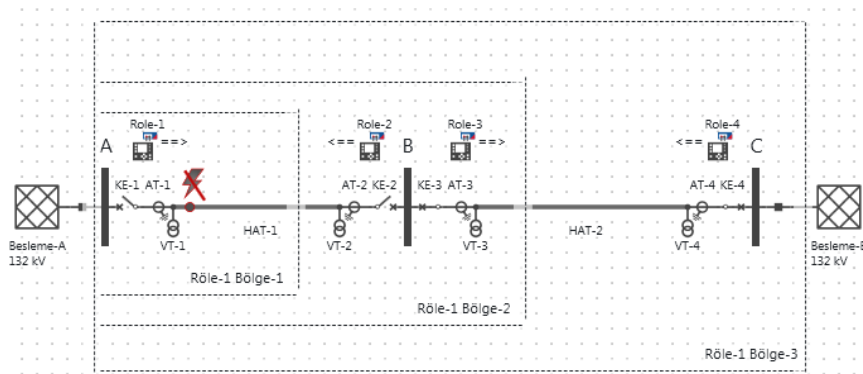
▲ Role-1			▲ Role-3		
V L1-N prim.:	76.210 kV	∠ 0.00 °	V L1-N prim.:	76.210 kV	∠ 0.00 °
V L2-N prim.:	39.363 kV	∠ -174.17 °	V L2-N prim.:	41.647 kV	∠ -161.00 °
V L3-N prim.:	37.266 kV	∠ 173.84 °	V L3-N prim.:	39.247 kV	∠ 159.79 °
I L1 prim.:	0.0000 A	∠ NaN	I L1 prim.:	0.0000 A	∠ NaN
I L2 prim.:	2.9088 kA	∠ -169.02 °	I L2 prim.:	1.0644 kA	∠ 20.41 °
I L3 prim.:	2.9088 kA	∠ 10.98 °	I L3 prim.:	1.0644 kA	∠ -159.59 °
Z L1-N prim.:	+∞	∠ NaN	Z L1-N prim.:	+∞	∠ NaN
Z L2-N prim.:	13.532 Ω	∠ -5.15 °	Z L2-N prim.:	39.127 Ω	∠ 178.59 °
Z L3-N prim.:	12.811 Ω	∠ 162.86 °	Z L3-N prim.:	36.872 Ω	∠ -40.61 °
Z L1-L2 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L1-L2 prim.:	+∞	∠ NaN
Z L2-L3 prim.:	1.4212 Ω	∠ 64.24 °	Z L2-L3 prim.:	12.793 Ω	∠ -115.77 °
Z L3-L1 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L3-L1 prim.:	+∞	∠ NaN

▲ Role-2			▲ Role-4		
V L1-N prim.:	76.210 kV	∠ 0.00 °	V L1-N prim.:	76.210 kV	∠ 0.00 °
V L2-N prim.:	41.643 kV	∠ -161.00 °	V L2-N prim.:	60.736 kV	∠ -134.01 °
V L3-N prim.:	39.250 kV	∠ 159.80 °	V L3-N prim.:	55.359 kV	∠ 127.90 °
I L1 prim.:	0.0000 A	∠ NaN	I L1 prim.:	0.0000 A	∠ NaN
I L2 prim.:	1.0644 kA	∠ -159.59 °	I L2 prim.:	1.0644 kA	∠ -159.59 °
I L3 prim.:	1.0644 kA	∠ 20.41 °	I L3 prim.:	1.0644 kA	∠ 20.41 °
Z L1-N prim.:	+∞	∠ NaN	Z L1-N prim.:	+∞	∠ NaN
Z L2-N prim.:	39.123 Ω	∠ -1.41 °	Z L2-N prim.:	57.060 Ω	∠ 25.58 °
Z L3-N prim.:	36.875 Ω	∠ 139.39 °	Z L3-N prim.:	52.009 Ω	∠ 107.50 °
Z L1-L2 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L1-L2 prim.:	+∞	∠ NaN
Z L2-L3 prim.:	12.791 Ω	∠ 64.24 °	Z L2-L3 prim.:	41.217 Ω	∠ 64.24 °

Şekil 4. 40. Hat-1 Röle-1 %10'da iki faz arızasındaki arıza değerleri

Şekil 4.24'teki ve Şekil 4.25'deki senaryoya göre GOOSE mesajlı haberleşme ile Röle-1 ve Röle-2'nin kesicilerini açtırdığı durum Şekil 4.41'de görülmektedir.

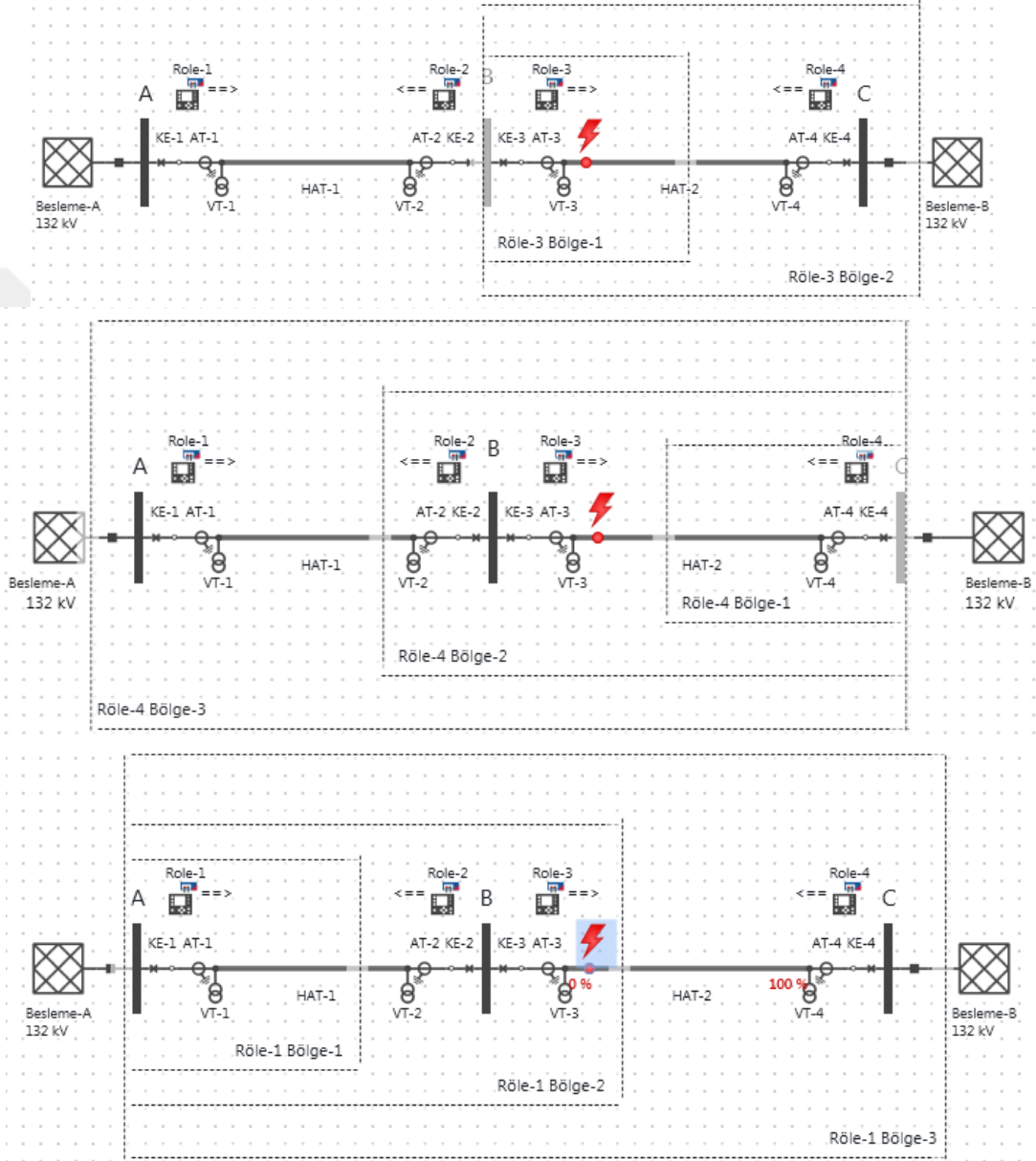


Şekil 4. 41. Hat-1 Röle-1 %10'da faz-faz arızasının sistemden ayrılması

#### 4.2.7. Senaryo-5 (röle-3 hat-2 %10'da L1-L2-L3 kısa devre arızası)

-Arıza; Röle-3 1. bölgede, Röle-4 2. bölgede, Röle-1 2. bölgededir.

Röle-3 Hat-2 %10'da L1-L2-L3 kısa devre arızasında rölelerin koruma bölgeleri Şekil 4.42'de görülmektedir.



Şekil 4. 42. Hat-2 Röle-3 %10'da L1-L2-L3 kısa devre arızası

Arıza Röle-3 ile Röle-4 arasındaki bölgede olduğundan Şekil 4.24'teki ve Şekil 4.25'teki senaryoya göre Röle-3 ve Röle-4 0 ms'de açacaktır. Arıza Röle-4'ün 2. Bölgesinde olmasına rağmen Röle-3'ten GOOSE mesajıyla gelen bilgiyle Röle-4 400 ms yerine 0 ms'de açma gerçekleştirir. Röle-1 arızayı 2. bölgesinde

algılamasına rağmen Röle-3'ten GOOSE ile bloklama mesajı alması nedeniyle açma yapmaz. Röle-3 kesici açma yapamaz ise Röle-1'e Röle-3'ten GOOSE mesajı blokaması devredışı kalır. Bu durumda 400 ms sonra Röle-1 kesicisini açtırır. Şekil 4.43'te üç faz kısa devre arızası durumunda rölelerden ölçülen değerler görülmektedir.

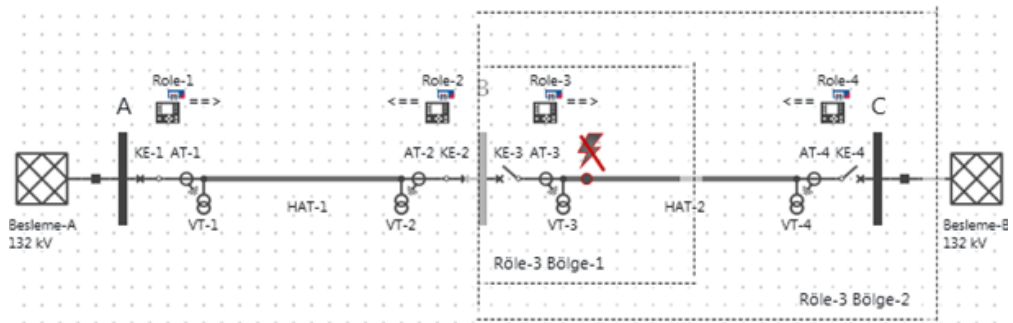
▲ Role-1			▲ Role-3		
V L1-N prim.:	34.192 kV	∠ -8.76 °	V L1-N prim.:	5.6981 kV	∠ -8.75 °
V L2-N prim.:	34.192 kV	∠ -128.76 °	V L2-N prim.:	5.6981 kV	∠ -128.75 °
V L3-N prim.:	34.192 kV	∠ 111.24 °	V L3-N prim.:	5.6981 kV	∠ 111.25 °
I L1 prim.:	2.0046 kA	∠ -72.99 °	I L1 prim.:	2.0046 kA	∠ -72.99 °
I L2 prim.:	2.0046 kA	∠ 167.01 °	I L2 prim.:	2.0046 kA	∠ 167.01 °
I L3 prim.:	2.0046 kA	∠ 47.01 °	I L3 prim.:	2.0046 kA	∠ 47.01 °
Z L1-N prim.:	17.056 Ω	∠ 64.23 °	Z L1-N prim.:	2.8424 Ω	∠ 64.24 °
Z L2-N prim.:	17.056 Ω	∠ 64.23 °	Z L2-N prim.:	2.8424 Ω	∠ 64.24 °
Z L3-N prim.:	17.056 Ω	∠ 64.23 °	Z L3-N prim.:	2.8424 Ω	∠ 64.24 °
Z L1-L2 prim.:	17.056 Ω	∠ 64.23 °	Z L1-L2 prim.:	2.8424 Ω	∠ 64.24 °
Z L2-L3 prim.:	17.056 Ω	∠ 64.23 °	Z L2-L3 prim.:	2.8424 Ω	∠ 64.24 °
Z L3-L1 prim.:	17.056 Ω	∠ 64.23 °	Z L3-L1 prim.:	2.8424 Ω	∠ 64.24 °

