İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE ADAPTİF KORUMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anıl Çağlar DOĞANCI

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

OCAK 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE ADAPTİF KORUMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anıl Çağlar DOĞANCI
(504101003)

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ömer GÜL

OCAK 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504101003 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Anıl Çağlar DOĞANCI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE ADAPTİF KORUMA"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Ömer GÜL** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Yrd.Doç.Dr. Hatice Lale ZEYNELGİL** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Recep YUMURTACI Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **10 Aralık 2013**
Savunma Tarihi : **22 Ocak 2014**

Sevgili aileme
ve değerli hocam Ömer GÜL'e,

ÖNSÖZ

Elektrik mühendisliğinin temel konularından birisi olan elektrik enerji kalitesinin arttırılması için, hatalı çalışmaların minimum düzeyde tutulup elektrik enerjinin sürekliliği sağlanmalıdır. Bu amaçla son yıllarda geliştirilen ve hızla yaygınlaşan sayısal koruma rölelerinin haberleşme imkânları kullanılarak, elektrik dağıtım şebekelerinde hatalı çalışmaların önüne geçmek için uygun çözümler üretilebilmektedir. Bu çalışmada sayısal koruma röleleri ve SCADA sistemi kullanılarak elektrik dağıtım sisteminin durumuna göre hareket edebilen adaptif bir koruma sistemi tasarlanarak uygulaması yapılmıştır.

Tez çalışmamın başından sonuna kadar her aşamasında, sonsuz sabır ve desteğiyle hep yanımda olan, eleştiri ve katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanım Doç. Dr. Ömer GÜL'e teşekkür ederim.

Çalışmam süresince bana destek olan nişanlıma, güzel bir eğitim almam için yıllardan beri hiçbir fedakârlıktan çekinmeyen emekli öğretmen anne ve babama, stresli olduğum dönemlerde yardımlarını esirgemeyen fen ve teknoloji öğretmeni ablama teşekkür ederim.

Aralık 2013

Anıl Çağlar Doğancı
(Elektrik ve Kontrol Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1.GİRİŞ **1**
1.1 Literatür Özeti 3
1.2 Tezin Bölümleri 9
2. ELEKTRİK TESİSLERINDE KORUMA **11**
2.1 Koruma Sistemini Oluşturan Elemanlar 11
2.2 Koruma Sisteminden Beklenen Özellikler (Etkin Koruma) 12
2.2.1 Seçicilik 12
2.2.2 Hızlı çalışma 13
2.2.3 Güvenilir çalışma 13
2.2.4 Yedek koruma 14
2.2.5 Ekonomik olma 14
2.2.6 Kararlı olma 15
3. KISA DEVRE HESABI **17**
3.1 Kısa Devrenin Ortaya Çıkma Nedenleri ve Sonuçları 18
3.2 Kısa Devre Akımı 18
3.3 Kısa Devre Tipleri 19
3.4 Kısa Devre Hesabı İçin Gerekli Veriler 21
3.4.1 Genaratörler 21
3.4.2 Transformatörler 22
3.4.3 Hatlar 22
3.4.4 Asenkron motorlar 23
3.4.5 Şebeke empedansı 23
3.4.6 Farklı gerilim seviyelerinde empedans değerinin değişimi 23
3.5 Kısa Devre Akımın Hesabı 24
4. AŞIRI AKIM KORUMA RÖLELERİ İLE SEÇİCİLİK VE KOORDİNASYON **27**
4.1 Koruma Rölesi 27
4.2 Aşırı Akım Rölesinin Koruma İlkesi 27
4.3 Aşırı Akım Koruma Rölelerinin Karakteristikleri 29
4.3.1 Bağımsız karakteristik 29
4.3.2 Bağımlı karakteristik 30
4.4 Aşırı Akıma Karşı Korumada Seçicilik Koşulları 32
4.5 Akım Karakteristikli Seçicilik 33
4.6 Zaman Karakteristikli Seçicilik 34
4.7 Mantıksal Seçicilik 36

4.8 Yönlü Seçicilik 36
5. ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE ADAPTİF KORUMA 39
5.1 Ringin Açık veya Kapalı Olması Durumu 40
5.2 Zamana Göre Aşırı Yük Değişimi 42
5.3 Büyük Güçlü Asenkron Motorlara Kondansatörlü veya Kondansatörsüz Yol Verme 43
5.4 Senkron Generatörün Şebeke ile Senkronizasyonu 44
5.5 Senkron Generatörün Ada Modunda Çalışması 46
5.6 Orta Gerilim Dağıtım Şebekesinin Dallı Yapıda Olması 48
5.7 Yedek Güç Sistemlerinin Şebeke Kısa Devre Gücüne Etkisi 49
5.8 SCADA Yazılımı ve Görevi 50
5.9 RTU ve Görevi 50
6. SCADA TABANLI ADAPTİF KORUMA UYGULAMASI 53
6.1 Elektrik Dağıtım Sisteminin Tanımı 53
6.2 Elektrik Dağıtım Sisteminin Sahip Olduğu Mevcut SCADA Sisteminin Tanımı 54
6.3 Elektrik Dağıtım Sistemindeki Senaryoların Belirlenmesi 56
6.4 Elektrik Dağıtım Sisteminin Senaryolarına Uygun Koruma Parametrelerinin Oluşturulması 59
6.5 Elektrik Dağıtım Sisteminin Senaryolarının SCADA'ya Tanımlanması 63
6.5.1 Elektrik dağıtım sisteminin şebekeden bağımsız olarak tek generatör ile beslenme durumu 63
6.5.2 Elektrik dağıtım sisteminin şebekeden bağımsız olarak çift generatör ile beslenme durumu 65
6.5.3 Enerji Sisteminin Direkt Şebekeye Bağlı Olması veya 3 Generatörle Beslenme Durumu 66
6.6 Senaryoya Göre Uygun Komutların SCADA'dan RTU'ya Gönderilmesi 67
6.6.1 SCADA'dan komut yollamak için gerekli komut fonksiyonlarının oluşturulması 68
6.6.1.1 Komutların otomatik olarak koruma rölesine gönderilmesi 69
6.6.1.2 Komutların istenildiği zaman koruma rölesine gönderilmesi 70
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 73
KAYNAKLAR 77
EKLER 79
ÖZGEÇMİŞ 83

KISALTMALAR

SCADA **:** Supervisory Control and Data Acquisition
DÜS **:** Dağıtık Üretim Santrali
RTU **:** Remote Terminal Unit
NI **:** Normal Inverse
VI **:** Very Inverse
EI **:** Extremely Inverse
OG **:** Orta Gerilim

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1: IEC 60909'a göre gerilim faktörü c 25
Çizelge 5.1: Koruma rölelerinin ikili girişler ile ayar gruplarının oluşturması [20] . 40
Çizelge 5.2: Kondansatör grubunun devrede olup olmamasına göre K2 kesicisine bağlı olan koruma rölesinin ayar grup değişimi 44
Çizelge 5.3: Ada modu bilgisine göre K2 kesicisine bağlı koruma rölesinin ayar grup değişimi..... 48
Çizelge 6.1: Elektrik dağıtım sisteminin 4 farklı beslenme durumu için IEC 909/2001'e göre 3 faz kısa devre anında kapalı ring şebekede trafo merkezlerinden birbirlerine doğru akacak olan akımların değerleri..... 58
Çizelge 6.2: Trafo merkezlerindeki 3 faz kısa devre anında sağından ve solundan akacak olan minimum kısa devre akımların farkı..... 60
Çizelge 6.3: TR 14'te meydana gelen 3 faz arızasında TR 13 ve TR 16'dan akacak olan kısa devre akımları..... 61
Çizelge 6.4: Elektrik dağıtım sisteminin koruma parametreleri..... 62

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: IEEE 123 düğümlü test sisteminde hatalı çalışma durumları [4] 4
Şekil 1.2: IEEE 13 düğümlü test sisteminde hatalı çalışma durumu [4] 4
Şekil 1.3 : IEEE 123 düğümlü test sistemim yapısının değişimine neden olan işletme manevraları [4] 5
Şekil 1.4: IEEE 13 fiderli elektrik dağıtım sisteminin yapısının değişimine neden olan işletme manevrası [4] 6
Şekil 1.5: 7 baralı elektrik dağıtım sistemi 7
Şekil 1.6: Sisteme generatör bağlandıktan sonra koruma rölesinin güvenilir koruma bölgesindeki değişim [5] 8
Şekil 1.7: Generatör sistem yükünün %10'unu sağlarken tespit edilebilecek maksimum arıza direnci (R_f) [5] 8
Şekil 2.1: Koruma sisteminde seçicilik prensibi [10] 13
Şekil 3.1: Kısa devre reaktansların zamana göre değişimi [14] 18
Şekil 3.2: Kısa devre akımının zamana göre değişimi [12] 19
Şekil 3.3: Arıza tipleri ve kısa devre akımlarının gösterilmesi [14] 20
Şekil 4.1: Tek fazlı aşırı akım rölesinin blok diyagramı [17] 28
Şekil 4.2: Bağımsız karakteristik [18] 30
Şekil 4.3: Bağımlı ve bağımsız karakteristik [18] 30
Şekil 4.4: NI, VI ve EI karakteristiklerinin karşılaştırılması [18] 31
Şekil 4.5: Koruma rölesi ayar karakteristiği [18] 32
Şekil 4.6: Akım karakteristikli seçicilik [10] 33
Şekil 4.7: Akım karakteristikli seçicilik eğrileri [10] 34
Şekil 4.8: Zaman karakteristikli seçicilik [10] 34
Şekil 4.9: Koruma röleleri zaman karakteristikleri [10] 35
Şekil 4.10: Mantıksal seçicilik [10] 36
Şekil 4.11: Yönlü seçicilik [10] 37
Şekil 4.12: Yönlü seçicilikte koruma sisteminin çalışması [10] 37
Şekil 5.1: Koruma rölelerinin ikili girişleri ile ayar grup seçim yapan anahtarın bağlantı şeması [20] 40
Şekil 5.2: Örnek bir ring şebeke yapısı 41
Şekil 5.3: Asenkron motora kondansatörlü veya kondansatörsüz olarak yol verilmesi 43
Şekil 5.4: Generatörün şebeke ile paralele alınması 45
Şekil 5.5: Senkron generatörün ada modunda çalışıp çalışmaması 47
Şekil 5.6: OG dağıtım şebekelerinde saplama kullanımı 49
Şekil 5.7: Örnek bir RTU [22] 51
Şekil 6.1: Elektrik dağıtım sistemi 53
Şekil 6.2: SCADA sistem mimarisi 55
Şekil 6.3: Elektrik dağıtım sisteminin SCADA'daki tek hat görünümü 56
Şekil 6.4: Elektrik dağıtım sisteminin SINCAL yazılımındaki yapısı 57
Şekil 6.5: TR 14'deki arıza esnasında akacak olan akımlar 61
Şekil 6.6: Senaryo A'da aktif olması gereken Ayar Grup-A'nın sayısal devresi 64

Şekil 6.7: Senaryo A'nın SCADA'ya tanıtılması 64
Şekil 6.8: Senaryo B'de aktif olması gereken Ayar Grup-B'nin sayısal devresi 65
Şekil 6.9: Senaryo-B'in SCADA'ya tanıtılması 65
Şekil 6.10: Senaryo-C'de aktif olması gereken Ayar Grup-C'nin sayısal devresi 66
Şekil 6.11 : Senaryo-C'nin SCADA'ya tanıtılması 67
Şekil 6.12: 1704 nolu koruma rölesinin 3 farklı ayar grubu için oluşturulan 3 farklı komut fonksiyonu 68
Şekil 6.13: 1704 nolu koruma rölesine ait komut fonksiyonlarının yolladığı analog output değerleri 68
Şekil 6.14: Ayar grup B için script oluşturulması 69
Şekil 6.15: INTERN değişken B'nin bir (1) olduğunda çalıştıracağı Script 69
Şekil 6.16: Koruma röleleri ayar grup sayfası 70
Şekil 6.17: Örnek bir komut fonksiyonunun tuşa atanması 70
Şekil 6.18: Örnek bir fiderin farklı durumlardaki ayar grup değerleri 71
Şekil B.1: Elektrik dağıtım sistemindeki ring şebeke boyunca dolanan kablonun katalog bilgileri 81
Şekil B.2: Elektrik dağıtım sistemindeki ring şebeke boyunca dolanan kablonun dayanabileceği maksimum akım değeri 81
Şekil C.1: Elektrik dağıtım sistemindeki generatörlerin özellikleri 82

ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE ADAPTİF KORUMA

ÖZET

Elektrik dağıtım sistemi işleticileri, elektrik enerjisini ekonomik olarak kabul edilebilir maliyetlerle ve mümkün olan asgari kesinti süresi ve sıklığı ile kullanıcılarına sunabilmeleri gerekmektedir. Ancak, elektrik dağıtım şebekelerinin tasarımı ve yapımı ne kadar iyi olursa olsun işletilmeleri sırasında çeşitli hatalar ve arızalar ile karşılaşılmaktadır. Ortaya çıkan hatalar ve arızaların hem şebeke elemanlarına etkilerinin en aza indirilmesi hem de insan hayatına ilişkin tehlikeyi sınırlamak için koruma sistemleri kullanılmaktadır.

Son yıllarda hızla artan yenilenebilir enerji kaynakları elektrik dağıtım sistemlerine orta gerilim ve alçak gerilim seviyesinde bağlanmaktadır. Tek yönlü enerji akışına göre tasarlanmış ve işletilen elektrik dağıtım şebekelerine bağlanan dağıtık üretim kaynakları yeni problemler ortaya çıkartmaktadır. Ortaya çıkan bu problemlerin aşılması yenilenebilir kaynakların yaygınlaşması bakımından da önem arz etmektedir.

Günümüzde haberleşme teknolojileri gelişerek birçok elektronik cihazda uygulanabilir hale gelmiştir. Bu yenilik koruma rölelerinde de uygulanmış ve farklı haberleşme protokollerine sahip sayısal koruma rölelerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu sayede koruma röleleri daha esnek, akıllı ve üstün özelliklere sahip olmuşlardır.

Sayısal koruma röleleri sahip oldukları haberleşme imkânları sayesinde, klasik koruma sistemlerinin yetersiz kalıp hatalı çalışma yaptığı durumlar için çözümler sunabilmektedir. Koruma yaptıkları bölgedeki ekipmanların pozisyonlarından ve sistemin durumundan haberdar olarak çalışabilen koruma röleleri, mevcut koruma parametrelerini sistemin durumuna göre değiştirebilirler. Böylece koruma sistemlerini dinamik hale getirip, adaptif bir koruma sistemi olmasını sağlarlar.