▲ Role-2			▲ Role-4		
V L1-N prim.:	5.7016 kV	∠ -8.82 °	V L1-N prim.:	41.961 kV	∠ -7.15 °
V L2-N prim.:	5.7016 kV	∠ -128.82 °	V L2-N prim.:	41.961 kV	∠ -127.15 °
V L3-N prim.:	5.7016 kV	∠ 111.18 °	V L3-N prim.:	41.961 kV	∠ 112.85 °
I L1 prim.:	2.0046 kA	∠ 107.01 °	I L1 prim.:	1.6403 kA	∠ -71.40 °
I L2 prim.:	2.0046 kA	∠ -12.99 °	I L2 prim.:	1.6403 kA	∠ 168.60 °
I L3 prim.:	2.0046 kA	∠ -132.99 °	I L3 prim.:	1.6403 kA	∠ 48.60 °
Z L1-N prim.:	2.8442 Ω	∠ -115.83 °	Z L1-N prim.:	25.582 Ω	∠ 64.24 °
Z L2-N prim.:	2.8442 Ω	∠ -115.83 °	Z L2-N prim.:	25.582 Ω	∠ 64.24 °
Z L3-N prim.:	2.8442 Ω	∠ -115.83 °	Z L3-N prim.:	25.582 Ω	∠ 64.24 °
Z L1-L2 prim.:	2.8442 Ω	∠ -115.83 °	Z L1-L2 prim.:	25.582 Ω	∠ 64.24 °
Z L2-L3 prim.:	2.8442 Ω	∠ -115.83 °	Z L2-L3 prim.:	25.582 Ω	∠ 64.24 °
Z L3-L1 prim.:	2.8442 Ω	∠ -115.83 °	Z L3-L1 prim.:	25.582 Ω	∠ 64.24 °

Şekil 4. 43. Hat-2 Röle-3'ün %10'undaki üç faz kısa devre arıza değerleri

Röle-3 ve Röle-4 kesicilerinin açmasıyla üç faz kısa devre arıza bölgesi sistemden ayrılır. Bu durum Şekil 4.44'te gösterilmiştir.



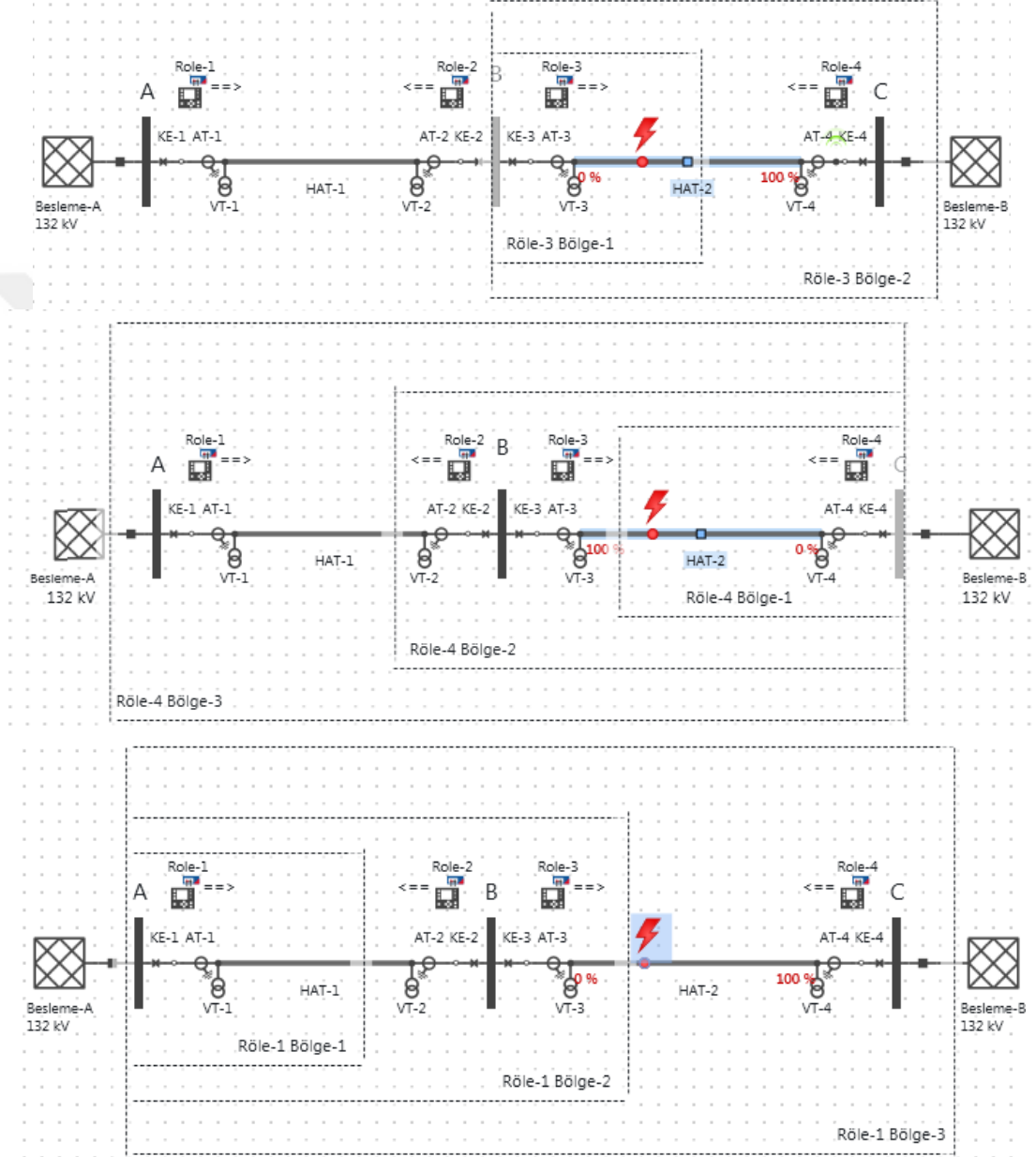
Şekil 4. 44. Hat-2'nin %10'daki arızanın sistemden ayrılması



#### 4.2.8. Senaryo-6 (röle-3 hat-2 %30'da L1-L2-N kısa devre arızası)

-Arıza; Röle-3 1.bölgede, Röle-4 1. bölgede, Röle-1 3. bölgedir.

Röle-3 Hat-2 %30'daki L1-L2-N arızasında rölelerin koruma bölgeleri Şekil 4.45'te görülmektedir.



Şekil 4. 45. Hat-2 Röle-3 %30'da L1-L2-N kısa devre arızası

Şekil 4.46'de arıza sırasında rölelerden ölçülen değerler görülmektedir.

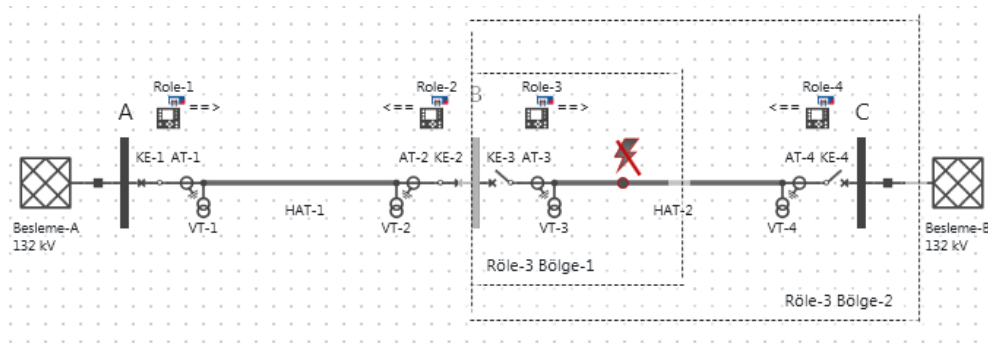
▲ Role-1			▲ Role-3		
V L1-N prim.:	39.710 kV	∠ -7.62 °	V L1-N prim.:	14.891 kV	∠ -7.62 °
V L2-N prim.:	86.273 kV	∠ -119.05 °	V L2-N prim.:	92.971 kV	∠ -119.67 °
V L3-N prim.:	39.710 kV	∠ 112.38 °	V L3-N prim.:	14.890 kV	∠ 112.38 °
I L1 prim.:	1.5635 kA	∠ -87.15 °	I L1 prim.:	1.5635 kA	∠ -87.15 °
I L2 prim.:	0.0000 A	∠ NaN	I L2 prim.:	0.0000 A	∠ NaN
I L3 prim.:	1.5634 kA	∠ 63.44 °	I L3 prim.:	1.5634 kA	∠ 63.44 °
Z L1-N prim.:	22.740 Ω	∠ 64.23 °	Z L1-N prim.:	8.5273 Ω	∠ 64.24 °
Z L2-N prim.:	+∞	∠ NaN	Z L2-N prim.:	+∞	∠ NaN
Z L3-N prim.:	22.742 Ω	∠ 64.24 °	Z L3-N prim.:	8.5273 Ω	∠ 64.24 °
Z L1-L2 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L1-L2 prim.:	+∞	∠ NaN
Z L2-L3 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L2-L3 prim.:	+∞	∠ NaN
Z L3-L1 prim.:	22.741 Ω	∠ 64.23 °	Z L3-L1 prim.:	8.5273 Ω	∠ 64.24 °

▲ Role-2			▲ Role-4		
V L1-N prim.:	14.892 kV	∠ -7.64 °	V L1-N prim.:	37.141 kV	∠ -8.15 °
V L2-N prim.:	92.971 kV	∠ -119.67 °	V L2-N prim.:	86.979 kV	∠ -119.05 °
V L3-N prim.:	14.894 kV	∠ 112.37 °	V L3-N prim.:	37.140 kV	∠ 111.85 °
I L1 prim.:	1.5635 kA	∠ 92.85 °	I L1 prim.:	1.6713 kA	∠ -87.69 °
I L2 prim.:	0.0000 A	∠ NaN	I L2 prim.:	0.0000 A	∠ NaN
I L3 prim.:	1.5634 kA	∠ -116.56 °	I L3 prim.:	1.6713 kA	∠ 62.90 °
Z L1-N prim.:	8.5279 Ω	∠ -115.78 °	Z L1-N prim.:	19.897 Ω	∠ 64.24 °
Z L2-N prim.:	+∞	∠ NaN	Z L2-N prim.:	+∞	∠ NaN
Z L3-N prim.:	8.5296 Ω	∠ -115.78 °	Z L3-N prim.:	19.897 Ω	∠ 64.24 °
Z L1-L2 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L1-L2 prim.:	+∞	∠ NaN
Z L2-L3 prim.:	+∞	∠ NaN	Z L2-L3 prim.:	+∞	∠ NaN
Z L3-L1 prim.:	8.5290 Ω	∠ -115.78 °	Z L3-L1 prim.:	19.897 Ω	∠ 64.24 °

Şekil 4. 46. Hat-2'nin %30'undaki L1-L2-N kısa devre arıza değerleri

Arıza Röle-3 ile Röle-4 arasındaki bölgede olduğundan Şekil 4.24'teki ve Şekil 4.25'teki senaryoya göre Röle-3 ve Röle-4 0 ms'de Şekil 4.47'de görüldüğü gibi açacaktır.