Adaptif koruma sistemleri özellikle birden fazla beslenme senaryosuna sahip olan dağıtım sistemlerinde hatalı çalışmaların önüne geçmek için çözüm olmaktadır. Bunun yanı sıra, mevsimsel yük değişiminin fazla olduğu, yeniden yapılandırmalara açık olan ve ihtiyaç halinde generatörlerin devreye girip çıktığı sistemlerde de adaptif koruma sistemleri kullanılabilir. Adaptif koruma sistemlerindeki koruma röleleri farklı senaryolar için farklı ayar gruplarını kullanabilir. Bu sayede koruma sisteminin, elektrik dağıtım sisteminin durumuna en uygun koruma parametreleri ile çalışmasını sağlayarak güvenirliliği arttırırlar.

Adaptif koruma sistemleri tasarlanırken ilk olarak, elektrik dağıtım sisteminin çalışma senaryoları oluşturulur. Her bir senaryo için arıza analizleri yapılarak koruma parametreleri hesaplanır ve ayrı ayrı gruplanır. Böylece senaryo sayısı kadar ayar grup sayısı elde edilir. Bu işlemin ardından ayar grupları koruma rölelerinde tanımlanır.

Sistemin senaryolarına uygun ayar gruplarının koruma rölelerinde aktif hale getirilebilmesi için, akıllı bir cihaz ya da sisteme oluşturulan tüm senaryolar tanımlanır. Bu görevi yapması için SCADA sisteminden faydalanılabilir. SCADA sistemi önceden belirlenmiş olan senaryolar gerçekleştiğinde koruma rölelerine komut yollayarak koruma ayar grubunu değiştirir. Böylece koruma sisteminin dinamik bir yapıda olması sağlanarak, dağıtım sistemini adaptif olarak koruması gerçekleştirilir.

Bu tez çalışmasında klasik koruma sistemlerinin yetersiz kaldığı durumlar örnek dağıtım sistemleri kullanılarak incelenmiştir. Hatalı çalışmaların önüne geçebilmek için klasik koruma sistemleri yerine dinamik bir yapıya sahip olan adaptif koruma sistemlerinin kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Adaptif koruma sistemlerinin klasik koruma sistemlerinden daha etkin koruma yaptığı savunulmuştur.

Bununla beraber bu çalışmada klasik koruma sistemi ile korunan, işletme manevralarına bağlı olarak, farklı beslenme durumlarına sahip olan gerçek bir elektrik dağıtım sisteminin hatalı çalışma problemi ele alınmıştır. Bu problemi çözmek için, elektrik dağıtım sisteminin tüm çalışma senaryoları oluşturulup SINCAL yazılımında senaryolara ait kısa devre arıza analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları ve kullanılan ekipmanların katalog bilgileri göz önüne alınarak senaryo adedince koruma ayar grupları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu ayar grupları SICAM 230 SCADA yazılımında da tanımlanarak, uygun şartlar oluştuğunda koruma rölelerinde otomatik olarak aktif hale gelmesi sağlanmıştır.

ADAPTIVE PROTECTION FOR ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEMS

SUMMARY

Electrical distribution system operators should be able to provide electrical energy to their users with economically acceptable cost and the minimum possible duration and frequency of interruption. However, the design and construction of the electrical distribution network has done correctly, they encounter various faults and failures during their operation. Protection systems are used to minimize the effects of these faults to other network elements and danger on human life.

Protection systems aim to detect fault and fault type for continuity of energy. In order to fullfill this task, protection systems must work with high speed, reliability and selectivity. All of these properties are provided by correct protection relay coordination. Unfortunately, although protection relays have a correct coordination, in some special situations they can not work correctly. For instance, whenever protection area which is under the responsibility of relay is changed, protection relay starts to work incorrectly.

One of the common problems about this issue occur when electric distribution system's operating status is changed from "open ring" to "close ring" or opposite. "Open ring" or "close ring" state operations directly cause a change in short-circuit current value. For instance in case of any fault, if electric distribution system is being operated in "open ring" and has a magnitude of 1A fault current; it will has a more than 1A fault current in "close ring". Thus, protection relays must have more than one protection parameter for "open ring" and "closed ring" to work correctly.

Moreover, at areas, where are affecting from weather conditionals a lot, have problems about protection relay coordination. This is why, at summer time consume of electricity is greater than at winter time. Therefore, if the protection system is designed for winter time, it will make wrong operations at summer time. To solve this problem protection system must have two setting groups for each season.

In addition, to reduce the inrush current of asynchronous machines, capacitors are connected parallel to the induction machines. This additional paralel connection affects the protection system negatively because it changes the magnitude of the inrush current. When asynchronous machine has a capacitor bank; current value, which comes from network, decreases. As a result, capacitor bank changes the protection settings of protection relay.

Furthermore, synchronous generators' synchronization relays must compare and check the magnitude of the voltage. Unfortunately, this value is not fixed and depends on the state of the circuit breakers which are connected the generator. To achieve this problem, synchronization relays must be informed the position of circuit breakers' position and use different setting groups to measure and compare the voltage magnitude.

Other problem about synchronous generator is changes in generator mode. Basically, generator has two operating modes. One of them is “parallel mode with network”, other one is “island mode”. At island mode, generator only feeds the loads and doesn’t export to network active power. While working this independent mode, generator’s protection parameters about time settings are shorter than parallel mode. Having two different time settings and one protection relay, requires the use of two different setting groups.

What is more, diesel generators which are used for backup power system, change the electrical network’s short circuit power. So that, number of active diesel generator directly changes the magnitude of short circuit current. In this case, number of protection relays’ setting group must be equal the number of the diesel generator which can be active whenever necessary.

Protection relays are expected to continue their tasks in these different situations. In other words, protection relays must not be affected from the changes in the structure of its protection zone. To achieve this, protection relays should notice the changes in their protection zone.

In recent years, the rapidly growing renewable energy sources to the electricity distribution system is connected to the medium voltage and low voltage level, which were designed for one-way flow of energy primarily. This growth has created new problems of distributed generation sources. To overcome these problems is a vital importance.

Today, communication technology has developed to be applicable in many electronic devices. This innovation also applied in the protection relay and different communication protocols has led to the emergence of numerical protection relays. In this way, protection relays have become more flexible, intelligent and outstanding features.

Thanks to communication facilities they have, numerical protection relays provide solutions to situations in which a malfunction can be made by insufficient mold of conventional and classical protection systems. Depending on the state of the system and their position in the region, the system will know the status of equipment that can function and current protection parameters may change as a result. This leads protection systems to become dynamic and be an adaptive system.

Adaptive protection systems, especially in the distribution systems which have multiple operational scenarios, are the solution in order to prevent faulty operation. In addition to this, systems where seasonal load changes or re- configurations occur are in need of adaptive protection systems. Adaptive protection system protection relays can use different settings for different scenarios. By the condition of the network, protection system will provide optimum protection parameters, so the reliability of the sistem will be increased.

When designing a adaptive protection system first of all, electrical distribution system’s operating scenarios are created. Protection parameters for each scenario are calculated and analyzed and grouped separately. Thus, number of the setting groups and number of the scenarios will be same. Following this transaction, setting groups are defined to protection relays.

To work with the optimal setting group, which belongs to the scenario of the electrical distribution system, intelligent device or system should be used. To do this

task, SCADA systems may be utilized. SCADA system is able to send the commands to protection relays, when the pre-defined scenarios are occurred. Thus, protection relay's setting groups are changed automatically by SCADA system. Thereby ensuring that the dynamic structure of the protection system, distribution system protection is provided adaptively.

In this thesis, classic protection system's failure situations were investigated by using sample electric distribution systems. In addition it was emphasized that, in order to prevent mis-operations, instead of using classic protection systems, adaptive protection system which has a dynamic structure should be used. Moreover, it was argued that, adaptive protection systems are more effective than the classic protection systems.

Furthermore, in this study problem of mis-operations in real electric distribution system, which has a classic protection system and has a different feeding scenario, was discussed. To solve this problem, the whole operation scenarios of the electric distribution system scenarios were created and short-circuit fault analysis were performed for all scenarios by using SINCAL software. According to results of the analysis and the catalog information of the equipments, setting groups were created. These setting groups are also defined in SICAM 230 SCADA software. Thus, when the conditions are suitable to change the setting group of protection relays, SCADA provides this change automatically.

1. GİRİŞ

Ülkemizde elektrik enerjisi ihtiyacı hidroelektrik, termik ve yenilenebilir enerji santrallerinden karşılanmaktadır. Elektrik üretim santrallerinde orta gerilim seviyesinde üretilen elektrik enerjisi, uzak mesafelere ulaşabilmesi için transformatörler aracılığıyla yüksek gerilimlere dönüştürülmektedir. Yüksek gerilimli elektrik enerjisi, üretildiği bölgeden havai hatlarla ihtiyaç duyan farklı bölgelere iletilerek şalt merkezlerinde tekrar orta gerilime indirilmekte, böylece dağıtım şebekelerinden beslenen sanayi tesislerinin kullanabileceği seviyeye düşürülmektedir. Dağıtım şebekelerinden beslenen konut ve küçük işletmelere alçak gerilim sağlanması için ise dağıtım transformatörleri kullanılmaktadır.

Elektrik enerjisinin kesintisiz ve kaliteli bir şekilde taşınabilmesi için, üretimden tüketime kadar olan süreçte işletme elemanlarının arızalara karşı korunması gerekmektedir. Elektrik enerjisinin iletilmesinde ve dağıtılmasında kullanılan koruma ekipmanları içerisinde en önemli görevi ise koruma röleleri üstlenmektedir [1].

Elektrik dağıtım sistemindeki koruma rölelerinin esas görevi ise arızayı ve arıza tipini tespit edip gerekli açma sinyalini üretmektir. Koruma röleleri bu görevi yerine getirirken aynı zamanda oluşan bir arızada arızalı bölgenin sistemden ayrılarak, arızasız bölümlerin enerjisiz kalmasını engellemeyi de amaçlamaktadır. Bütün bu görevlerin yerine getirilmesi, sistem yapısına uygun koruma röle koordinasyonu konusunu ön plana çıkartmaktadır. Doğru bir röle koordinasyonu sistem güvenilirliği ile birlikte arızadan kaynaklı kayıpların da azaltılmasını sağlamaktadır.

Mevcut bir elektrik dağıtım şebekesindeki koruma röleleri doğru parametrelenip uygun bir koordinasyona sahip olsalar dahi, işletme sırasında oluşabilen konfigürasyon değişimleri, dağıtım sistemindeki yeniden yapılandırmalar, güç akış yönünü değiştiren generatörlerin sisteme ilave edilmesi, yaz-kış dönemlerinde talep edilen enerji değişimleri, rüzgar – buz yükünün oluşturabileceği etkiler vb. nedenlerden dolayı hatalı çalışma yapabilmektedirler.

Ülkemizde her geçen gün artan elektrik enerji talebi, üretim – iletim – tüketim zincirinde farklı arayışlara gidilmesini zorunlu hale getirmektedir. Bu arayışların bir sonucu tüketim noktalarına yakın yerlerde üretimin gerçekleştirilmesi, yapılan üretimin orta gerilim seviyesinden diğer bir ifade ile dağıtım seviyesinden ihtiyaç noktalarına sağlanmasıdır. Bu amaçla devlet gerekli teşviklerde bulunmakta, büyük güçlü işletmelerin, sanayi tesislerinin kendi tüketimlerini karşılayacak üretim birimlerine sahip olmalarını desteklemektedir. Bu da dağıtım seviyesine bağlı generatörlerin sayısında artış anlamına gelmektedir. Dağıtım sistemine bağlanan generatörler, dağıtık üretim santrali (DÜS) vazifesi görmekte ve uygulaması her geçen gün yaygınlaşmaktır. DÜS'lerin artışı elektrik enerjisinin sağlanması açısından büyük faydalar sağlamakla beraber bazı problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır [2]. Elektrik dağıtım sistemine bağlanan DÜS'ler sistemdeki koruma rölelerinin mevcut koruma parametrelerini, güç akış yönü değişimi nedeni ile geçersiz hale getirmektedir. Bu durum ise mevcut koruma sistemlerinin hatalı çalışma potansiyelinin artmasına ve güvenilirliklerinin azalmasına neden olmaktadır.

Bu durumun önüne geçilmesi için öncelikli olarak koruma rölelerinin sistem yapısına uygun hale getirilmesi ve sistemdeki her türlü değişimi algılayarak ilgili parametre değişimlerini gerçekleştirebilmesi gerekmektedir. Bu noktada yetersiz kalan klasik koruma sistemleri yerini adaptif (değişime uyumlu) koruma sistemlerine bırakmaya başlamıştır.

Adaptif koruma sistemleri, sahip olduğu birden çok ayar grubu sayesinde, koruma rölesinin koruduğu bölgenin durumuna göre koruma ayar parametrelerinin değişimini sağlamaktadır. Böylece, koruma sistemi farklı işletme durumlarına uyum sağlayarak koruma sisteminin hatalı çalışma ihtimalini minimuma indirebilmektedir. Adaptif koruma sistemleri sahip oldukları bu dinamik yapı sayesinde, klasik koruma sistemleri ile karşılaştırıldığında daha seçici ve güvenilir koruma sunmaktadır. Bu nedenle günümüzde elektrik dağıtım firmaları ve kendi elektrik üretimini yapan işletmeler klasik koruma sistemleri yerine adaptif koruma sistemlerini tercih etmektedir.

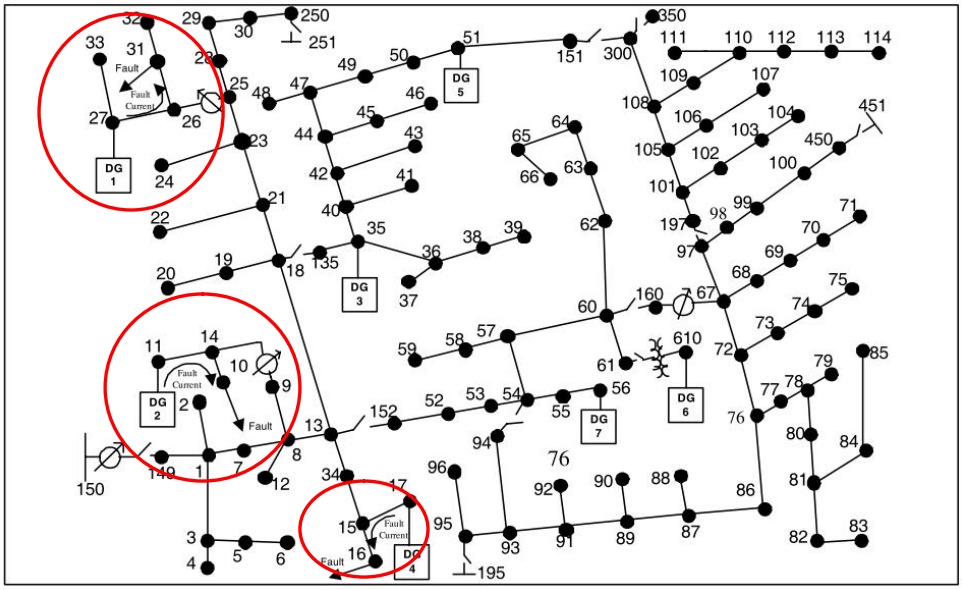
1.1 Literatür Özeti

Yakın geçmişe kadar elektrik dağıtım sistemleri tek bir ana kaynağa bağlı şebeke yapısı olan radyal şebeke yapısındaydı [3]. Ancak günümüzde ülkemizde ve dünyada nüfus yoğunluğuna, ilerleyen teknolojiye bağlı olarak artan elektrik enerjisi talebi, tüketime yakın noktalardan üretim sağlayan küçük güçlü ve çok sayıda olan yenilenebilir enerji üretim biriminin artmasına neden olmuştur. Dağıtık enerji kaynaklarının elektrik dağıtım şebekelerine bağlanmasının bir sonucu olarak radyal yapıdaki elektrik dağıtım sistemleri yerini birden fazla kaynaktan beslenen elektrik dağıtık sistemine bırakmaktadır [4,5].