Şekil 4. 47. Hat-2 Röle-3 %30'daki arızanın sistemden ayrılması

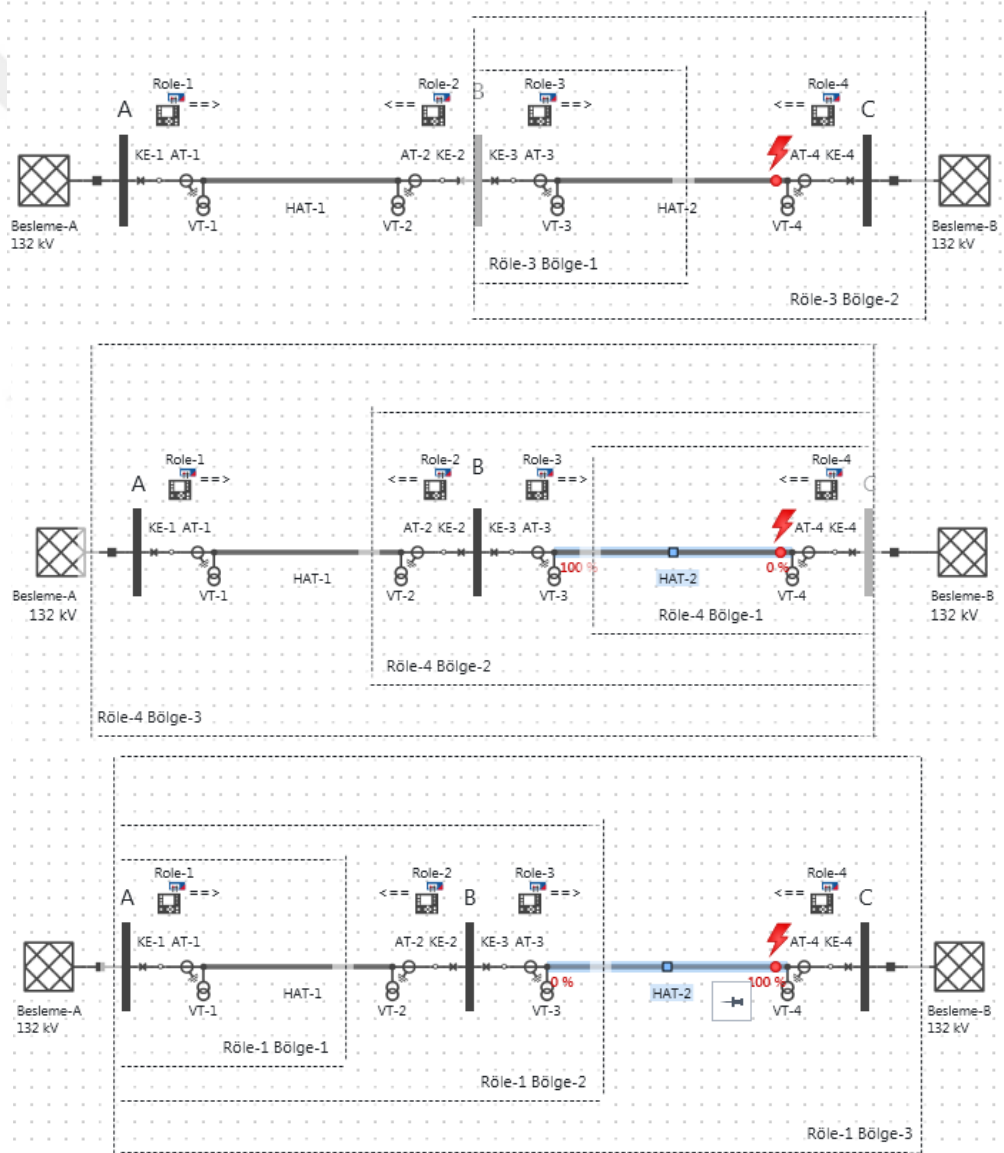
Arıza Röle-4'ün 1. bölgesinde olduğundan GOOSE mesajına bakmadan Röle-4 0 ms'de açar. Röle-1'de arızayı 3. bölgesinde algılar. Röle-3'ten GOOSE ile bloklayıcı mesajı alması nedeniyle açma yapmaz.

Röle-3 kesicisi açma yapamazsa Röle-1'e Röle-3'ten GOOSE mesajı blokması devreışı kalır. Bu durumda arızayı 3. bölgede algılayan Röle-1 Şekil 4.24'teki senaryoya göre 800 ms sonra Röle-1 kesicisini açtırır. Röle-3 kesici arıza (breaker failure) durumunda Röle-1 kendi kesicisini açtırarak açmayı garantilemiş olmaktadır.

#### 4.2.9. Senaryo-7 (röle-4 hat-1 %5'te L1-L2-L3-N kısa devre arızası)

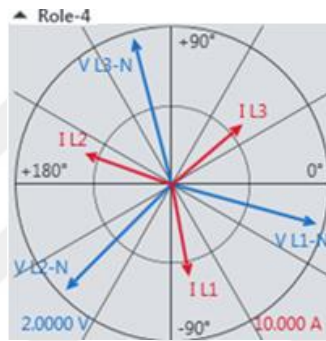
-Arıza; Röle-3 2.bölgede, Röle-4 1. bölgede, Röle-1 3. bölgededir.

Röle-4 Hat-2 %5'teki L1-L2-L3-N arızasında rölelerin koruma bölgeleri Şekil 4.48'de görülmektedir.



Şekil 4. 48. Hat-2 Röle-4 %5'te L1-L2-L3-N arızası

Arıza Röle-4 1. bölge, Röle-3 2. bölge ve Röle-1 3. bölgededir. Arıza Röle-3 ile Röle-4 arasındaki bölgede olduğundan Şekil 4.24'teki ve Şekil 4.25'teki senaryoya göre Röle-3 ve Röle-4 0 ms'de açacaktır. Arıza Röle-3'ün 2. bölgesinde olmasına rağmen Röle-4'ten GOOSE mesajıyla gelen bilgiyle Röle-4 400 ms yerine 0 ms'de açma gerçekleştirir. Röle-1'de arızayı 3. bölgesinde algıladığından Röle-3'ten GOOSE ile bloklama mesajı alması nedeniyle açma yapmaz. Röle-3 kesici açma yapamaz ise Röle-1'e Röle-3'ten GOOSE mesajı bloklaması devre dışı kalır. Bu durumda 400 ms sonra Röle-1 kesicisini açtırır. Röle-4 fazör diyagramı Şekil 4.49'da görülmektedir.



Şekil 4. 49. Arıza durumunda Röle-4 fazör diyagramı

Şekil 4.50'de arıza sırasındaki rölelerden ölçülen değerler görülmektedir.

▲ Role-1				▲ Role-3			
V L1-N prim.:	43.479 kV	∠	-6.84 °	V L1-N prim.:	21.181 kV	∠	-6.84 °
V L2-N prim.:	43.479 kV	∠	-126.84 °	V L2-N prim.:	21.181 kV	∠	-126.84 °
V L3-N prim.:	43.479 kV	∠	113.16 °	V L3-N prim.:	21.181 kV	∠	113.16 °
I L1 prim.:	1.5447 kA	∠	-71.08 °	I L1 prim.:	1.5447 kA	∠	-71.08 °
I L2 prim.:	1.5447 kA	∠	168.92 °	I L2 prim.:	1.5447 kA	∠	168.92 °
I L3 prim.:	1.5447 kA	∠	48.92 °	I L3 prim.:	1.5447 kA	∠	48.92 °
Z L1-N prim.:	28.148 Ω	∠	64.24 °	Z L1-N prim.:	13.713 Ω	∠	64.24 °
Z L2-N prim.:	28.148 Ω	∠	64.24 °	Z L2-N prim.:	13.713 Ω	∠	64.24 °
Z L3-N prim.:	28.148 Ω	∠	64.24 °	Z L3-N prim.:	13.713 Ω	∠	64.24 °
Z L1-L2 prim.:	28.148 Ω	∠	64.24 °	Z L1-L2 prim.:	13.713 Ω	∠	64.24 °
Z L2-L3 prim.:	28.148 Ω	∠	64.24 °	Z L2-L3 prim.:	13.713 Ω	∠	64.24 °
Z L3-L1 prim.:	28.148 Ω	∠	64.24 °	Z L3-L1 prim.:	13.713 Ω	∠	64.24 °
▲ Role-2				▲ Role-4			
V L1-N prim.:	21.184 kV	∠	-6.85 °	V L1-N prim.:	2.4613 kV	∠	-15.25 °
V L2-N prim.:	21.184 kV	∠	-126.85 °	V L2-N prim.:	2.4613 kV	∠	-135.25 °
V L3-N prim.:	21.184 kV	∠	113.15 °	V L3-N prim.:	2.4613 kV	∠	104.75 °
I L1 prim.:	1.5447 kA	∠	108.92 °	I L1 prim.:	3.4103 kA	∠	-79.49 °
I L2 prim.:	1.5447 kA	∠	-11.08 °	I L2 prim.:	3.4103 kA	∠	160.51 °
I L3 prim.:	1.5447 kA	∠	-131.08 °	I L3 prim.:	3.4103 kA	∠	40.51 °
Z L1-N prim.:	13.714 Ω	∠	-115.77 °	Z L1-N prim.:	721.70 mΩ	∠	64.24 °
Z L2-N prim.:	13.714 Ω	∠	-115.77 °	Z L2-N prim.:	721.70 mΩ	∠	64.24 °
Z L3-N prim.:	13.714 Ω	∠	-115.77 °	Z L3-N prim.:	721.70 mΩ	∠	64.24 °
Z L1-L2 prim.:	13.714 Ω	∠	-115.77 °	Z L1-L2 prim.:	721.70 mΩ	∠	64.24 °
Z L2-L3 prim.:	13.714 Ω	∠	-115.77 °	Z L2-L3 prim.:	721.70 mΩ	∠	64.24 °
Z L3-L1 prim.:	13.714 Ω	∠	-115.77 °	Z L3-L1 prim.:	721.70 mΩ	∠	64.24 °