Klasik elektrik dağıtım sistemlerinin topolojisi, kontrolü ve koruması güç akışının transformatör merkezinden yüke doğru olduğu varsayılarak tek yönlü olarak tasarlanmaktadır [5]. Bu varsayım ile parametrelendirilmiş klasik fider koruma sistemleri standart bir transformatör merkezi koruma sisteminin bir parçası olup, önceden belirlenmiş olan bir arıza durumu tespit ettiğinde açma sinyalini üreterek arızalı bölgeyi sistemden ayırmayı sağlamaktadır [4].

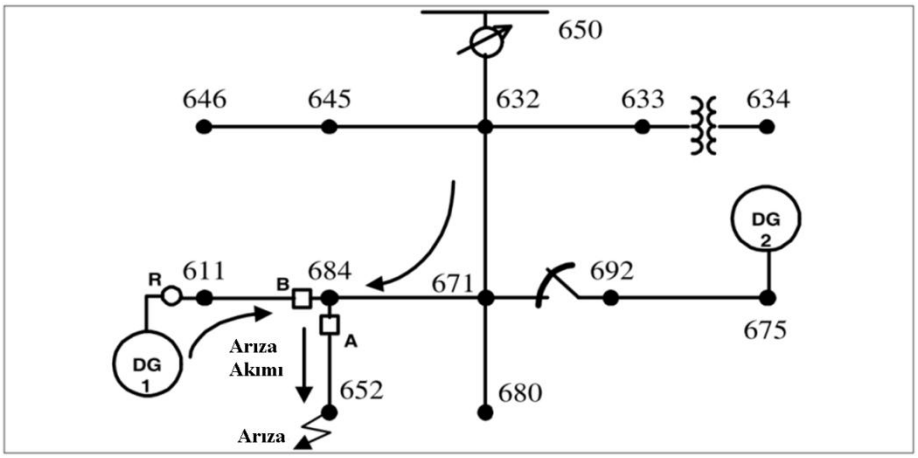
Radyal elektrik dağıtım sistemine sonradan bağlanan generatörler, sistemin sahip olduğu yapıda değişikliğe yol açarak tek yönlü olan güç akışının çift yönlü değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır [6]. Akım yönünün ve/veya büyüklüğünün değişmesi aşırı akım koruma sistemlerinde seçililik problemlerine yol açmakta [5], yüke yakın bir bölgeden elektrik dağıtım sistemine bağlanan generatörler, bağlandığı bölgedeki mevcut koruma sisteminin koordinasyonunu kaybetmesine neden olmaktadır [3]. Bu durum literatürde hatalı çalışma (misoperation) olarak tanımlanmaktadır. Bazı önemli hatalı çalışma durumuna ilişkin literatürde yapılan çalışmalar aşağıda verilmektedir.

Şekil 1.1'de IEEE 123 düğümlü elektrik test sistemini göstermektedir. Sistemin 11 (DG2), 17 (DG4), 27 (DG1), 35 (DG3), 51 (DG5), 56 (DG7) nolu düğümleri ile 61. düğümde yer alan transformatörün ikincil tarafında (DG6) dağıtık generatörler bulunmaktadır. Klasik koruma koordinasyonu temel alındığında 31, 10 ve 16. düğümlerinde meydana gelebilecek herhangi bir arıza sırasıyla DG1, DG2 ve DG4 generatörlerinin koruma rölelerinde hatalı çalışmaya neden olabilmektedir [4].



Şekil 1.1: IEEE 123 düğümlü test sisteminde hatalı çalışma durumları [4].

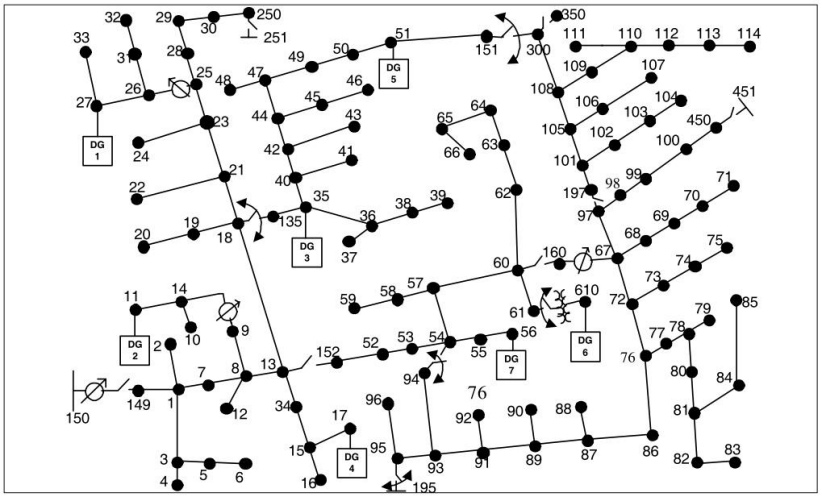
Yanlış koordinasyondan dolayı meydana gelen hatalı çalışma durumunu daha açık anlatabilmek için düğüm sayısı çok daha az olan IEEE 13 düğümlü test sistemi ele alınmıştır. Şekil 1.2'de verilen sistemde "A" 652. düğüme bağlı olan kesiciyi, "B" generatör koruma rölesine ait olan kesiciyi, "R" ise tekrar kapayıcıyı ifade etmektedir. Sistemin 652. düğümünde olası herhangi bir arızada, Kesici A arızayı tespit ederek temizlemekle sorumludur. Arıza anında 652. düğümdeki arıza akımı, 671. düğümden gelen akım ile DG1 generatöründen gelen akımın toplamından oluşmaktadır. Kesici B'ye ait koruma parametrelerinin DG1 sisteme bağlı olmadığı duruma göre parametrelendirilmesi Kesici B'nin Kesici A ile beraber hareket ederek hatalı çalışmasına neden olabilir.



Şekil 1.2: IEEE 13 düğümlü test sisteminde hatalı çalışma durumu [4].

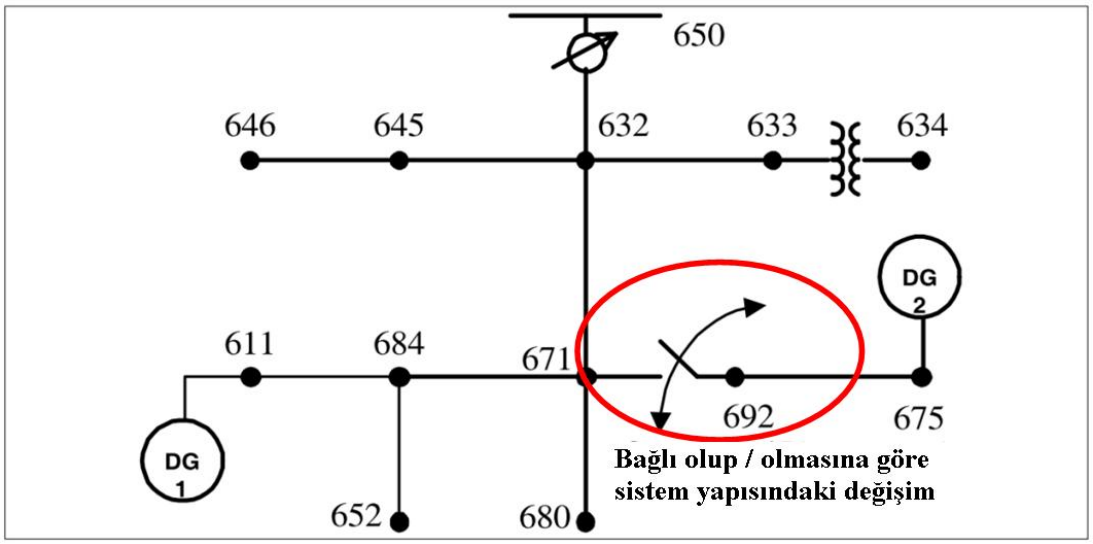
Sistem yapısının değişmesine neden olan işletme manevraları da hatalı çalışma durumuna neden olabilmektedir. Bu manevralardan yaygın olarak yapılanı aşırı yüklü baradaki yüklerin başka bir baraya aktarılmasıdır. Yüklü baranın gerilim karakteristiğini daha düzgün bir hale getirmek amacıyla yapılan bu işlem sonucu olarak elektrik dağıtım sisteminin yapısı değişmektedir.

Şekil 1.3'te verilen IEEE 123 düğümlü test sisteminin yapısı DG3'e yakın olan 18 ve 135. düğümleri birleştiren kesicinin açık ya da kapalı olmasına göre değişmektedir. Elektrik dağıtım sistemindeki bu yeniden yapılandırma ise ilgili düğümlerin mevcut koruma ayar değerlerinin geçersiz hale gelmesine neden olabilir. Benzer şekilde DG5'e yakın olan 151 ile 300. düğümler arasındaki kesici ve DG6'ya yakın olan 61 ile 610. düğümler arasındaki kesici de elektrik dağıtım sistem yapısını değiştirmektedir.



Şekil 1.3 : IEEE 123 düğümlü test sistemim yapısının değişimine neden olan işletme manevraları [4].

Bu durumu daha açık anlatabilmek için verilen Şekil 1.4'teki IEEE 13 düğümlü test sisteminde, 692. düğümün 671. düğüme bağlı olup olmaması durumuna göre sistem yapısı değişmektedir. 692. düğüm 671. düğüme bağlı olmadığı durumda 692. düğüm için sadece DG2 ve 675. düğümden oluşan ada modu adı verilen çalışma söz konusu olmaktadır. Bu durumda 692. düğüme 671. düğümden güç akışı söz konusu olmamaktadır. 692. düğüm ile 671. düğüm bağlı olduğu durumda ise 692. düğüm, 675 ile 671. düğümleri arasındaki güç akışından etkilenmektedir [4].

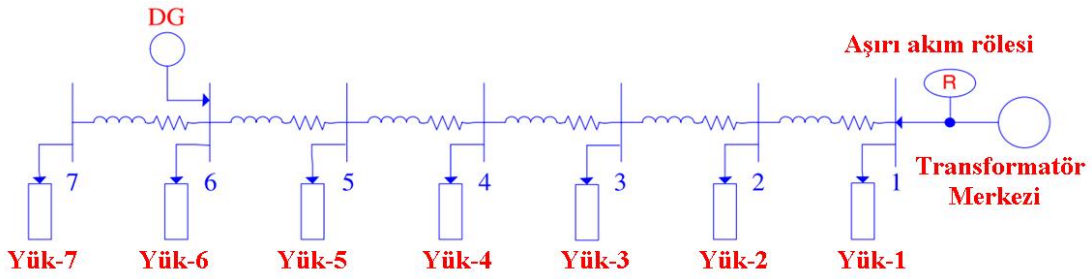


Şekil 1.4: IEEE 13 fiderli elektrik dağıtım sisteminin yapısının değişimine neden olan işletme manevrası [4].

Mevcut yapıdaki bağlantı noktalarının değiştirilmesi haricinde dağıtım sisteminin yapısında değişiklik yapan diğer bir durum ise sisteme generatör ilave edilmesidir [5]. Sisteme sonradan dâhil olan generatörler arıza noktasına bağlı olarak arıza akım değerlerinde değişikliğe neden olmaktadır. Sisteme sonradan eklenen generatörlerin arıza akımına olan katkısının, mevcut koruma sisteminin tasarımında ve analizlerinde göz önüne alınmamış olması yeni durumda koruma rölelerinin hatalı çalışmasına neden olabilmektedir [4].

Elektrik dağıtım sistemine sonradan ilave edilen generatörler şebekeden çekilen yükün azalmasına neden olarak sistemin eş değer empedans değerini arttırabilmektedir. Diğer bir ifade ile şebeke daha düşük yük kapasitesine geçmekte ve buna bağlı olarak da kısa devre dayanımı azalmaktadır. Artan eşdeğer empedans değeri arıza tip ve direncinin aynı olması koşuluyla aynı arıza noktası için arıza akımının azalmasına ve koruma rölesi tarafından arızanın tespit edilememesine neden olmaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak da koruma rölesinin güvenli olarak koruma yapabildiği bölge kısıtlanmaktadır.

Güvenli olarak korunan bölgenin kısıtlanmasını daha detaylı bir şekilde açıklamak için Şekil 1.5'teki sistem kullanılmıştır. Şekil 1.5'teki elektrik dağıtım sisteminde yüklerin hat boyunca eşit olarak dağıldığı kabul edilmiştir. Elektrik dağıtım hattı "R" ile belirtilen aşırı akım koruma rölesi ile korunmakta olup, ihtiyaç duyduğu güç, transformatör merkezinden sağlanmaktadır [5].



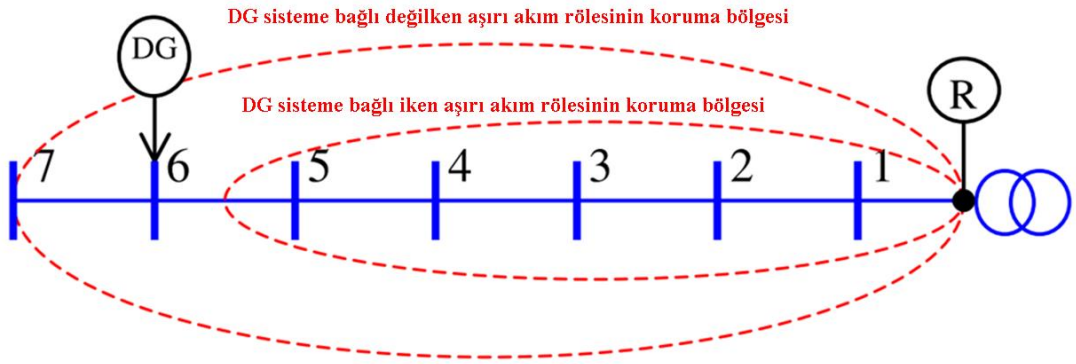
Şekil 1.5: 7 baralı elektrik dağıtım sistemi.