Şekil 4. 50. Hat-2 Röle-4 %5'indeki L1-L2-L3-N kısa devre arıza değerleri

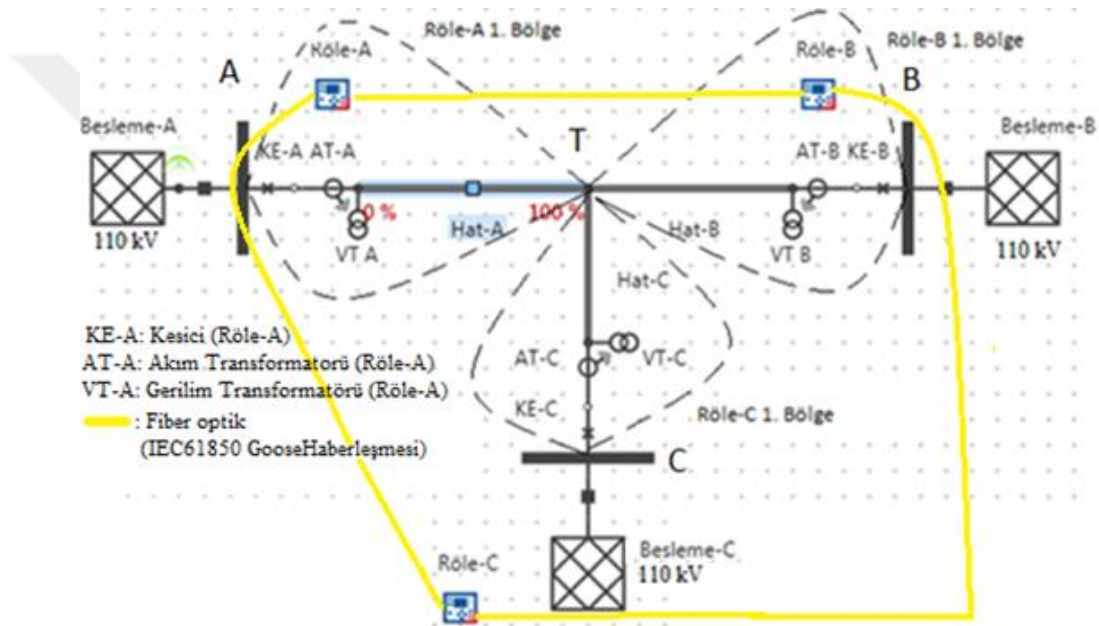
### 4.3. Üç Terminalli Sistemde GOOSE Mesajlı Mesafe Koruma Uygulaması

Hat-A'da gerçekleşen kısa devrede; Denklem (Ek-6.1),

Hat-B'de gerçekleşen kısa devrede; Denklem (Ek-6.3),

Hat-C'de gerçekleşen kısa devrede; Denklem (Ek-6.5),

Kullanılarak hatlarda oluşan arıza yerinin her bir röleye olan uzaklığı tespit edilir. Hat empedanslarına göre her bir bölgede bölgeler parametrelendirilmiştir. Şekil 4.51'de üç terminalli mesafe koruma uygulaması verilmiştir. Uygulamadaki empedans değerleri RelaySimTest yazılımının atadığı varsayılan değerlerdir.



Şekil 4. 51. Üç terminalli sistemde GOOSE ile mesafe koruma uygulaması

Hat-A (A ile T düğüm noktası arasındaki bölge ) bilgileri:

- Uzunluğu 10 km (%100 = 10 km)
- Gerilim seviyesi 110 kV
- Nominal akım: 1 kA
- Hat empedansları olarak RelaySimTest yazılımının aşağıdaki varsayılan değerleri kullanılmıştır:

$$R1': 136,81 \text{ m}\Omega/\text{km}$$

$$X1': 375,88 \text{ m}\Omega/\text{km}$$

$$R0': 410,42 \text{ m}\Omega/\text{km}$$

$$X0': 1,276 \text{ }\Omega/\text{km}$$

Hat-B (B ile T düğüm noktası arasındaki bölge) bilgileri:

- Uzunluğu 10 km (%100 = 10 km)
- Gerilim seviyesi 110 kV
- Nominal akım: 1 kA
- Hat empedansları olarak RelaySimTest yazılımının aşağıdaki varsayılan değerleri kullanılmıştır:
  - R1': 136,81 mΩ/km
  - X1': 375,88 mΩ/km
  - R0': 410,42 mΩ/km
  - X0': 1,276 Ω/km

Hat-C (C ile T düğüm noktası arasındaki bölge) bilgileri:

- Uzunluğu 10 km (%100 = 10 km)
- Gerilim seviyesi 110 kV
- Nominal akım: 1 kA
- Hat empedansları:
  - R1': 136,81 mΩ/km
  - X1': 375,88 mΩ/km
  - R0': 410,42 mΩ/km
  - X0': 1,276 Ω/km
- Besleme-A:
  - 110 kV, Z=10Ω, 70.0°, Solidly grounded, SIR: 2.5, K=0.6667
- Besleme-B:
  - 110 kV, Z=10Ω, 70.0°, Solidly grounded, SIR: 2.5, K=0.6667
- Besleme-C:
  - 110 kV, Z=10Ω, 70.0°, Solidly grounded, SIR: 3, K=0.6667

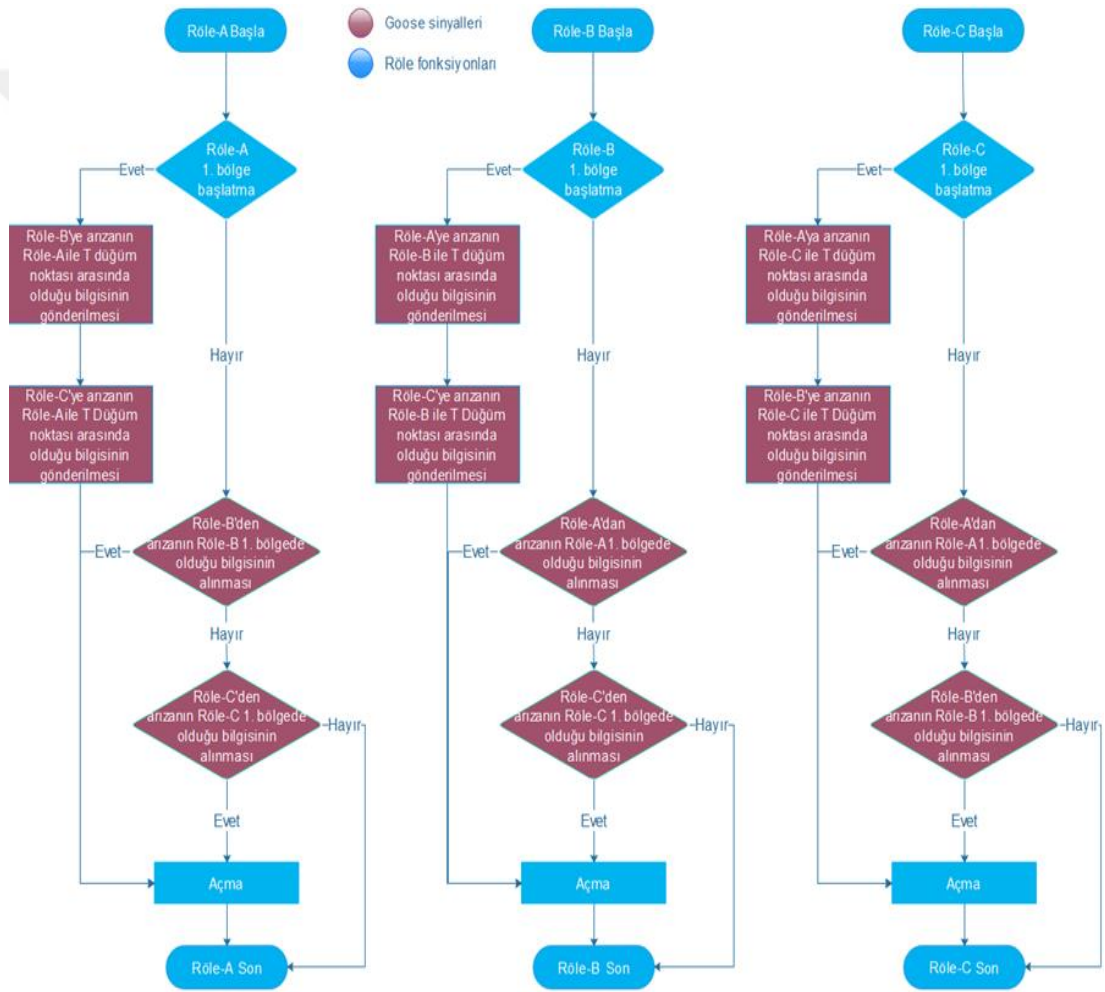
Uygulamada kullanılan yazılımlar ve akış diyagramı bir önceki uygulamada verilen akış diyagramı (Şekil 4.18) ile aynıdır.

Başlangıç durumu (sistemde arıza yok):

- Kesiciler: Hepsi kapalı (devrede)
- Başlatma ve açma istekleri yok.

- Faz-faz gerilimleri: (primer / sekonder): 110 kV/ 100 V
- Faz-N gerilimi (primer) =  $110\text{kV}/\sqrt{3} = 110/1.73205 = 63,5 \text{ kV}$
- Faz-N gerilimi (sekonder) =  $100\text{V}/\sqrt{3} = 100/1.73205 = 57,74 \text{ V}$
- Faz-N gerilimleri (primer / sekonder): 63,5 kV / 57.74 V
- Faz akımları = 0 A
- Kısa devre arıza empedansları: Kısa devre yok ( $\infty$ )

Üç terminalli sistemde GOOSE ile mesafe koruma uygulaması akış diyagramı Şekil 4.52’de görülmektedir.



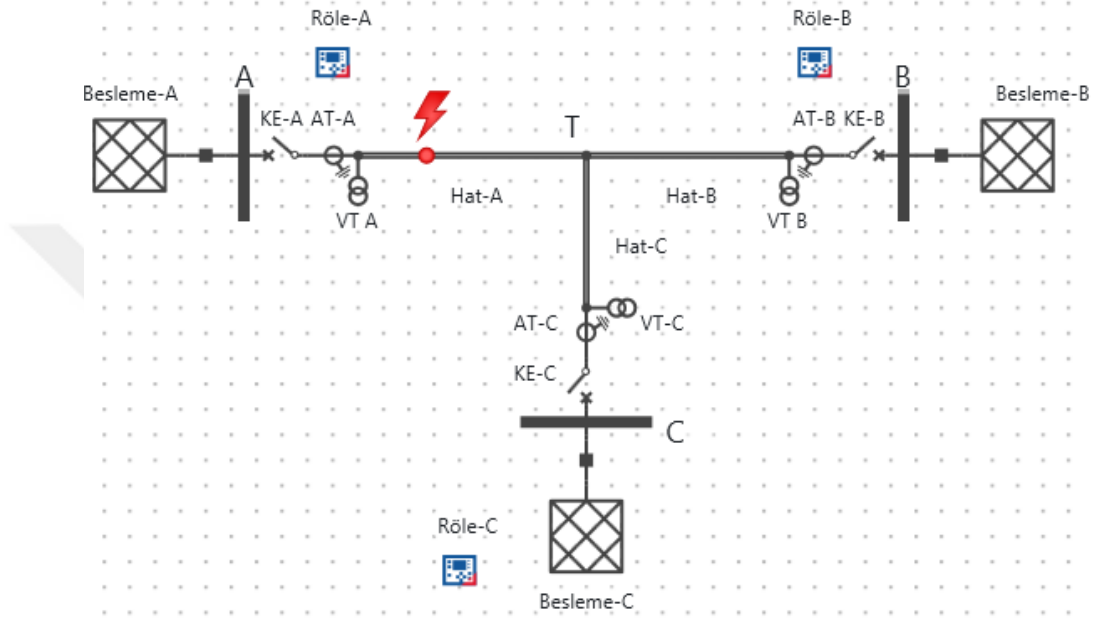
Şekil 4. 52. Üç terminalli GOOSE mesajlı mesafe koruma akış diyagramı

Empedans rölelerinin röle ayar değerleri örneği Ek-5’te verilmiştir.

Senaryo-1: Hatların herhangi birinde kısa devre arızası oluşursa Şekil 4.52’deki GOOSE mesajlı senaryoya göre röleler kesicilerini açtıracaktır. GOOSE mesajı ile

arıza hangi hatta olursa olsun tüm rölelerin 0 ms'de açma yapmaları sağlanmıştır. Bu uygulamada mesafe koruma uygulamasında sadece bölge-1 kullanılmıştır.

Senaryo-1, Hat-A'da Röle-A %30'da oluşan L1-N kısa devre arızasında tüm kesiciler Şekil 4.52'deki senaryoya göre açar. Kesicilerin açık pozisyonda olduğu ve arızanın sistemden ayrıldığı bu durum Şekil 4.53'te verilmiştir.