Şekil 1.5'deki sistemde yüklerin hat boyunca eşit dağıldığı, toplam yükün 6 MVA olduğu ve 6. baraya bağlanacak olan generatörün 0.9 güç faktöründe, 600 kW gücünde olduğunu kabul edilmiştir. Belirtilen kabullere göre koruma rölesinin kısa devre ayar değeri 700 A olarak hesaplanmaktadır. Hesaplama detayları EK A'da verilmiştir. Elektrik dağıtım sisteminde 7. baradaki olası bir arızada ortaya çıkacak arıza akımına, 6. baraya eklenen generatörün etkisi aşağıda açıklanmaktadır.

Sisteme generatör bağlanmadan önce, 7. barada direnci R_f =10.4 Ω olan bir arıza olması durumunda sistemden akacak olan akım 710 A olmaktadır. Bu değer koruma rölesinin ayarlandığı kısa devre akım değeri olan 700 A'in üzerinde bir değer olduğu için aşırı akım koruma rölesi doğru bir şekilde çalışarak açma sinyalini üretip arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

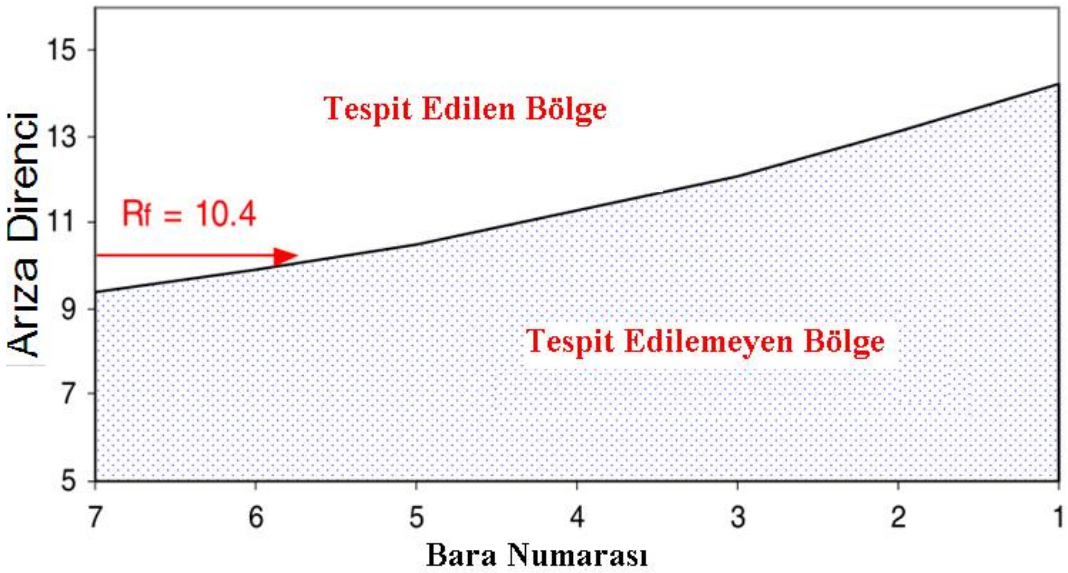
Sisteme generatör bağlandıktan sonra, 7. barada direnci Rf =10.4 Ω olan bir arıza olması durumunda sistemden akacak olan akım 650 A olmaktadır. Bu değer koruma rölesinin ayarlandığı kısa devre akım değeri olan 700 A'in altında bir değer olduğu için röle arızayı tespit edemeyerek hatalı bir çalışma durumunun ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Bu durumun bir sonucu olarak, koruma rölesinin güvenilir koruma yaptığı bölge azalmaktadır. Koruma rölesinin generatör bağlanmadan önce ve bağlandıktan sonraki durumlar için güvenilir koruma bölgeleri Şekil 1.6'da verilmektedir. Şekil 1.6'da görüldüğü gibi 6. baraya olan generatör ilavesinden sonra koruma rölesinin güvenilir olarak koruma yapabildiği bölge kısıtlanmaktadır.



Şekil 1.6: Sisteme generatör bağlandıktan sonra koruma rölesinin güvenilir koruma bölgesindeki değişim [5].

Generatör sisteme bağlandıktan sonra elektrik dağıtım sistemi kısa devre gücündeki olası bir değişme hatalı çalışmaya neden olabilecek diğer bir durumdur. Şekil 1.5'teki sistemde 6. baradaki generatör sistem yükünün %10'unu sağlıyorken, koruma rölesinin arızayı tespit edebilmesi için arıza direncinin en az R_f=9.4 Ω olması gerekmektedir. Bu değerin üzerindeki bir arıza direncinde kısa devre akımı 700 A'in altında kalacağı için koruma rölesinin bu arızayı tespit etmesi olanaksız hale gelmektedir. Bu duruma ilişkin grafik Şekil 1.7'de verilmektedir.



Şekil 1.7: Generatör sistem yükünün %10'unu sağlarken tespit edilebilecek maksimum arıza direnci (R_f) [5].

Şekil 1.7'de de görüldüğü gibi, sisteme sonradan dâhil olan generatör sistem yükünün %10'unu üstüne aldığında arıza direnci R_f < 9.4 iken, arıza hangi barada olursa olsun koruma rölesi bu durumu tespit edememektedir.

1.2 Tezin Bölümleri

Elektrik dağıtım sistemlerindeki koruma rölelerin hatalı çalışmasını engellemek için adaptif koruma sistemlerinin önerildiği bu tez çalışması yedi bölümden meydana gelmektedir. Tez çalışmasına ait bölümlerin içeriği aşağıda özetlenmiştir.

Tez çalışmasının Birinci Bölüm'ü, giriş niteliğinde olup koruma sistemi kavramı, neden koruma sistemine ihtiyaç duyulduğu ve koruma yapısında güvenilirliği etkileyerek hatalı çalışmaya yol açabilecek durumları özetlemektedir.

İkinci Bölüm, koruma sistemi elemanlarını ve koruma sistemlerinden beklenen özellikleri açıklamaktadır.

Üçüncü Bölüm'de, koruma sisteminin ayrılmaz bir parçası olan kısa devre tanımları ve kısa devre hesabı için gerekli olan değerlerin hesaplanması özetlenmiştir.

Tez çalışmasının Dördüncü Bölümü'nde, koruma sisteminin en önemli özelliklerinden biri olan seçicilik kavramı ön plana çıkartılarak, koruma koordinasyonu ve ilgili kavramın koordinasyondaki önemini içermektedir. Ayrıca koruma fonksiyonlarından biri olan aşırı akım koruma ve karakteristikleri de bu bölümde açıklanmaktadır.

Beşinci Bölümde, elektrik dağıtım sistemlerindeki hatalı açma durumları ve hatalı açma probleminin giderilmesi için adaptif koruma önerileri sunulmaktadır.

Altıncı Bölüm, bir elektrik dağıtım sisteminde gerçekleştirilen adaptif koruma uygulamasını içermektedir.

Sonuçlar ve önerilerin yer aldığı Yedinci Bölüm, günümüze kadar gelinen noktada elektrik sistem değişimlerine uyumlu, güvenilir koruma yapısının oluşturulmasında adaptif korumanın önemini özetlemektedir. Ayrıca bu bölümde adaptif korumanın haberleşme yapısının daha basite indirgenmesi için öneriler de yer almaktadır

.

2. ELEKTRİK TESİSLERİNDE KORUMA

Elektrik işletme elemanları, tesisleri ve şebekeler, elektrik enerjisini kesintisiz olarak üretilebilecek, iletilebilecek ve dağıtabilecek şekilde yapılır ve işletilir [7]. Ancak buna rağmen, elektrik tesisleri ve şebekeler istenmeyen şartlarla karşı karşıya kalabilmekte ve elektrik enerjisinin sürekliliğinde olumsuz etkiler meydana gelebilmektedir. Bu olumsuzluğu gidermek için, enerji iletim hatlarının ve bu enerjiyi kullanan cihazların, güvenli işletme şartları içinde çalışmasını sağlamak ve önceden belirlenmiş olan bu şartların dışına çıkan bölümü (arızalı bölümü) şebekeden ayırmak amacıyla kurulmuş sistemlere koruma sistemleri denir [8]. Koruma sistemleri, arızalı bölümü şebekeden en kısa sürede ayırarak hem daha fazla tahribatı engeller, hem de arızanın şebekeye ve/veya arızasız bölgelere yayılmasını engeller.

2.1 Koruma Sistemini Oluşturan Elemanlar

Koruma sistemini oluşturan elemanlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kesiciler: Kısa devre akımını kesip, arızalı bölgeyi şebekenin geri kalan kısmından ayırmak için kullanılır.
- Ölçü transformatörleri: Gerilim ve akım değerlerini koruma rölelerinin çalışabildiği değerlere indirgeme, yüksek gerilimlerden yalıtım maksatlı kullanılır.
- Koruma röleleri: Arızanın tespit edilip, kesicinin görevini yapması için gerekli olan kumanda sinyali üretmek amacıyla kullanılır.
- Yardımcı elemanlar: Elektriksel ekipmanların çalışması için gerekli olan gerilimi sağlayan akü grupları ve yardımcı röleler de koruma sisteminde yer alan elemanlardandır. Ayrıca personeli uyarmak için kullanılan sesli cihazlar, alarm lambaları bu grupta yer alır.

Geçmiş yıllarda koruma rölelerine ait kontakların kesici bobininden akan akıma dayanamaması nedeni ile koruma rölesi kontakları doğrudan kesici açma bobinine

bağlanamayıp yardımcı bir röle üzerinden açma bobinine bağlantı yapılmaktaydı. Bu yapıda, yardımcı röle koruma rölesi tarafından; kesici açma bobini ise yardımcı röle tarafından kumanda edilirdi. Bu ek bağlantı, sisteme her ilave edilen ekipmanın arıza olasılığını arttırmasına benzer olarak, koruma sisteminin hatalı çalışma olasılığını arttırmakta, kesicinin açma süresini uzatıp arıza akımının daha da büyümesine neden olmaktaydı.

Günümüzde gelişen teknolojiyle beraber koruma rölelerinin kontakları yüksek akımlara dayanıklı hale getirilmiştir. Bu sayede koruma rölelerinin doğrudan kesici açma bobinlerine bağlanması gerçekleştirilerek kesici açma sürelerinde ciddi kısalma sağlanmıştır.

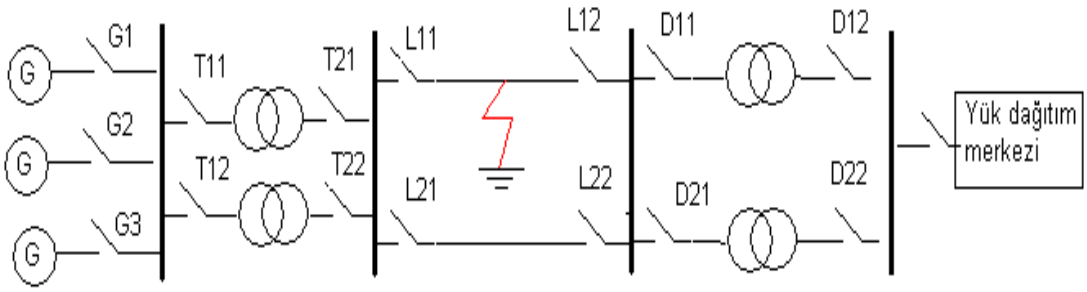
2.2 Koruma Sisteminden Beklenen Özellikler (Etkin Koruma)

Koruma sistemlerinin görevi, elektrik tesis ve şebekelerinde ortaya çıkan arızaları ve bunların çeşitlerini, gözlenen elektriksel büyüklükler yardımıyla hızlı ve güvenilir bir şekilde tespit etmek ve gerektiğinde arızalı işletme elemanını (hat, transformatör, genaratör, motor vb.) devre dışı bırakarak, enerjinin mümkün olabildiğince sürekli olmasını sağlamaktır [9]. Bu görevi yerine getirmesi beklenen koruma sistemi aşağıda sıralanan özelliklere sahip olmalıdır.

1. Seçicilik
2. Hızlı çalışma
3. Güvenilir çalışma
4. Yedek koruma
5. Ekonomik olma
6. Kararlı olma

2.2.1 Seçicilik

Seçici koruma sistemleri, arızanın cinsini ve yerini belirleyerek oluşan arızanın, başka bir bölüme yayılmasını önlemek için sadece arızalı bölümün devreden çıkartır. Böylece arızasız kısımlarda işletmenin devam edebilmesini sağlar. Seçici olmayan bir koruma sisteminin neden olduğu hatalı açmalar, daha büyük bir bölgenin enerjisiz kalmasına neden olabilir.



Şekil 2.1: Koruma sisteminde seçicilik prensibi [10].

Şekil 2.1'deki sistemde, L11 ve L12 kesicilerinin bulunduğu hatta meydana gelen bir kısa devre esnasında, seçici korumanın sağlaması için sadece L11 ve L12 kesicilerinin devre dışı kalması gerekmektedir. Arızayı temizlemek için başka kesici veya kesicilerin açması, arızasız kısımlarda gereksiz enerji kesintisine neden olarak istenmeyen ve doğru olmayan bir işletime gidilmesine yol açabilir [10].

2.2.2 Hızlı çalışma

Koruma sistemi, herhangi bir arıza anında elektriksel elemanların göreceği zararı en aza indirmek için mümkün olduğunca kısa sürede devreye girmelidir. Arızanın hızlı olarak temizlenmesi, arızanın büyümesini engelleyerek onarım maliyetini düşürür.

Günümüzdeki koruma röleleri istenilen hızda çalıştırılabilmektedir. Burada dikkat edilecek husus, koruma rölesinin hızının ne geçici durumlarda istenmeyen açma yapacak kadar hızlı, ne de oluşan arıza esnasında ilgili bölgede zarara neden olacak kadar yavaş olmasıdır. Ayrıca işletmede seçiciliğin sağlanması için zaman seçiciliği de kullanılmaktadır. Bu durumda açma süreleri bilinçli olarak geciktirilmektedir. Bu gecikme, hızlı çalışmanın amacına aykırı bir durum olmasına rağmen pratikte seçiciliği sağlamak için kullanılmaktadır.

2.2.3 Güvenilir çalışma

Bir koruma sisteminin güvenilirliği, genel olarak hatasız olarak çalışması, yanlış açmalara neden olmaması ve arıza anında çalışacağından emin olunabilmesi olarak tanımlanabilir [9]. Sayısal olarak ise, gözleme süresince koruma sisteminin yaptığı toplam doğru açma sayısının, toplam arıza sayısına oranı koruma sisteminin güvenilirliği hakkında bilgi verebilmektedir. Bu birimsiz oran arttıkça koruma sisteminin güvenilirliği de artar.