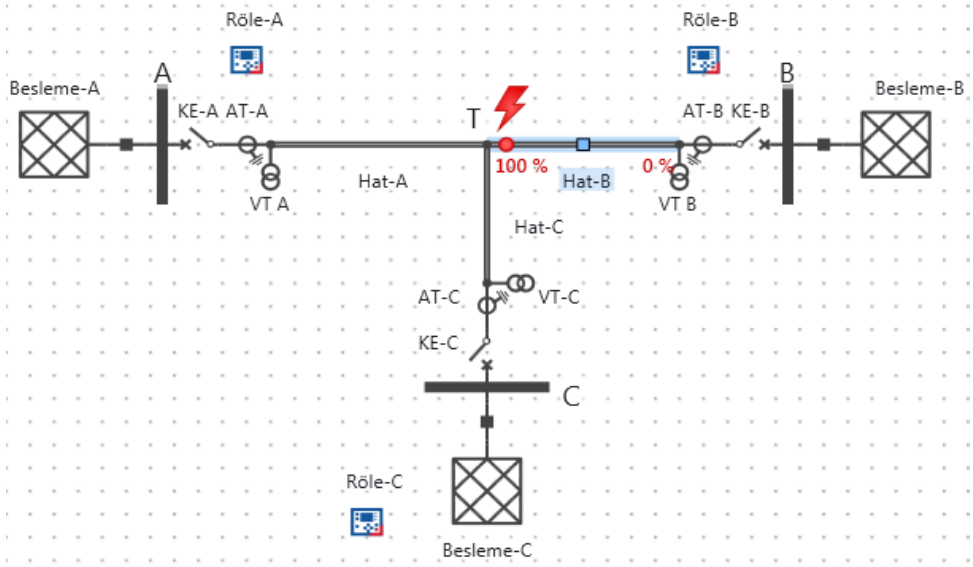


Şekil 4. 53. Üç terminalli sistemde Hat-A Röle-A %30 L1-N arızasının sistemden ayrılması

Senaryo-2: Hat-B Röle-B %90'da L1-L2-L3-N arızası

Hat-B'de kısa devre arızası oluşursa Şekil 4.52'deki GOOSE mesajlı senaryoya göre tüm röleler kesicilerini açtıracaktır. GOOSE mesajı ile arıza hangi hatta olursa olsun tüm rölelerin 0 ms'de açma yapmaları sağlanmıştır. Kesicilerin açık pozisyonda olduğu ve arızanın sistemden ayrıldığı bu durum Şekil 4.54'te verilmiştir.

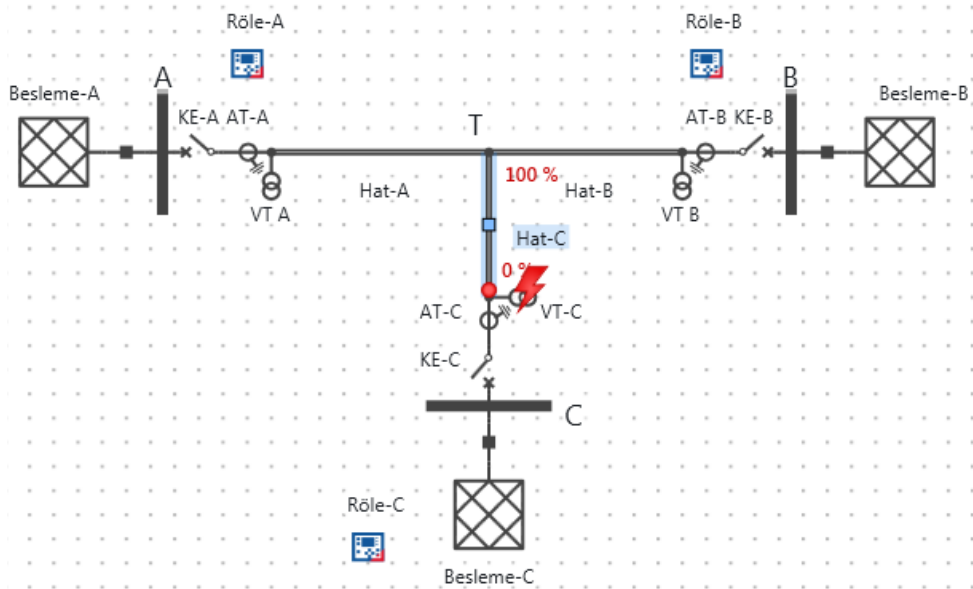




Şekil 4. 54. Üç terminalli sistemde Hat-B Röle-B %90'da L1-L2-L3-N arızasının sistemden ayrılması

Senaryo-3: Hat-C Röle-C %5'te L1-L3 kısa devre arızası

Hat-C'de kısa devre arızası oluşursa Şekil 4.52'deki GOOSE mesajlı senaryoya göre tüm röleler kesicilerini açtıracaktır. GOOSE mesajı ile arıza hangi hatta olursa olsun tüm rölelerin 0 ms'de açma yapmaları sağlanmıştır. Hat-C Röle-C %5'te L1-L2-L3-N arızası sonrasında kesicilerin açık pozisyonunda olduğu ve arızanın sistemden ayrıldığı bu durum Şekil 4.55'te verilmiştir.



Şekil 4. 55. Üç terminalli sistemde Hat-C Röle-C %5'te L1-L3 kısa devre arızasının sistemden ayrılması

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada elektrik şebekelerinde koruma haberleşmeleri karşılaştırılıp IEC 61850 GOOSE mesajı uygulaması yapılmıştır. Röle korumasında kullanılan haberleşme medyaları ve protokolleri açıklanmıştır. Elektrik iletim hatlarında IEC 61850 kullanılarak arıza azaltma, seçicilik ve sistemin etkili izlemesinde büyük bir öneminin olduğu görülmüştür. IEC 61850, istasyon seviyesindeki röle haberleşmesinde kullanılmakta olup geniş bir ağa sahip uzak mesafe istasyonlar arasındaki koruma haberleşmesinde kullanımı yaygın değildir. Uzak mesafedeki istasyonlar arasındaki koruma haberleşmesinde komite çalışmaları devam etmektedir.

Ethernet tabanlı IEC 61850 protokolü GOOSE mesajı kullanılarak istasyon seviyesindeki röle koruma haberleşme uygulaması yapılmıştır. IEC 61850 kullanımında kilitleme, uzak açma, bloklama, blok açma, diğer başlatma ve açma sinyalleri, ölçülen değerler (akım, gerilim, güç, faz açısı, frekans v.b) röleden röleye haberleşme kanalıyla transfer edildiğinden geleneksel röle-röle arasındaki kablolama azaltılarak istasyon seviyesinde sistemin basite indirgenmesine yardımcı olabilir. IEC 61850 GOOSE mesajının diğer önemli faydası da akım, gerilim trafosunun farklı iki nokta yerine tek kaynaktan alınarak korumadaki, yönlü karşılaştırmadaki ölçüm kaynaklı hassasiyet probleminin gidirilmesini sağlamaktadır. Ethernet tabanlı koruma haberleşmesinde sistem için gerekli donanım ve yazılım güvenliği projelendirme aşamasında dikkat edilmesi gereken bir konudur.

Bu çalışmada bir koruma rölesindeki açma, durum bilgilerinin ve ölçülen değerlerin diğer koruma rölesine veya rölelerine IEC 61850 GOOSE haberleşmesiyle doğru bir şekilde transfer edildiği ve ikinci koruma rölesi tarafından bu bilgilerin kilitleme, bloklama, blok açma, senkronizasyon, aşırı akım koruması ve diğer korumalar için kullanılabilmesi doğrulanmıştır. Ayrıca simülasyon yazılımlarıyla, iki yönden beslemeli iki hatlı dört mesafe koruma röleli bir sistem ile hat başlarından beslemeli üç terminalli sistemde geleneksel telekorumaların devredışı bırakılarak GOOSE mesajlı mesafe koruma senaryoları uygulanmış olup geleneksel yöntemlere göre

koruma bölge kesişimlerindeki seçicilikte avantajları ve çoklu röle haberleşme desteğinin sistemin kararlılığına olan etkisi gözlemlenmiştir. IEC 61850 altyapısı, rölelere uzaktan erişim ve parametreleme, arıza takibi ve scada fonksiyonları için de kullanılmaktadır. Bu çalışma ile istasyon seviyesinde IEC 61850'nin elektrik güvenliği ve koruma seçiciliğinde önemli bir role sahip olduğu görülmüştür.



## KAYNAKLAR

- [1] Akdağ O., Peköz D., Yeroğlu C., Coordination Simulation of Differential Relay for 154/34,5 kV Power Transformers, *Journal of Natural Applied Sciences*, DOI:10.19113/SDUFBED.04605.
- [2] Yanmaz G., Enerji Hattı Haberleşmesi (Power Line Communication - PLC), <https://www.linkedin.com/pulse/enerji-haberleşme-çözümleri-için-eski-bir-dost-hattı-power-yanmaz/> (Ziyaret tarihi 1 Eylül 2018)
- [3] Gencaydın E., Hata Ağacı ve Blok Diyagramı Yöntemi ile Koruma Sistemlerinde Güvenilirlik Analizi ve Çözüm Önerileriyle Türkiye Elektrik İletim Sistemine Uygulanması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
- [4] Siemens, SIPROTEC4 Protection, Catalog SIP Edition No.7, [https://www.automation.siemens.com/tip-static/dlc/en/Energy-Automation-for-Medium-Voltage/Catalog\\_SIPROTEC\\_4\\_Protection/](https://www.automation.siemens.com/tip-static/dlc/en/Energy-Automation-for-Medium-Voltage/Catalog_SIPROTEC_4_Protection/) (Ziyaret tarihi 1 Eylül 2018).
- [5] ABB, Distribution Automation Handbook, [https://library.e.abb.com/public/eccfd9ab4d23ca1dc125795f0042c8db/DAHandbook\\_Section\\_08p02\\_Relay\\_Coordination\\_757285\\_ENa.pdf](https://library.e.abb.com/public/eccfd9ab4d23ca1dc125795f0042c8db/DAHandbook_Section_08p02_Relay_Coordination_757285_ENa.pdf) (Ziyaret tarihi 1 Eylül 2018)
- [6] An U., Siemens Siprotec Koruma Rölesi Sunumu, 2013.
- [7] Bayrak M., Usta Ö., Adaptif Mesafe Rölesi, *Elektrik – Elektronik- Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, 72-74, [http://www.emo.org.tr/ekler/2152677d4fbb399\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/2152677d4fbb399_ek.pdf) (Ziyaret tarihi 1 Eylül 2018).
- [8] Horowitz S. H., Phadke A. G., Power System Relaying, Fourth Edition, SBN: 9781118662007, John Wiley and Sons Ltd, United Kingdom, 140-156, 2014.
- [9] TEİAŞ, Koruma Sistemleri Müdürlüğü İşletme Dairesi Başkanlığı, *Koruma Sistemi Felsefesinin Güncellenmesi Çalışmayı Notları*, Ankara, 2, 2017.
- [10] Bakırcıoğlu K., Diferansiyel Koruma, *Elektrik Mühendisliği* **214**(112),543-551, [http://www.emo.org.tr/ekler/ca82782c5372a54\\_ek.pdf?dergi=112](http://www.emo.org.tr/ekler/ca82782c5372a54_ek.pdf?dergi=112) (Ziyaret tarihi 1 Eylül 2018)
- [11] Gencaydın E., Enerji İletim Hatlarının Nümerik Mesafe Röleleri ile Korunması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.