Koruma düzenlerinde hatalı çalışma durumları üç faklı grupta toplanabilir:

- **Açma yapmama:** Arıza olmasına rağmen koruma rölesinin açma kumandası üretmemesidir. Bunun sebebi koruma rölesinin arızalı olması, yanlış ayarlanması veya koruma rölesi ölçme sisteminin arızaya ilişkin karakteristik büyüklüğü algılayamaması olabilir.
- **Arıza halinde yanlış açma:** Arızanın cinsi ve yerine ilişkin yapılan yanlış ölçmeye bağlı olarak, koruma rölesinin seçici olmayan bir açma kumandası üretmesidir.
- **Gereksiz açma:** Sistemde herhangi bir arıza olmadığı halde koruma rölesinin açma kumandası vermesidir. Buna en güzel örnek, iyi ayarlanmamış bir koruma rölesinin, asenkron motorun kalkış anındaki çektiği yol alma akımını arıza akımı olarak algılayıp açma kumandası vermesidir.

Koruma sisteminin güvenilirliğini arttırmak için aynı koruma işlemini yapan fakat çalışma metotları farklı olan iki veya daha fazla koruma düzeni kullanılabilir. Ekonomik açıdan maliyeti arttıran bu yola, korunan elemanın önemi gözetilerek başvurulabilir.

2.2.4 Yedek koruma

Koruma sisteminin güvenilirliğini arttırmak için en ekonomik yol, ana koruma görevinin dışında yedek koruma özelliğine de sahip olan koruma düzenleri kullanılır. Örneğin; hat korumasında bu husus aşırı akım ve mesafe koruma rölelerinin zaman kademeleriyle gerçekleştirilir. Buna göre arıza yerine en yakın istasyondaki koruma rölelerin açma yapmamaları halinde, bu istasyonlardan sonraki istasyonlarda bulunan koruma röleleri kademelendirme planına uygun olarak bir gecikme ile açma işlemi gerçekleştirir. Başka bir deyişle arıza yerine daha uzak olan koruma röleleri, arıza yerine daha yakın koruma röleleri için, yedek koruma vazifesi yapar [9].

2.2.5 Ekonomik olma

Ekonomik olma, minimum maliyet ile maksimum koruma etkisine sahip olmaktır. Çok güvenilir olan, ancak bununla beraber çok da maliyetli olan bir koruma düzeni oluşturmak ideal bir mühendislik çözümü değildir. Bunun yanında maliyeti son derece düşük güvenilirliği az bir koruma sisteminin, hatalı çalışmasından ötürü meydana getirdiği zararların, bu sistemi ekonomik olmaktan çıkaracağı da göz önüne alınmalıdır. Sonuç olarak koruma sistemleri tasarlanırken, korunmak istenen

ekipmandan daha fazla maliyete sahip bir koruma sistemi oluşturmamaya özen gösterip, güvenilirlik ve ekonomiklik kriterlerine göre optimum çözüm bulunmalıdır.

2.2.6 Kararlı olma

Kararlı olma koruma sisteminin kendi koruma bölgesi dışındaki arızalarda, açma kumandası vermeden sistemde kalmasıdır [11].

3. KISA DEVRE HESABI

Elektrik şebekelerinde enerji hatları havai hat veya yer altı kablosu olarak yapılmaktadır. Farklı gerilim kademelerinde kullanılan yer altı kablolarında, iletkenler hem birbirlerine karşı, hem de toprağa karşı özel yalıtkan maddelerle yalıtılmıştır. Çıplak iletken kullanılan havai hatlarda ise, iletkenlerin birbirlerine değmemeleri için aralarında belirli bir açıklık bulunmaktadır. Ayrıca havai hatlarda iletkenler gerilim seviyesine göre uygun olan izolatörler yardımıyla taşınır. Dolayısıyla havai hatlarda iletkenler birbirlerine karşı hava ile toprağa karşı izolatör ile yalıtılmış olurlar [12].

Elektrik tesislerinde, herhangi bir işletme elemanında yalıtımın bozulması sonucunda faz iletkeni, başka bir faz iletkeni veya toprak ile temas edebilir. Kısa devre olarak adlandırılan bu durum direkt olarak gerçekleşirse madeni kısa devre, bir arkla meydana gelirse arklı kısa devre adını alır [13].

Normal işletme koşullarında tüketicilerin çektikleri akım, kaynağının iç empedansı, bağlı olduğu besleme hat empedansı ve yük empedansı toplamıyla ters orantılıdır. Kaynağının iç empedansı ve bağlı olduğu hattın empedansı, yük empedansına göre çok küçüktür. Bu nedenle tüketicinin çekeceği akımın büyüklüğünü belirleyen en büyük etken yük empedansıdır. Herhangi bir kısa devre anında yük empedansı devreden çıkar ve geriye sadece empedansları toplamı çok küçük olan kaynak iç empedansı ve hat empedansı kalır. Bu durumda, toplam empedansı çok küçük olan bu devreden çok büyük bir akım geçer ve bu akıma da kısa devre akımı denir.

Elektrik şebekelerindeki tesis elemanlarının uygun şekilde boyutlandırılıp, dinamik ve termik zorlanmalara dayanabilmesi için, şebekenin kısa devre analizi yapılıp kısa devre akımı hesaplanması gerekmektedir. Boyutlandırılması ve montajı uygun olarak yapılmamış bir tesisin, bir kısa devre sonucunda büyük maddi zararlara uğraması kaçınılmazdır.

3.1 Kısa Devrenin Ortaya Çıkma Nedenleri ve Sonuçları

Kısa devrenin ortaya çıkma nedenleri,

a. Yıldırım ve yüksek gerilim
b. Aşırı akımların oluşturduğu sıcaklığın yalıtkana zarar vermesi
c. Kirlenme ve ıslak izolatörlerde atlama
d. İşletme hataları
e. Buz yükü
f. Diğer sebepler

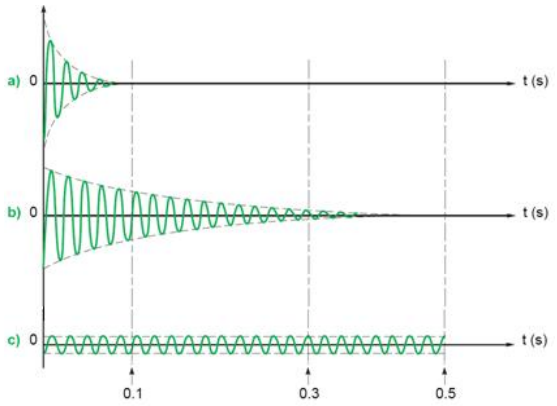
olarak sıralanabilir. Kısa devrenin sonuçları ise,

1. Elektrik tesislerinde güvenliğin azalması
2. Beslemenin azalması veya tamamen kesilmesi
3. Tesislerin tahrip olması
4. Mekanik zorlanmaların ortaya çıkması
5. Isınma sebebiyle yangınların oluşması
6. İnsanların ve malların zarar görmesi

olarak sıralanabilir.

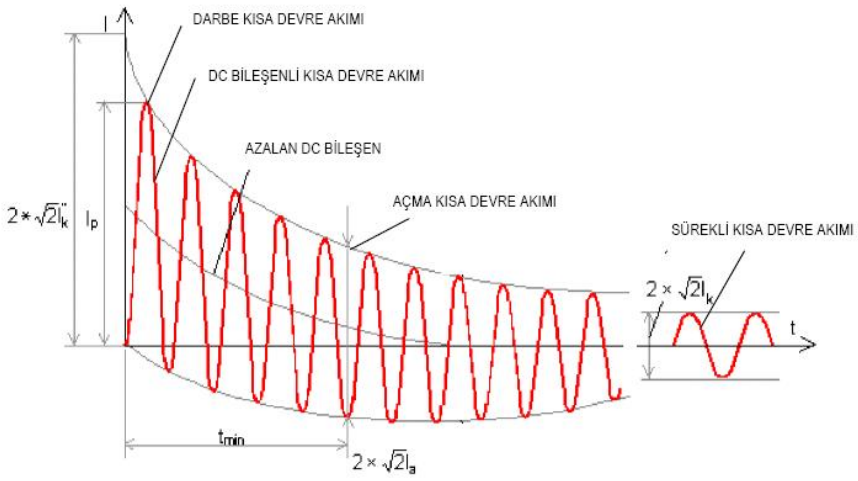
3.2 Kısa Devre Akımı

Kısa devre akımının bağlı olduğu kısa devre reaktanslarının zamana göre değişimi Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Kısa devre reaktansların zamana göre değişimi a) Başlangıç reaktansı = $\mathbf{X_d''}$ b) Geçici reaktans =$\mathbf{X_d'}$ c) Senkron reaktans = $\mathbf{X_d}$ [14].

Reaktanslardaki bu değişime göre de kısa devre akımı Şekil 3.2'deki gibi olacaktır.



Şekil 3.2: Kısa devre akımının zamana göre değişimi [12].

- Başlangıç kısa devre akımı (I''_k): Kısa devrenin başladığı anda meydana gelen kısa devre akımının etkin değeridir. Bu akımın büyüklüğünde, kısa devre akımının geçtiği şebeke empedansları ve senkron makinelerin X_d'' başlangıç reaktansları (subtransiyent boyuna reaktanslar) etkili olur.
- Darbe kısa devre akımı (I_s): Kısa devre başladıktan sonra akımın aldığı en büyük ani değerdir ve tepe değeri olarak adlandırılır. Kısa devrenin meydana geldiği ana bağlı olarak değeri değişir.
- Sürekli kısa devre akımı (I_k): Geçici olaylar sonuçlandıktan sonra geriye kalan alternatif kısa devre akım değeridir.
- Açma akımı (I_a): Kesicinin ilk kutbunun ayrılması anında, geçmekte olan kısa devre akımının efektif değeridir.
- Arıza temizleme süresi (t_{min}): Kısa devrenin başlangıcı ile kesici kutbunun açılmaya başlandığı an arasındaki en küçük zaman aralığıdır. Bu süre, koruma rölesinin minimum açma komutu üretme zamanı ile kesici açma zamanının toplamına eşittir.Kısa Devre Tipleri

Üç fazlı sistemlerde aşağıdaki kısa devre tipleri söz konusudur:

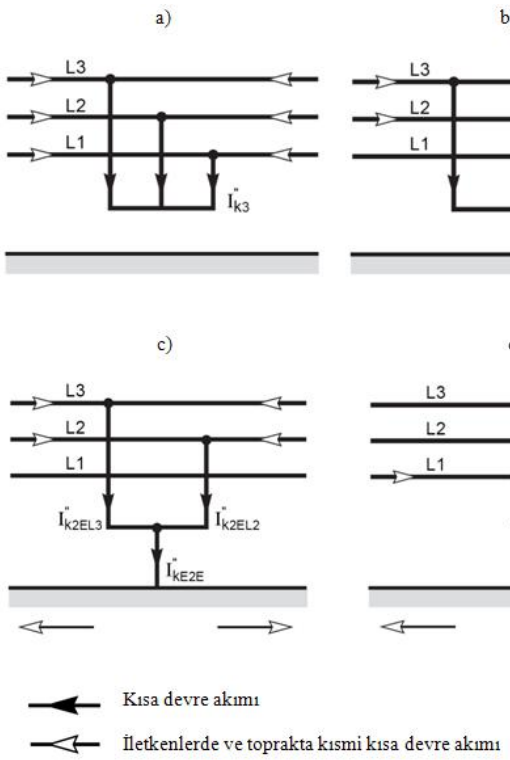
a. Üç fazlı simetrik kısa devre: Üç fazlı sistemde, üç faz iletkenin birbiri ile temas etmesi sonucunda oluşur.

b. İki fazlı kısa devre: Üç fazlı bir sistemde, herhangi iki faz iletkeninin birbiriyle teması etmesi sonucunda oluşur

c. Toprak temaslı iki faz kısa devre: Nötrü topraklanmış üç fazlı sistemde, herhangi iki faz iletkenin birbiri ve toprak ile temas etmesi sonucunda oluşur.

d. Bir faz toprak kısa devresi: Yalnız nötrü topraklanmış üç fazlı sistemlerde herhangi bir faz iletkenin nötr hattı veya toprakla temas etmesi sonucunda oluşur.

Şekil 3.3'de kısa devrelerin oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Arıza tipleri ve kısa devre akımlarının gösterilmesi a) Üç fazlı dengeli kısa devre b) İki fazlı kısa devre c) Toprak temaslı iki faz kısa devre d) Bir faz toprak kısa devre [14].

Üç fazlı kısa devre, diğer tip kısa devrelere göre daha seyrek bir oranda görülmektedir. Bununla birlikte, elektrik dağıtım şebekelerinde üç fazlı kısa devre belirli bir noktadaki kısa devre için en yüksek kısa devre akımını verdiğinden donanım seçiminde en önemli kısa devre tipidir [15].

Toprak temassız iki fazlı kısa devrelerde veya bir faz toprak kısa devrelerinin kısa devre noktasında oluşacak başlangıç kısa devre akımı, üç fazlı kısa devredekine oranla daha küçüktür. Bununla birlikte kısa devre arızası, birden çok senkron generatörün bulunduğu büyük güçlü santral yakınlarında oluşacak olursa, tek fazlı kısa devre akımı veya iki fazlı kısa devre akımı, sürekli halde üç fazlıya oranla daha yüksek bir değer alabilir. Bu nedenle, bir ve iki fazlı kısa devreler zaman zaman

anahtarlama cihazlarının kesme kapasitelerinin belirlenmesi açısından donanım boyutlandırılmasında dikkate alınırlar [12].

Elektrik sistemlerinde kısa devre hesabı için sistemi tek faza indirmek, dengeli olarak meydana gelen arızalarda mümkün iken, dengesiz olarak meydana gelen arızalarda mümkün değildir. Bu nedenle, dengesiz meydana gelen arızalarda kısa devre hesabı yapabilmek için 1918 yılında Fortescue tarafından bulunan Simetrili bileşenler veya 1937 yılında bayan E. Clarke tarafından geliştirilen diyagonal bileşenler yöntemleri kullanılır. Ancak bu tez çalışmasında esas alınan konu SCADA tabanlı adaptif koruma sistemi olduğu için, yapılan analizlerde oluşturulan arızalar hesaplama kolaylığı sağlaması açısından üç fazlı dengeli kısa devre arızası olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle de simetrili bileşenler yöntemine ve diyagonal bileşenler yöntemine değinilmemiştir.

3.3 Kısa Devre Hesabı İçin Gerekli Veriler

Kısa devre hesabı için, kısa devre akımın geçtiği işletme araçlarına ait empedans değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

3.3.1 Genaratörler

Generatörlerde başlangıç kısa devre reaktansı,

$$X''_d = \frac{U_n}{\sqrt{3}\, I''_k} \quad \textbf{(3.1)}$$

geçiş reaktansı,

$$X'_d = \frac{U_n}{\sqrt{3}\, I'_k} \quad \textbf{(3.2)}$$

senkron reaktans,

$$X_d = \frac{U_n}{\sqrt{3}\, I_k} \quad \textbf{(3.3)}$$

nominal reaktans,

$$X_n = U_n / \sqrt{3}.\, I_n \quad \textbf{(3.4)}$$

bağıl reaktans

$$\% \varepsilon = 100\, X / X_n \quad \textbf{(3.5)}$$

olduğu göz önüne alınarak; başlangıç kısa devre reaktansı,

$$X''_d = \frac{\varepsilon''_d}{100}\frac{U_n}{\sqrt{3}\,I_n} = \frac{\varepsilon''_d}{100}\frac{U_n^2}{S_n} \quad \textbf{(3.6)}$$

geçiş reaktansı

$$X'_d = \frac{\varepsilon'_d}{100}\frac{U_n}{\sqrt{3}\,I_n} = \frac{\varepsilon'_d}{100}\frac{U_n^2}{S_n} \quad \textbf{(3.7)}$$

senkron reaktans

$$X_d = \frac{\varepsilon_d}{100}\frac{U_n}{\sqrt{3}\,I_n} = \frac{\varepsilon_d}{100}\frac{U_n^2}{S_n} \quad \textbf{(3.8)}$$

olarak elde edilir. Reaktanslar genellikle yüzde cinsinden bağıl kaçak gerilimi olarak verilirler.

3.3.2 Transformatörler

Tranformatör reaktansı

$$Z_{tr}=R_{tr} + jX_{tr} \quad \textbf{(3.9)}$$

olup bunun omik bileşeni

$$R_{tr}= \frac{u_r}{100}\frac{U_n^2}{S_n} \quad \textbf{(3.10)}$$

ve reaktif bileşeni

$$X_{tr}= \frac{u_x}{100}\frac{U_n^2}{S_n} \quad \textbf{(3.11)}$$

olarak hesaplanır. Bağıl kısa devre gerilimi

$$(\%u_k)=100.\ \frac{U_k}{U_n/\sqrt{3}} \quad \textbf{(3.12)}$$

dir.

$$(\%u_k)= \sqrt{(\%)u_x^2 + (\%)\,u_r^2} \quad \textbf{(3.13)}$$

olduğu için omik bileşen $u_r=0$ olarak alınırsa, $u_k \approx u_x$ elde edilir.

3.3.3 Hatlar

Simetrik üç fazlı alternatif akım sistemlerinde her fazda;

birim reaktans,

$$X' = 2\,\pi\,f\,.\,L' \quad \textbf{(3.14)}$$

olup, yaklaşık olarak hava hattı için X'= 0,4 ohm/km, kablo hattı için X'= (0,1 - 0,3) ohm/km alınır. Birim uzunluk başına omik direnç,

$$R' = \frac{1000}{q.\varkappa} \text{ (ohm/km)} \qquad \textbf{(3.15)}$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu denklemde q, mm^2 cinsinden hattın kesiti, $\varkappa$ özgül iletkenlik katsayısıdır.

Buna göre hattın uzunluğu ℓ(km ise); hattın reaktansı $X=\ell.X'$ (ohm), omik direnci $R=\ell.R'$ (ohm), empedansı $Z=\sqrt{X^2+R^2}$ dir.

3.3.4 Asenkron motorlar

Elektrik dağıtım şebekesinde bulunan büyük güçlü asenkron motorlar, kısa devre anında sahip oldukları ataletten dolayı kinetik enerjilerini tüketinceye kadar kısa devre noktasını beslerler. Bu besleme süresi asenkron motorun gücüne bağlı olduğundan sürekli kısa devre akımına olan etkisi çoğunlukla ihmal edilmektedir. Ancak başlangıç kısa devre akımı hesabına asenkron motorun etkisi dahil edilmelidir. Bunun sonucu olarak, asenkron motorlar yalnız kısa devre yerindeki I_k'' ve I_s değerinin artmasına sebep olur [13].

Asenkron motorun verdiği başlangıç kısa devre akımı,

$$I_k'' = \frac{1,1.U_n}{\sqrt{3}.X_{motor}} \qquad \textbf{(3.16)}$$

ifadesine göre hesaplanır. Burada X_{motor} motorun reaktansı olup

$$X_{motor} = \frac{U_n}{\sqrt{3}.I_{yol\ alma}} = \frac{1}{I_{yol\ alma}/I_n}\frac{U_n^2}{S_{motor}} = \frac{1}{I_{yol\ alma}/I_n}Z_n \qquad \textbf{(3.17)}$$

dir. Genel olarak $I_{yol\ alma}/I_n = 5$ alınır ve $X_{motor} \approx 0,2.Z_n$ olarak elde edilir.

3.3.5 Şebeke empedansı

Şebeke empedansı, S_k'' şebekenin başlangıç kısa devre gücü olmak üzere

$$Z_i \approx X_i = \frac{1,1.U_n^2}{S_k''} \qquad \textbf{(3.18)}$$

bağıntısı ile hesaplanır.

3.3.6 Farklı gerilim seviyelerinde empedans değerinin değişimi

U_1 geriliminde Z_1 olan empedansın, U_2 gerilimindeki değeri Z_2 olmak üzere;

$$Z_2 = Z_1 . \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 \quad \textbf{(3.19)}$$

dir.

3.4 Kısa Devre Akımın Hesabı

Kısa devre hesapları yapılırken aşağıdaki kabuller yapılmaktadır:

1. Kısa devre süresince ilgili kısa devre tipinde bir değişiklik olmaz. Bunun anlamı, kısa devre esnasında eğer arıza üç faz kısa devreyse üç faz kısa devre olarak kalır, faz-toprak kısa devresiyse faz-toprak kısa devresi olarak kalır.
2. Kısa devre süresince ilgili şebekede bir değişiklik olmaz.
3. Ark dirençleri dikkate alınmaz.
4. Bütün hat kapasiteleri ihmal edilir.

Bu kabuller, değerlendirilen elektrik dağıtım sistemiyle ilgili gerçeklere tam olarak uymamasına rağmen hesaplar genelde kabul edilebilir doğrulukta sonuç vermektedir [16]. Bu kabullerle birlikte başlangıç kısa devre akımı, kısa devre için uygulanan $c.U_h / \sqrt{3}$ gerilimi ile Z_k şebeke empedansından hesaplanır:

$$I_k'' = \frac{E''}{Z_k} = \frac{c.U_h}{\sqrt{3}.\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad \textbf{(3.20)}$$

Bu eşitlikte;

E'': Kısa devre başlangıç gerilimi,

C : Uygulanan gerilim ile şebeke işletme gerilimi arasındaki farkı göz önünde tutmaya yarayan katsayı,

U_h: Şebekenin işletme gerilimi,

R_k: Hattın omik direnci,

X_k: Hattın reaktansı,

Z_k: Hattın empedansı,

olmaktadır.

Şebekede değişik gerilimlerin olmaması, iletkenlerin kapasitelerinin dikkate alınmaması “c” katsayısının kullanılma sebepleridir. Çizelge 7.2’de “c” katsayısının IEC 60909’a göre değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.1: IEC 60909’a göre gerilim faktörü c.

Beyan Gerilimi	En büyük kısa devre akımının hesabı için en büyük c değerleri	En küçük kısa devre akımının hesabı için en küçük c değerleri
Alçak Gerilim	1,05 (+%6 toleranslı) 1,10 (+%6 toleranslı)	0,95
Orta ve Yüksek Gerilim	1,1	1

Çizelge 3.1’e göre en büyük kısa devre akımlarının elde edilmesi için “$c.U_h$” için “$1.1U_n$” değeri alınabilir:

$$I_k'' = \frac{1,1.U_n}{\sqrt{3}.Z_k} = \frac{1,1.U_n}{\sqrt{3}.\sqrt{R_k^2+X_k^2}} \qquad \textbf{(3.21)}$$

4. AŞIRI AKIM KORUMA RÖLELERİ İLE SEÇİCİLİK VE KOORDİNASYON

4.1 Koruma Rölesi

Elektrik enerji sistemi elemanlarını (hat, trafo, generator) korumak amacıyla kullanılan, girişine uygulanan çalışma büyüklüğü (akım, gerilim, empedans vb) ayarlandığı sınır değerlerini aştığında kontağının bulunduğu pozisyonu değiştirerek bir açma-kapama elemanını kumanda eden elektriksel ekipmana koruma rölesi denir. Koruma rölesinin kumanda ettiği açma-kapama elemanı alçak gerilimde kontaktör, orta ve yüksek gerilimde kesicidir.

Fonksiyonlarına göre farklı koruma röleleri bulunmaktadır. Bunlar,

- Aşırı akım röleleri
- Düşük ve yüksek gerilim röleleri
- Diferansiyel röleler
- Mesafe (empedans) röleleri
- Toprak kaçağı röleleri

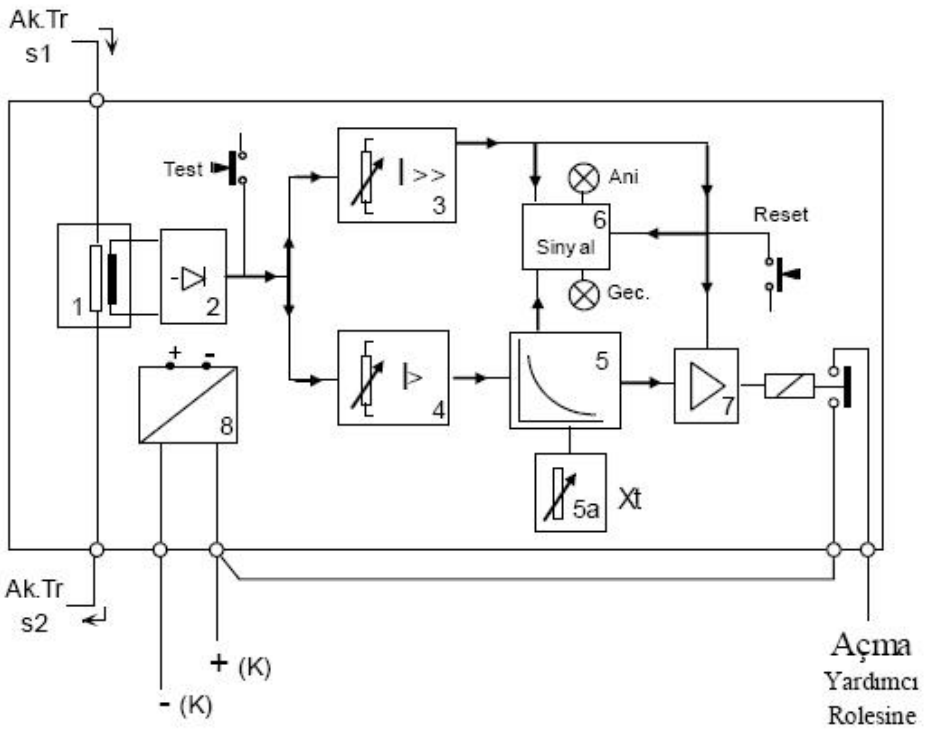
olarak sıralanabilir.

Elektrik dağıtım sistemlerinde en yaygın olarak kullanılan koruma rölesi aşırı akım rölesidir. Aşırı akım rölesinin çalışma ilkesi aşağıda anlatılmıştır.

4.2 Aşırı Akım Rölesinin Koruma İlkesi

Aşırı akım rölesi işletme elemanına bir ölçü transformatörü üzerinden seri olarak bağlanır. Arıza durumunda harekete geçer ve işletme elemanın enerjisini devre kesicisi yardımıyla keserek ekipmanın tahrip olmasını veya yanmasını engeller.

Tüm aşırı akım rölelerin yapısı üretici firma ve tiplerine göre küçük farklar gösterse de çalışma ilkeleri benzerdir. Akım-zaman karakteristikleri sabit ve ters zamanlı olarak farklı tipteki üretimlerin çalışma prensipleri yönünden tek fark açma zamanı ayar bölümüdür. Şekil 4.1’de tek fazlı bir aşırı akım rölesinin blok şeması görülmektedir.



Şekil 4.1: Tek fazlı aşırı akım rölesinin blok diyagramı [17].

Şekil 4.1'deki elemanlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Özel (Yardımcı) Akım Transformatörü: Akım transformatörü primer devre akım transformatörlerinin sekonderinden aldığı akım bilgilerini bu akımla orantılı alternatif gerilime dönüştürür. Ayrıca ana devre akım transformatörleri ile röle elektronik devreler arasında yalıtım sağlayama görevi de yapmaktadır.
2. Doğrultucu: Kendisine gelen akım bilgisini doğrultarak ve filtre ederek akım ayar ve karşılaştırma devrelerine aktarır.
3. Ani Açma Akım Ayarı ve Karşılaştırma Devresi (I>>): Ani açma için bu bölümde yapılmış olan akım ayar değerini gelen akım bilgisi ile karşılaştırır ve gelen akım bilgisi değerinin ayar değeri aşması halinde komut sinyalini 7 nolu açtırma devresine gönderir. Ayrıca 6 nolu sinyal devresi de uyarılır.
4. Gecikmeli Açma Akım Ayar ve Karşılaştırma Devresi (I>): Gecikmeli açma için bu bölümde yapılmış olan akım ayar değerini gelen akım bilgisi ile karşılaştırır ve gelen akım bilgisinin ayarlanmış akım değerini aşması halinde bu akım bilgisini 5 nolu açma zamanı ayar bölümüne aktarır.
5. Zaman Ayar ve Değerlendirme Devresi (t sn) : Akım ayar değerinin kendisine uygulanması halinde bu bölümde yapılan açma gecikme süresi sonunda bir komut sinyalini 7 nolu açtırma devresine gönderir.

6. Sinyal Devresi: Ani veya gecikmeli açma devreleri tarafından bu devrenin uyarılması halinde uyarıldığı devre ile ilgili sinyal lambasını yakar.R eset butonuna basılıncaya kadar arıza son bulsa bile lamba yanmaya devam eder.
7. Açtırma Devresi: 3 ve 5 nolu devrelerden bu devreye aktarılan açma komut sinyali bu devreyi enerjiler. Enerjilenen bu devre açtırma bobinini çektirir. Bobine bağlı kontağın bir ucunda bekletilen DA yardımcı röleyi enerjiler ve kesicinin açılmasını sağlanır.
8. Yardımcı Besleme Devreleri: Koruma rölesi için gerekli beslemenin temin edildiği devredir.

4.3 Aşırı Akım Koruma Rölelerinin Karakteristikleri

Aşırı akım röleleri aşağıda verilen iki temel karakteristikten en az birine sahiptir.

1. Bağımsız Karakteristik (Sabit Zamanlı)
2. Bağımlı Karakteristik (Ters Zamanlı)

Koruma rölesinin çalışacağı karakteristiğin bağımlı ya da bağımsız karakteristikte olması genellikle aşağıdaki kritere göre belirlenir.