- [12] Karataş A., Elektrik Dağıtım Şebekeleri, <http://emhk.itu.edu.tr/elektrik-dagitim-sebekeleri/> (Ziyaret tarihi 1 Eylül 2018).
- [13] Aydoğdu, N., İletim Hatlarında Arıza Modelleme ve Sayısal Rölelerle Koruma, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2003.
- [14] General Electric, Multilin Line Distance Protection System, *D90Plus*, Revision:1.8x, GEK-119641, 2010.
- [15] Brunner C., Member, IEEE, IEC 61850 for Power Sys. Com, IEEE 978-1-4244-1904-3/08/2008.
- [16] Kaneda K., Tamura S., Fujiyama N., Arata Y., and Ito H., IEC61850 Based Substation Automation System, IEEE 978-1-4244-1762-9/08/2008.
- [17] Adrah C. M., Bjornstad S., Kure Ø., Fusion Networking Technology for IEC 61850 Inter Substation Communication, *2017 IEEE International Conference on Smart Grid and Smart Cities*, IEEE 978-1-5386-0504-2/17/2017.
- [18] Bonetti A., Douib R., Transfer Time Measurement for Protection Relay Applications with the IEC 61850 Standard. *IET Gener. Transm. Distrib. 2011, Vol.5, Iss. 2, pp. 199–208 &The Institution of Engineering and Technology 2011*, DOI: 10.1049/iet gtd.2010.0229
- [19] Leite J.B., Mantovani J.R.S., Study of the IEC 61850 Protocol on Multiagent Systems for Power System Applications, *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, DOI: 10.1109/PESGM.2015.7286235.
- [20] Berry T., Guise L., IEC61850 for Distribution Feeder Automation, *IET International Conference on Resilience of Transmission and Distribution Networks*, DOI: 10.1049/cp.2015.0887.
- [21] Sun X., Redfern M. A., An Investigation into the Design of an IEC 61850 Based Protection Relay, IEEE 978-0-947649-44-9/09/2009
- [22] IEC-TC 57, Communication Networks and Systems in Substations, *IEC Standard IEC/TR 61850*, 2003.
- [23] León H., Montez C., Stemmer M., Vasques F., Simulation Models for IEC 61850 Comm. in Electrical SS Using GOOSE and SMVTime-critical Messages, IEEE 978-1-5090-2339-4/16/2016
- [24] Vadiati M., Ghorbani M. A., Ebrahimi A. R., Arshia M., Future Trends of Substation Automation System by Applying IEC 61850, *43rd International Universities Power Engineering Conference*, DOI:10.1109/UPEC.2008.4651480.
- [25] IEEE Switchgear Committee, Introduction to IEC 61850 Industrial Ethernet in Distribution Automation, *Philadelphia Presentation*, 2007.

- [26] Altay, H. C., Orta Gerilim Şalt Tesislerinde Alternatif Bara Koruma Düzeni, *3e Electrotech Elektrik Elektronik Teknolojileri Dergisi*, <http://www.3eelectrotech.com.tr/arsiv/yazi/146-orta-gerilim-salt-tesislerinde-alternatif-bara-koruma-duzeni> , (Ziyaret tarihi 22 Temmuz 2018).
- [27] Zadeh M.R.D., Sidhu T.S., Klimek A., Suitability Analysis of Practical Directional Algorithms for Use in Directional Comparison Bus Protection Based on IEC61850 Process Bus, *IET Generation, Transmission & Distribution*, DOI: 10.1049/iet-gtd.2010.0229.
- [28] Anderson C. E., Zniber S., Botza Y., Dolezilek D., McDevitt J., Case Study: IEC 61850 Application for a Transmission Substation in Ghana, *Power and Energy Automation Conference*, 2013.
- [29] Roostae S., Hooshman R, Ataei M., SAS Using IEC 61850, *The 5th International Power Engineering and Optimization Conference* , (PEOCO2011), Malaysia, IEEE 978-1-4577-0354-6/11/2011.
- [30] Elgargouri A., Elfituri M. M., Elmusrati M. E., IEC61850 and Smart Grids, 2013, *3rd International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Istanbul, Turkey, 2013, IEEE 978-1-4799-0688-8/13/2013.
- [31] Falahati B., Chua E., Failure Modes in IEC 61850-Enabled Substation Automation Systems, IEEE 978-1-5090-2157-4/16/2016.
- [32] Youssef T.A., Hariri M.E., Bugay N, Fello O. A. M., IEC 61850: Technology Standards and Cyber-Security Threats, IEEE 978-1-5090-2320-2/16/2016.
- [33] Kim H-K., Kang S-H., Nam S-R., Improved Operating Scheme Using an IEC61850 Based Distance Relay for Transformer Backup Protection, *IEEE/IAS 51st Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference*, DOI:10.1109/ICPS.2015.7266445.
- [34] Borhanuddin N. H. A., Ali M., Basir O., Othman M. L., Hashim F., Aker E., Opportunity for Using WLAN with IEC 61850 and the Future of This Protocol, *Science & Technology*, *Pertanika J. Sci. & Technology* 25 (S): 25 - 38 (2017), ISSN: 0128-7680, Universiti Putra Malaysia Press, 2017.
- [35] Starck J., Majer K., Hiitelä K, Synchro-check in Digital Switchgear, *The Institution of Engineering and Technology Journals*, DOI: 10.1049 /oap-cired.2017.1190.
- [36] W'ojtowicz R., Kowalik R., Rasolomampionona D. D., *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 33, No:4, 2018.
- [37] Altun İ, Demirci A, An Application and Investigation of IEC61850 Based Relay Protection and GOOSE Messaging, *4th Anatolian Energy Symposium with International Participation*, Presented at Symposium, Trakya University, Edirne, 2018.

- [38] Cisco, Understanding Rapid Spanning Tree Protocol (802.1w), <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/lan-switching/spanning-tree-protocol/24062-146.html#anc3> Document ID:24062, 2017.
- [39] A. Esmailian, P. Jambor Salamati, M. Salay Naderi, Distance Protection Algorithm for Three Terminal Transmission Lines Using Local Measurements, *International Review on Modelling and Simulations*, Vol. 5, N. 5, ISSN 1974-9821, 2012.





**EKLER**



## **EK-1**

TEİAŞ 400-154KVMesafe Koruma Rölesi Kademe Ayarları [9].

Kademe 1 – Zone 1 (Z1):

Korunan Hat Uzunluğu  $< 5$  km ise empedans değeri korunan hattın empedansının %70'ine ayarlanır.  $5$  km  $<$  Korunan Hat Uzunluğu  $< 20$  km ise empedans değeri korunan hattın empedansının %80'ine ayarlanır. Korunan Hat Uzunluğu  $> 20$  km ise empedans değeri korunan hattın empedansının %85'ine ayarlanır [9].

Kademe 2 – Zone 2 (Z2):

Korunan hattın empedansı + karşı baradaki en kısa hattın empedansının % 50'sine ayarlanır. Karşı trafo merkezindeki en kısa hat, diferansiyel hat koruma rölesi veya kablo diferansiyel koruma rölesi ile korunuyor ise bu hat Z2 empedans hesabında dikkate alınmayabilir [9].

Kademe 3 – Zone 3 (Z3) :

Korunan hattın empedansı + karşı trafo merkezindeki en uzun hattın empedansının % 100 - %120'sine ayarlanır. Karşı trafo merkezindeki en uzun hat uzunluğu  $< 5$  km ise uzun hattın % 120'si alınır [9].

Kademe 4 – Zone 4 (Z4):

Z3 değerinin 1,2 katı olarak ayarlanır (İhtiyaç duyulması halinde kullanılabilir) [9].

Kademe 5 – Zone 5 (Z5) - Geri Yön:

Korunan hattın bağlı bulunduğu baradaki en uzun hattın empedans değerinin 1.2 katı ayarlanır. İleri yön Z3 empedans değerinden düşük olmamalıdır [9].

Kademe Zaman Gecikmeleri:

$t_{Z1}$  : 0 ms

$t_{Z2}$  : 400 ms

$t_{Z3}$  : 800 ms

$t_{Z4}$  : 1200 ms (ihtiyaç duyulması halinde kullanılabilir)

$t_{Z5}$  : 1500 ms [9].

**EK-2**

**EK-2a**

Rölelere takılıp sökülebilen iki kanallı IEC 61850 kart örnekleri:



Şekil Ek-2a. Tek kanallı fiber optik ST portlu koruma haberleşme kartı

**EK-2b**



Şekil Ek-2b. İki kanallı RJ45 portlu IEC61850 kartı

**EK-2c**



Şekil Ek-2c. İki kanallı LC fiber optik portlu  
IEC 61850 kartı

### EK-3

Fiber Optik Kablo konnektör tipleri:

#### EK-3a



Şekil Ek-3a. ST konnektör

ST: Straight Tip. Standart düz tip fiber optik konnektör [IEC 61754-2]

---

#### EK-3b



Şekil Ek-3b. SC konnektör

SC: “Subscriber connector” veya “square connector” veya “standard connector” den ismini almıştır [IEC 61754-4]. Günümüzdeki cihazlarda çok kullanılmaz.

### EK-3c

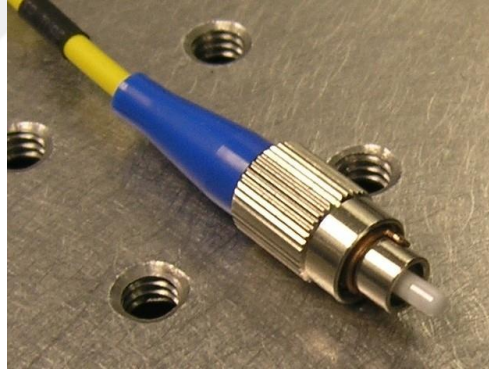


Şekil Ek-3c. LC konnektör

LC: Lucent Connector, Little Connector veya Local Connector olan fiber optik konnektör kısaltmasıdır. SFP, SFP+ ve XFP alıcılarda kullanılır [IEC 61754-20]. Günümüzde en çok kullanılan konnektör tipidir.

---

### EK-3ç



Şekil Ek-3ç. FC konnektör

FC: Field Assembly Connector. Yüksek vibrasyonlu ve zor şartlar için imal edilmiş fiber optik konnektör tipidir [IEC 61754-13].