Z_S : Koruma rölesinin bağlandığı noktadaki kaynak empedansı (sistem empedansı)

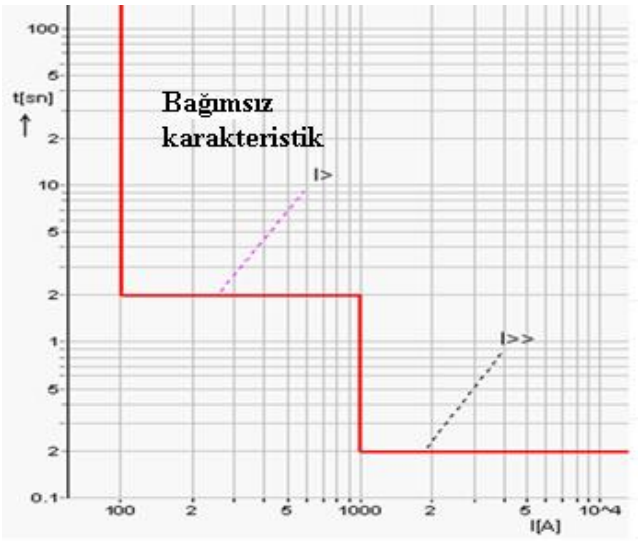
Z_L : Koruma Rölesinin koruduğu hattın empedansı

olmak üzere,

$\frac{Z_S}{Z_L} \leq 2$ ise ters zamanlı koruma rölesi kullanılmalıdır.

4.3.1 Bağımsız karakteristik

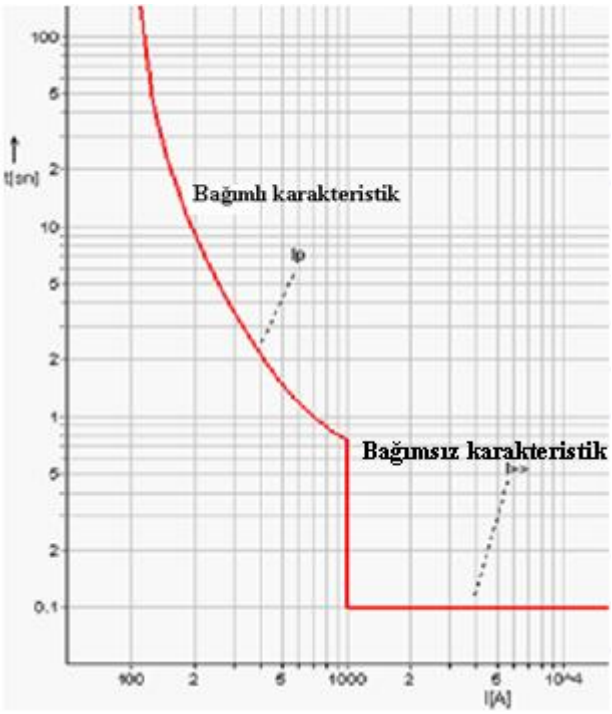
Bağımsız karakteristiğe sahip olan koruma rölelerinde açma zamanı sabit olup, arıza akım değerinden bağımsızdır. Şekil 4.2'de gösterilen bu karakteristik elektriksel ekipmanları kısa devre arızalarına karşı korunmada kullanılır.



Şekil 4.2: Bağımsız karakteristik [18].

4.3.2 Bağımlı karakteristik

Bağımlı karakteristiklerde koruma rölesinin açma işlemindeki zaman gecikmesi sabit olmayıp, akım değerinin (I/I_p) ve zaman çarpanının (T_p) bir fonksiyonudur. Bu fonksiyon sayesinde arıza akımının değeri büyüdükçe kesicinin açma zamanı kısaltılmış olur. Açma zamanının dinamik olmasını sağlayan bu karakteristiğin grafiği Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Bağımlı ve bağımsız karakteristik [18].

Günümüzde çok yaygın olarak kullanılan sayısal röleler, çok sayıda bağımlı karakteristik tipi arasından ihtiyaca göre seçim yapma imkânı sunmaktadır. Bağımlı karakteristik fonksiyonun IEC 60255 standardına göre farklı durumlar için kullanılabilen normal ters (NI), çok ters (VI), ekstra ters (EI) karakteristikleri için geçerli matematiksel tanımlar sırasıyla aşağıda verilmiştir [19].

$$\textbf{NI: } t_{NI} = [0.14/((I/Ip)^{0.02} - 1)].Tp \tag{4.1}$$

$$\textbf{VI: } t_{VI} = [13.5/(I/Ip) - 1)].Tp \tag{4.2}$$

$$\textbf{EI: } t_{EI} = [80/(I/Ip)^{2} - 1)].Tp \tag{4.3}$$

Burada,

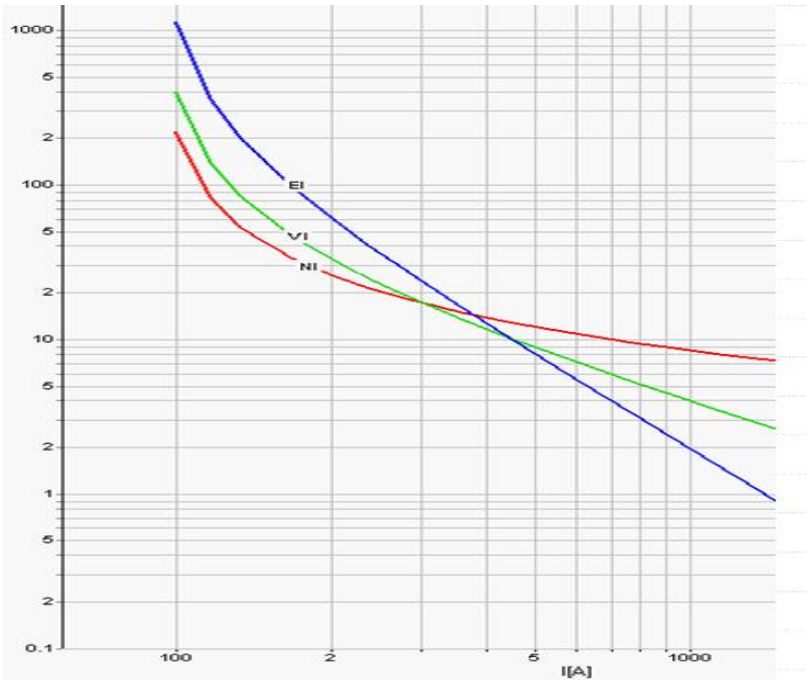
Ip: Akım Ayar Değeri

Tp: Zaman Çarpanı Ayar Değeri

I: Arıza akımı

t: Açma zamanı

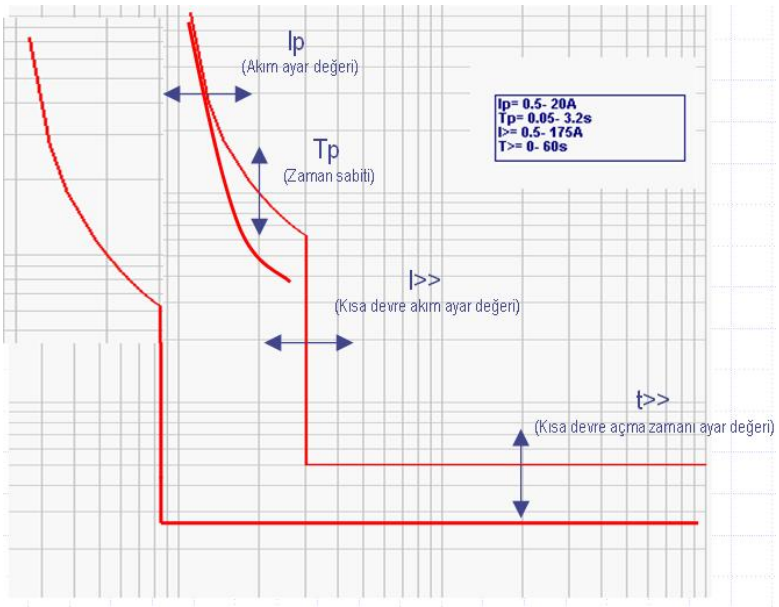
dır. Şekil 4.4'te NI VI ve EI karakteristikleri gösterilmiştir.



Şekil 4.4: NI, VI ve EI karakteristiklerinin karşılaştırılması [18].

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi, arıza akımının değeri 125A büyüklüğünde olduğu durumda NI bağımlı karakteristiğine sahip olan koruma rölesi ilk olarak harekete geçerken, EI bağımlı karakteristiğine sahip olan koruma rölesi en geç harekete geçmektedir. Arıza akımının değeri 1000A büyüklüğünde olduğu durumda ise, EI bağımlı karakteristiğine sahip olan koruma rölesi ilk olarak harekete geçerken, NI bağımlı karakteristiğine sahip olan koruma rölesi en geç harekete geçmektedir. Bu örnekten de anlaşıldığı gibi, EI bağımlı karakteristiğine sahip olan koruma rölesinin açma zamanı, arıza akımına göre en çok değişen bağımlı karakteristiktir.

Şekil 4.5'te röle ayar parametrelerinin koruma karakteristiğine olan etkisi ile ilgili grafik verilmiştir. Bu grafik sayesinde koruma röleleri istenilen ayar karakteristiğinde çalıştırılabilip, ihtiyaca uygun koruma eğrileri oluşturulabilmektedir. Grafiğin sağ üst köşesinde Ip, Tp, I ve T parametreleriyle ilgili ayar aralıkları genel olarak bir fikir vermek için gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Koruma rölesi ayar karakteristiği [18].

4.4 Aşırı Akıma Karşı Korumada Seçicilik Koşulları

Aşırı akım karşı korumada seçicilik koşulları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

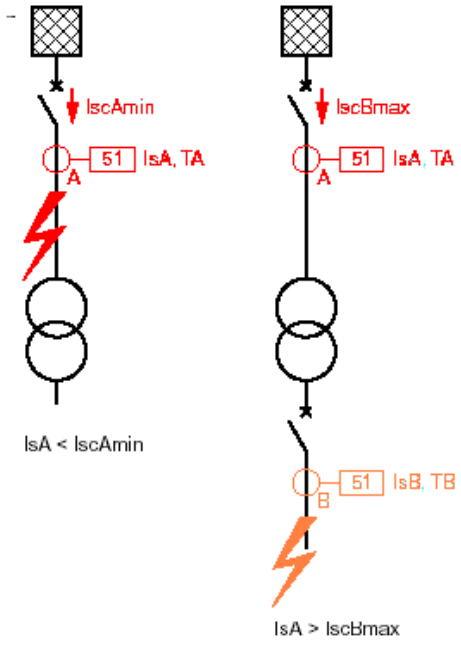
1. Her arıza durumu için arıza noktasına en yakın koruma elemanının en önce açacağı bir akım-zaman koordinasyonunun sağlanması gerekir. Arızanın diğer tüketicileri etkilememesi için, arızayı en dar alan içinde temizlemek gerekmektedir.

2. Koruma parametreleri ortaya çıkması muhtemel maksimum arıza akımlarının elektriksel donanıma zarar vermesini engelleyecek şekilde hesaplanmalıdır.
3. Her bir koruma elemanı arıza halinde parametrelendiği akım-zaman noktasında çalışmalı ve normal çalışma koşullarında (motor kalkış anı gibi) hatalı açmalar üretmemelidir.
4. Her koruma elemanı, koruduğu elektriksel cihazın nominal akım ve güç değerinde çalışmasına müsaade etmelidir.

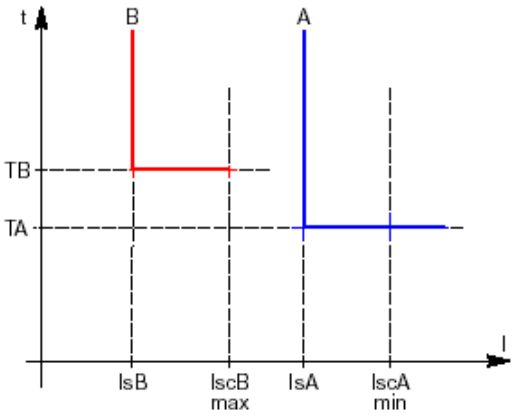
4.5 Akım Karakteristikli Seçicilik

Akım karakteristikli seçicilik, güç sistemi içinde kaynaktan uzaktaki arızada arıza akımının değerini ayarlanabilir bir şekilde azaltacak empedansların (transformatör, uzun enerji iletim hatları gibi) bulunması durumunda uygulanır.

Akım karakteristikli seçicilikte, açma işlemi ayarlanan değerde meydana gelir. Transformatörlerle ayrılmış olan hatlarda kullanımı basit ve ekonomiktir ancak koruma cihazları sadece kendi bölümlerindeki arızlara karşı duyarlı olduğu için, birbirlerine yedek koruma sağlamazlar. Örneğin, Şekil 4.6'daki sistemde B ünitesi görev yapmadığında A ünitesi, alt bölge için koruma yapmaz. Sistemdeki rölelerin seçicilik eğrileri Şekil 4.7'de verilmiştir.



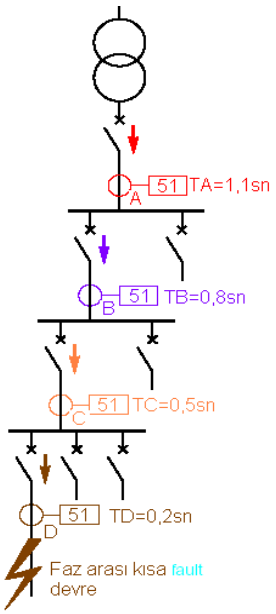
Şekil 4.6: Akım karakteristikli seçicilik [10].



Şekil 4.7: Akım karakteristikli seçicilik eğrileri [10].

4.6 Zaman Karakteristikli Seçicilik

Zaman karakteristikli seçicilik, güç sistemindeki koruma ünitelerinin açma süreleri, uygun şekilde farklı değerlerde ayarlanarak elde edilir. Zaman karakteristikli seçicikte koruma sistemi kendini yedekler. Örneğin Şekil 4.8'deki sistemde meydana gelen arızayı temizlemek için D ünitesi açma yaptırtmazsa ΔT kadar sonra C ünitesi aktif hale geçerek arızalı bölümü devreden çıkartır. Ancak, kademe sayısı arttığında en üst kademedeki koruma ünitesi en uzun sürede açma yapacağından, sahip olduğu elektriksel donanımın arıza temizleme süresince dayanımının uygun olup olmadığına dikkat edilmelidir.



Şekil 4.8: Zaman karakteristikli seçicilik [10].