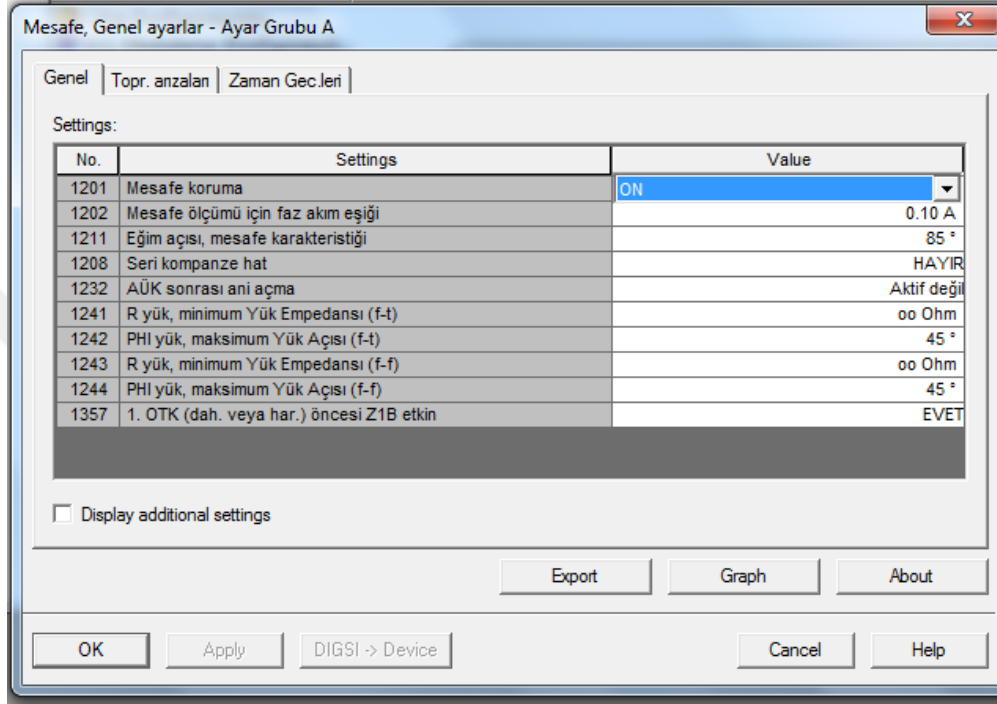
**EK-4**

Tablo Ek-4. Pilot kablo kesit / maksimum mesafe tablosu

Bakır (Pilot Kablo Mesafese Tablosu)					
AWG	Çap [mm]	Alan [mm <sup>2</sup> ]	Ohm/km (0 Hz)	Ohm/km (100 kHz)	Maks. mesafe KU <-> KU [km]
10	2,59	5,27	3,38	18,39	38,1
11	2,3	4,15	4,28	20,84	33,6
12	2,05	3,3	5,39	23,55	29,7
13	1,8	2,54	6,99	27,06	25,9
14	1,63	2,09	8,53	30,12	23,2
15	1,45	1,65	10,78	34,21	20,5
16	1,29	1,31	13,62	38,91	18
17	1,15	1,04	17,14	44,22	15,8
18	1,02	0,82	21,78	50,64	13,8
19	0,91	0,65	27,37	57,74	12,1
20	0,81	0,52	34,54	66,17	10,6
21	0,72	0,41	43,72	76,18	9,2
22	0,64	0,32	55,33	88,01	8
23	0,57	0,26	69,76	101,86	6,9
24	0,51	0,2	87,13	117,73	5,9
25	0,45	0,16	111,92	139,47	5
26	0,41	0,13	134,82	159,04	4,4
27	0,36	0,1	174,87	192,88	3,6
28	0,32	0,08	221,32	232,45	3

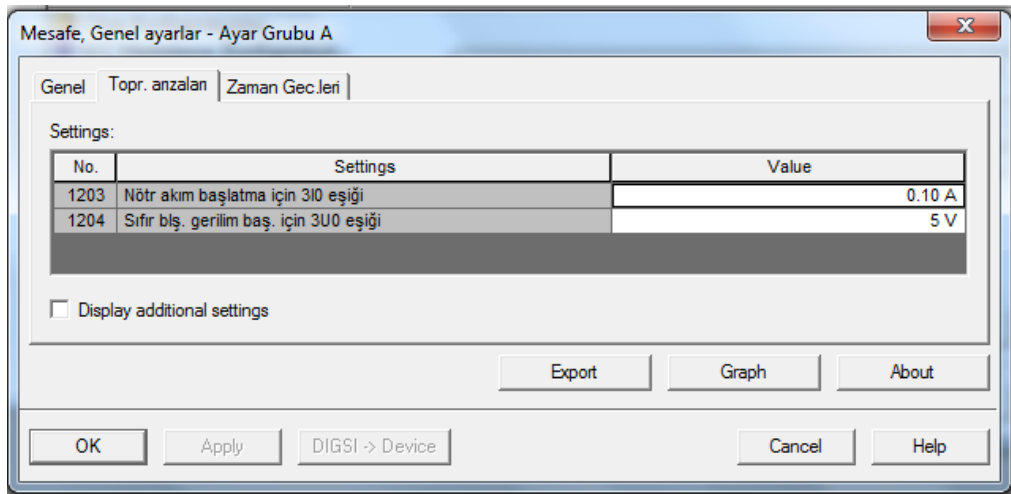
EK-5

EK-5a



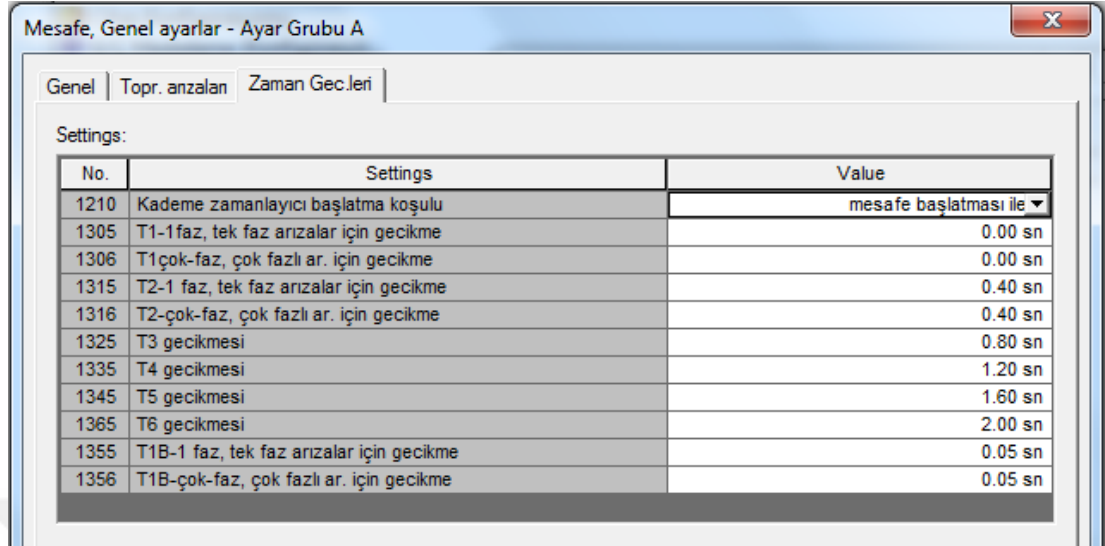
Şekil Ek-5a. Empedans rölesi mesafe koruma örnek genel ayarları örneği

EK-5b



Şekil Ek-5b. Empedans rölesi mesafe koruma toprak arıza ayarları örneği

## EK-5c



Mesafe, Genel ayarlar - Ayar Grubu A

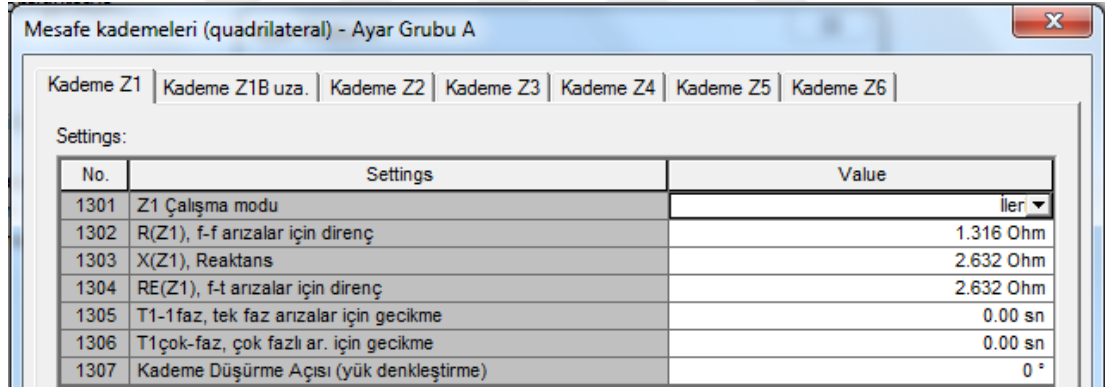
Genel | Topr. arızalar | Zaman Gec.leri

Settings:

No.	Settings	Value
1210	Kademe zamanlayıcı başlatma koşulu	mesafe başlatması ile ▼
1305	T1-1 faz, tek faz arızalar için gecikme	0.00 sn
1306	T1 çok-faz, çok fazlı ar. için gecikme	0.00 sn
1315	T2-1 faz, tek faz arızalar için gecikme	0.40 sn
1316	T2 çok-faz, çok fazlı ar. için gecikme	0.40 sn
1325	T3 gecikmesi	0.80 sn
1335	T4 gecikmesi	1.20 sn
1345	T5 gecikmesi	1.60 sn
1365	T6 gecikmesi	2.00 sn
1355	T1B-1 faz, tek faz arızalar için gecikme	0.05 sn
1356	T1B çok-faz, çok fazlı ar. için gecikme	0.05 sn

Şekil Ek-5c. Empedans rölesi mesafe koruma zaman gecikme ayarları örneği

## EK-5ç



Mesafe kademeleri (quadrilateral) - Ayar Grubu A

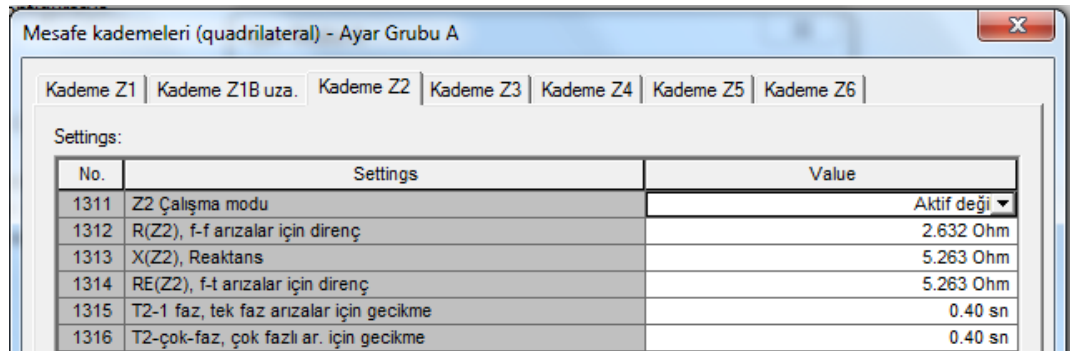
Kademe Z1 | Kademe Z1B uza. | Kademe Z2 | Kademe Z3 | Kademe Z4 | Kademe Z5 | Kademe Z6

Settings:

No.	Settings	Value
1301	Z1 Çalışma modu	ller ▼
1302	R(Z1), f-f arızalar için direnç	1.316 Ohm
1303	X(Z1), Reaktans	2.632 Ohm
1304	RE(Z1), f-t arızalar için direnç	2.632 Ohm
1305	T1-1 faz, tek faz arızalar için gecikme	0.00 sn
1306	T1 çok-faz, çok fazlı ar. için gecikme	0.00 sn
1307	Kademe Düşürme Açısı (yük denkleştirme)	0 °

Şekil Ek-5ç. Empedans rölesi mesafe kademe 1. Bölge ayarları örneği

## EK-5d



Mesafe kademeleri (quadrilateral) - Ayar Grubu A

Kademe Z1 | Kademe Z1B uza. | Kademe Z2 | Kademe Z3 | Kademe Z4 | Kademe Z5 | Kademe Z6

Settings:

No.	Settings	Value
1311	Z2 Çalışma modu	Aktif deği ▼
1312	R(Z2), f-f arızalar için direnç	2.632 Ohm
1313	X(Z2), Reaktans	5.263 Ohm
1314	RE(Z2), f-t arızalar için direnç	5.263 Ohm
1315	T2-1 faz, tek faz arızalar için gecikme	0.40 sn
1316	T2 çok-faz, çok fazlı ar. için gecikme	0.40 sn

Şekil Ek-5d. Empedans rölesi mesafe kademe 2. bölge ayarları örneği



## EK-5e

Mesafe kademeleri (quadrilateral) - Ayar Grubu A

Kademe Z1 | Kademe Z1B uza. | Kademe Z2 | Kademe Z3 | Kademe Z4 | Kademe Z5 | Kademe Z6

Settings:

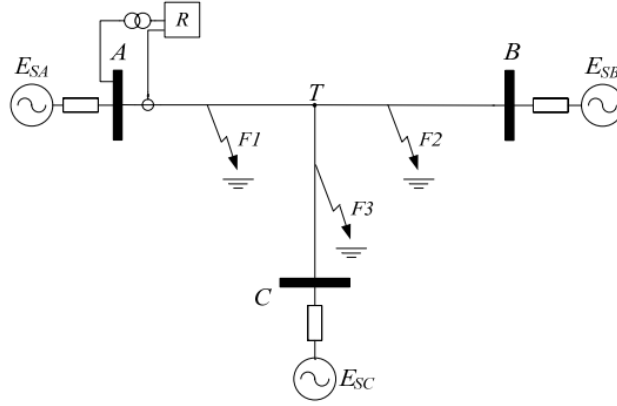
No.	Settings	Value
1321	Z3 Çalışma modu	Aktif değİ ▼
1322	R(Z3), f-f arızalar için direnç	5.263 Ohm
1323	X(Z3), Reaktans	10.526 Ohm
1324	RE(Z3), f-t arızalar için direnç	10.526 Ohm
1325	T3 gecikmesi	0.80 sn

Şekil Ek-5e. Empedans rölesi mesafe kademe 3. bölge ayarları örneği



**EK-6**

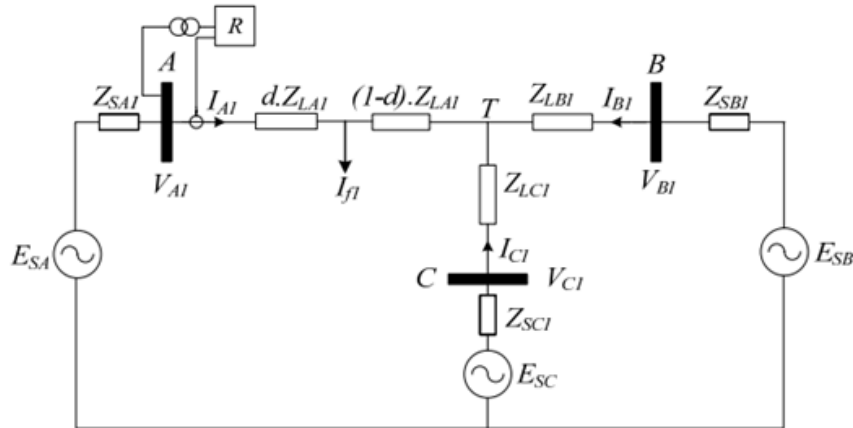
**EK-6a**



Şekil Ek-6a. Tipik üç terminalli iletim hattı [39]

**EK-6b**

A-T arasındaki arıza modeli: Üç terminalli yapıda A-T arasındaki arızanın modellenmesi.



Şekil Ek-6b. A-T hattında pozitif dizi devresi [39]

A-T hattı arıza mesafesi katsayısı ( $d_1$ ):

$$d_1 = \frac{Im\{Z_{A\phi} \cdot \beta_{12}^*\}}{Im\{Z_{LA} \cdot \beta_{12}^*\}}$$

(Ek 6.1)

A rölesinin A-T arasındaki arıza noktasına olan arıza empedansı:

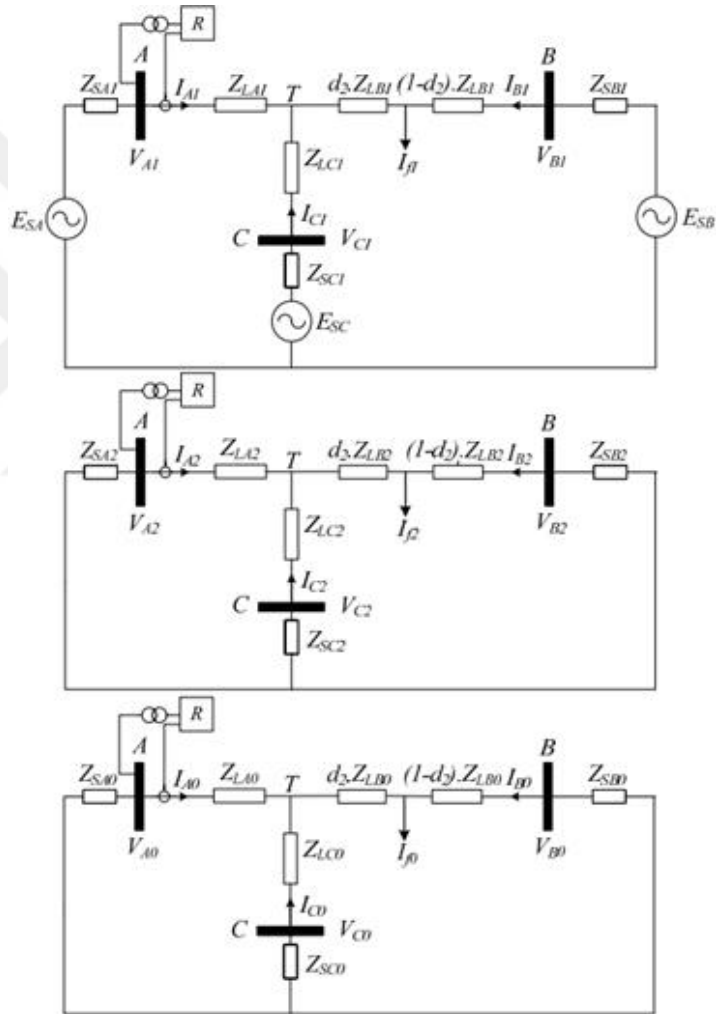
$$Z_{seen} = d_1 \cdot Z_{LA}$$

(Ek 6.2)

şeklinde hesaplanır [39].

### EK-6c

T-B arasındaki arıza modeli: Üç terminalli yapıda T-B arasındaki arızanın modellenmesi.



Şekil Ek-6c. T-B hattında pozitif ve negatif ve sıfır dizi devreleri [39]

T-B hattı arıza mesafesi katsayısı ( $d_2$ ):

$$d_2 = \frac{Im\{[Z_{A\phi} - Z_{LA}].\beta_{12}^*\}}{Im\{[Z_{LB}.(1 + \rho_1)].\beta_{12}^*\}} \quad (\text{Ek 6.3})$$

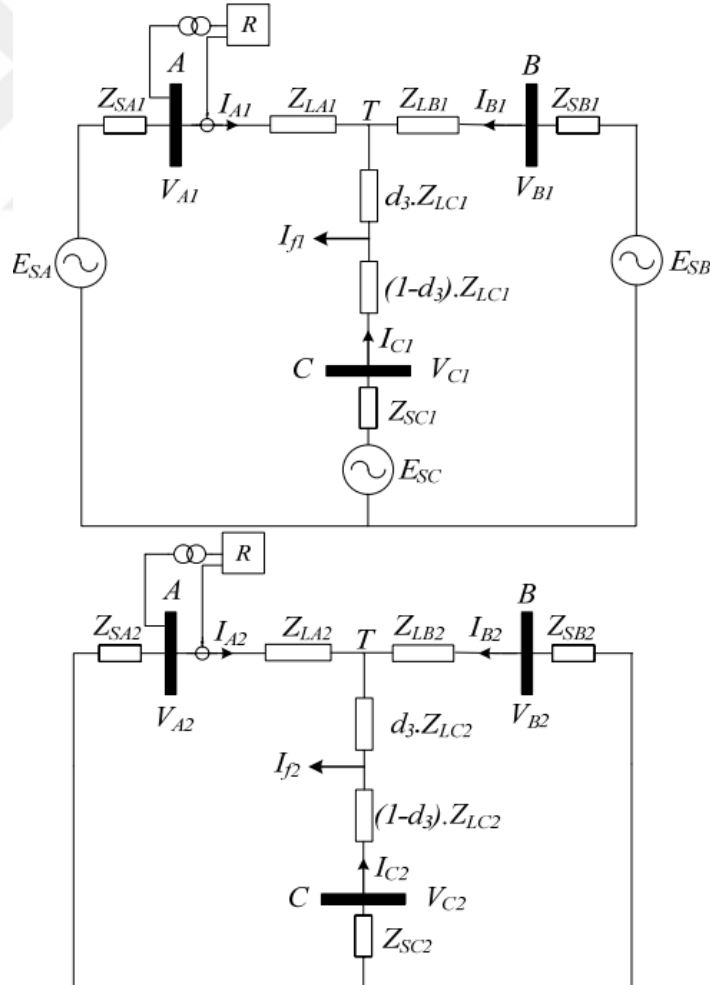
B rölesinin T-B arasındaki arıza noktasına olan arıza empedansı:

$$Z_{seen} = Z_{LA}.(1 + d_2.\frac{Z_{LB}}{Z_{LA}}) \quad (\text{Ek 6.4})$$

şeklinde hesaplanır [39].

### EK-6ç

C-T arasındaki arıza modeli: Üç terminalli yapıda T-C arasındaki arızanın modellemesi.



Şekil Ek-6ç. T-C hattında pozitif ve negatif dizi devreleri [39]

T-C hattı arıza mesafesi katsayısı ( $d_3$ ):

$$d_3 = \frac{\text{Im}\{[Z_{A\varphi} - Z_{LA}] \cdot \beta_{12}^*\}}{\text{Im}\{[Z_{LC}(1 + \rho_2)] \cdot \beta_{12}^*\}} \quad (\text{Ek 6.5})$$

C rölesinin T-C arasındaki arıza noktasına olan arıza empedansı:

$$Z_{seen} = Z_{LA} \left(1 + d_3 \cdot \frac{Z_{LC}}{Z_{LA}}\right) \quad (\text{Ek 6.6})$$

şeklinde hesaplanır [39].



## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Altun İ**, Demirci A, An Application and Investigation of IEC61850 Based Relay Protection and GOOSE Messaging, *4th Anatolian Energy Symposium with International Participation*, Presented at Symposium, Trakya University, Edirne, 2018.



## ÖZGEÇMİŞ

İhsan Altun 1976'de Şavşat'ta doğdu. Lise öğrenimini Samsun Atakum Anadolu Teknik Lisesi Elektronik bölümünde tamamladı. 1994 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden 1999 yılında mezun oldu. Sonrasında Diler Demir Çelik A.Ş. (2001-2004), Ford Otosan A.Ş. (2004-2008), Siemens A.Ş Akıllı Şebekeler Enerji Otomasyonu (2008-2014) fabrikalarında çalıştı.

Siemens A.Ş'de Enerji İletimi ve Dağıtımı, Akıllı Şebekeler bölümlerinde yüksek gerilim ve orta gerilim substation otomasyonu proje uzmanı olarak yurt içi ve yurtdışında 380-154-33-11 kV seviyesinde elliye yakın projede görev aldı. Teiaş RTU, sekonder frekans kontrol, SCADA projelerinde görev aldı. Hidrolik, rüzgar ve jeotermal elektrik santralleri, Tüpraş, Gebkim, Kayseri Organize Sanayi bölgeleri, Sabiha Gökçen ve Atatürk Havalimanı, SEDAŞ, AYDEM, KCETAŞ, TEİAŞ, Kıbrıs Kıbtek, Türkmenistan Olimpiyat Kompleksi, Irak yüksek gerilim ve orta gerilim elektrik dağıtım scada projeleri gerçekleştirdi.

2011'de Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başladı. Yüksek lisans eğitiminde iletim ve dağıtım hatlarında koruma otomasyonu ve uygulamaları konusunda çalışmaları bulunmaktadır. 2014 yılında Siemens A.G. Almanya'da, 2015'ten sonra Siemens A.Ş. Türkiye'de bilgisayar tabanlı PLC test uzmanı olarak çalışmasına devam etmektedir.