Her iki ünitenin arasında işleme süresi arasındaki farklılık seçicilik aralığı olarak tanımlanır ve

$$\Delta T = Tc + tr + 2.dT + m \qquad \textbf{(4.4)}$$

ifadesi ile belirlenir. Burada,

Tc : Alt kesiciye ait cevap süresi ve ark sönme süresi dahil toplam kesme süresi

dT: Gecikme toleransı

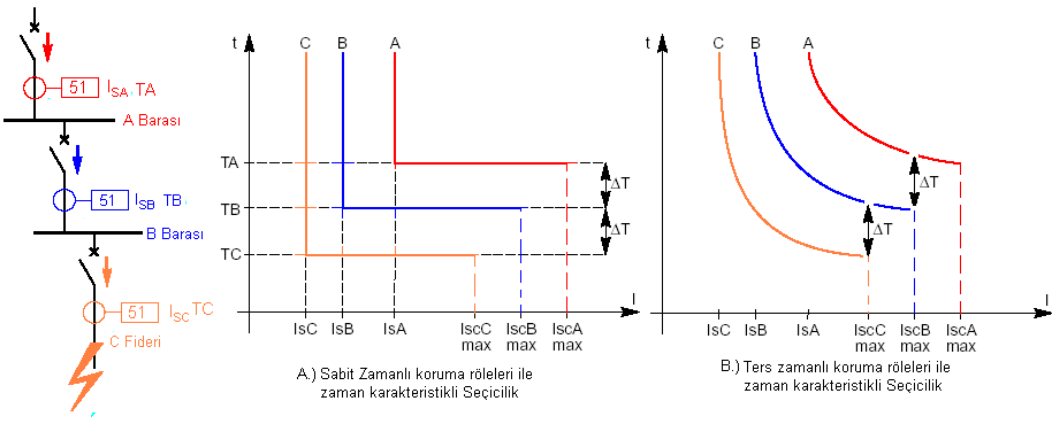
tr : Üst kesicinin harekete geçme süresi

m : Emniyet payı

dır.

Zaman karakteristikli seçici sistemde sistemden geçen akım rölenin ayarlanan akım eşik değerini aştığı zaman rölenin zaman mekanizması aktif hale geçer. İki tip zaman karakteristikli röle vardır.

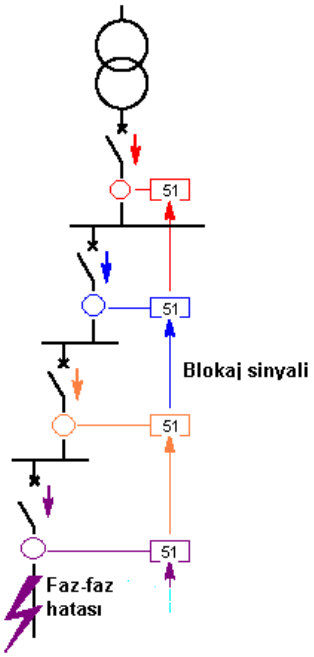
- **Sabit zamanlı röleler**: Uygulama şartları Şekil 4.9'daki sistem için $I_{SA}>I_{SB}>I_{SC}$ ve $T_A>T_B>T_C$ dir. Seçici zaman aralığı ise genellikle sabit bir değer alınır.
- **Ters Zamanlı Röleler:** Rölelerin akım eşik değerleri I_n nominal akım değerlerine ayarlanırsa bu tip aşırı yük röleleri aynı zamanda kısa devre koruması da sağlar.



Şekil 4.9: Koruma röleleri zaman karakteristikleri [10].

4.7 Mantıksal Seçicilik

Mantıksal seçiciliğin geliştirilme nedeni, zaman karakteristikli seçici sistemin sakıncalarını ortadan kaldırmaktır. Arıza temizlemesi süresinin belirlenmesinden sonra mantıksal seçicilik yöntemi kullanılır. Şekil 4.10'da mantıksal seçiciliğin işleyişi gösterilmiştir.



Şekil 4.10: Mantıksal seçicilik [10].

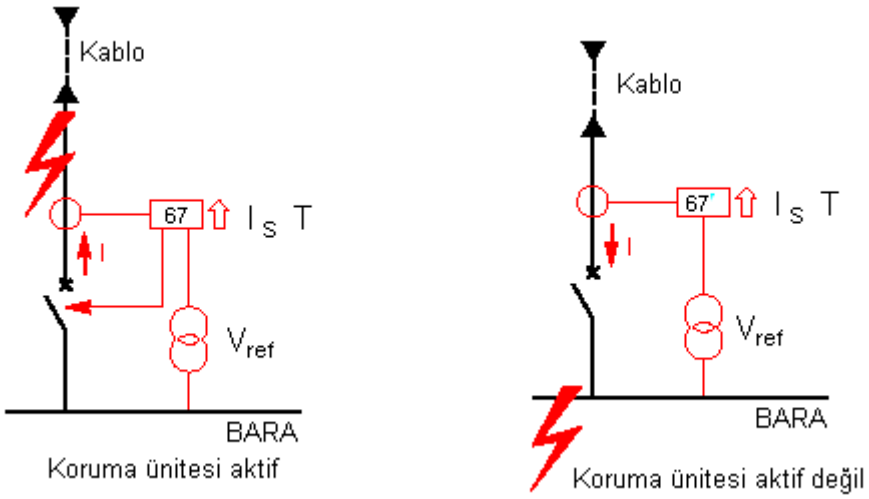
Mantıksal seçicilikte, arıza nedeniyle aktif hale gelen koruma rölesi şu işlemleri yapar:

a. Kendisinden üst seviyedeki kesiciye kendi açtırma süresini gönderir.
b. Üst seviyedeki kesicinin açtırma süresini arttırmak için blokaj sinyali gönderir.
c. Alt seviyedeki kesiciden blokaj sinyali gelmemişse, ilgili kesiciye açtırma sinyali gönderir.

4.8 Yönlü Seçicilik

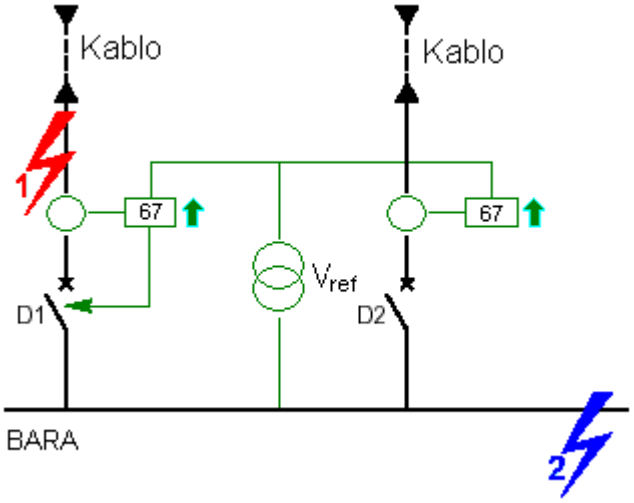
Gözlü şebekelerde, her iki taraftan beslenen arızalarda arıza akımının akış yönüne duyarlı olan bir koruma ünitesi gereklidir. Arıza yerini seçici olarak belirlemek ve arızalı kısmı ayırmak için yönlü aşırı akım koruma üniteleri kullanılır. Şekil 4.11'de görüldüğü gibi röle koruma ünitesinin aktif olup olması akım yönüne bağlıdır.

Koruma ünitesi akım yönü baradan kabloya doğruyken aktif, kablodan baraya doğruyken aktif değildir



Şekil 4.11: Yönlü seçicilik [10].

Şekil 4.12'deki sistemde D1 ve D2 kesicileri baradan kabloya akım akışı halinde aktif olan yönlü koruma sistemiyle donatılmıştır. Bu sistemin "1" noktasında arıza meydana geldiğinde, D2 ünitesi akımın yönünü algıladığı için arızayı algılamaz ve sadece D1 ünitesi açtırma yaptırır. "2" noktasında arıza meydana geldiğinde her iki ünite de arıza algılanmaz ve D1, D2 kesicileri kapalı kalır. Sistemde eğer varsa diğer koruma üniteleri baraya koruma açtırması yaparlar.



Şekil 4.12: Yönlü seçicilikte koruma sisteminin çalışması [10].

5. ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE ADAPTİF KORUMA

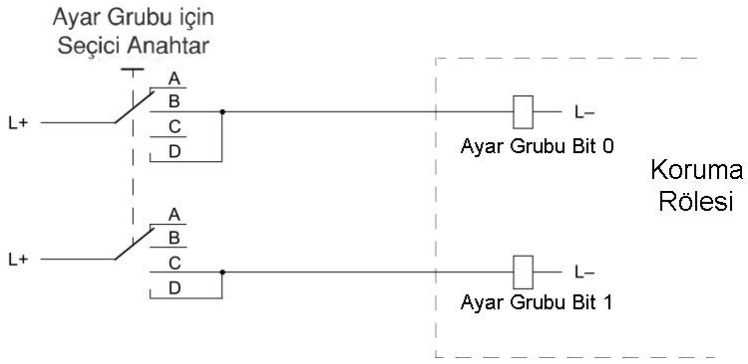
Koruma sistemlerinin ana elemanlarından biri olan koruma rölelerinin parametrelendirilmesinde dikkat edilmesi gereken diğer bir konu, yer aldıkları enerji sistemlerinde farklı çalışma durumlarında etkin olarak görevlerine devam edebilmeleridir. Koruma rölelerinin ölçeceği maksimum ve minimum kısa devre akımları, korunması istenilen enerji sisteminin farklı çalışma senaryolarında değişiklik gösterir. Bu değişikliği oluşturan bazı durumlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Mevcut elektrik dağıtım sistemine sonradan generatör bağlanması veya bağlı olan generatörün sistemden ayrılması
- Sistemdeki transformatörlerin bağlantı şeklinin değiştirilmesi,
- Bağımsız iki veya daha fazla baranın kuplaj ile bağlanarak tek bara olarak işletilmesi,
- Ring yapıdaki sistemin manevralarla radyal şebeke yapısına indirgenmesi,
- Kondansatör grubu ilavesi ile yükün şebekeden çektiği görünür akıma etki edilmesi

Bahsi geçen durumlarda, ilgili koruma rölesinde farklı ayar grupları kullanılarak oluşturulacak birden fazla aşırı akım kademesi ve/veya açma zamanının bulunması koruma güvenilirliğini arttırmaktadır.

Elektrik dağıtım sisteminin değişen durumlarına uyum sağlayarak, farklı röle kademelerinin doğru kullanımını amaçlayan koruma yapısı adaptif koruma olarak tanımlanmaktadır. Adaptif koruma sistemlerinin klasik koruma sistemlerine göre en büyük üstünlüğü koruma rölelerinin kendilerine ait olan açma ayarlarını dağıtım sisteminin durumuna göre dinamik olarak değiştirmesidir. Bu durum, hem seçiciliğin daha iyi sağlanmasını hem de arıza tespitinin daha doğru yapılmasını sağlar [4].

Koruma rölelerinin adaptif koruma yapabilmesi için gerekli olan ayar grup değişimi rölelerin ikili girişlerinden (binary input) yapılmaktadır. Bir nevi seçim işlemi olan bu ayar grup değişiminin bağlantı şeması Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1: Koruma rölelerinin ikili girişleri ile ayar grup seçim yapan anahtarın bağlantı şeması [20].

Koruma rölesinde aktif olan ayar grubu, Çizelge 5.1'deki sayısal işlemin sonucuna göre belirlenir. Koruma rölesinde dört adet ayar grubu oluşturabilmek için iki adet ikili girişe ihtiyaç vardır.

Çizelge 5.1: Koruma rölelerinin ikili girişler ile ayar gruplarının oluşturması [20].

İkili Giriş		Aktif Ayar Grubu
Ayar Grubu Bit 0	Ayar Grubu Bit 1	
Enerjisiz	Enerjisiz	Grup A
Enerjili	Enerjisiz	Grup B
Enerjisiz	Enerjili	Grup C
Enerjili	Enerjili	Grup D

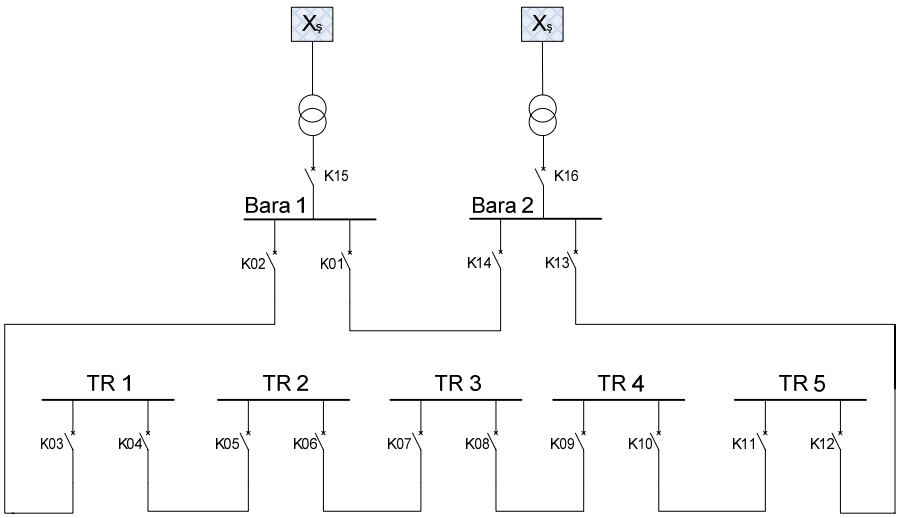
Oluşturulan bu ayar grupları hatalı çalışmaların önüne geçmek için kullanılır. Hatalı çalışmanın olabileceği durumlar ve adaptif koruma kullanılarak önerilen çözümler aşağıda sıralanmıştır.

5.1 Ringin Açık veya Kapalı Olması Durumu

Bir indirici merkezin diğer barasında nihayetlenen ve çoğunlukla bir noktada açık olarak işletilen elektrik şebekeleri ring şebeke olarak adlandırılır [21]. Örnek bir ring şebeke yapısı Şekil 5.2'de verilmiştir.

Ring şebekeler, işletme durumuna göre "açık ring" veya "kapalı ring" olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Açık ring durumunda trafo merkezleri tek taraftan beslenirken, kapalı ring durumunda iki taraftan da beslenmektedir. Şekil 5.2'deki sistemde, K01, K02, -…- K14, nolu kesicilerin hepsinin kapalı olması, "kapalı ring", herhangi birinin açık olması durumu ise "açık ring" olarak adlandırılan şebeke sistemine örnek

gösterilebilir. Ülkemizde kullanılan elektrik dağıtım sistem yapısında ve endüstriyel tesislerin büyük bir çoğunluğunda açık ring şebeke tercih edilmektedir.



Şekil 5.2: Örnek bir ring şebeke yapısı.

Elektrik dağıtım sisteminin “açık ring” veya “kapalı ring” durumunda işletilmesi doğrudan doğruya kısa devre akım değerinin değişmesine neden olur. Bu durum, koruma rölelerinin “açık ring” ve “kapalı ring” için birden fazla koruma parametresine sahip olmasını gerektirir.

Örneğin ring elektrik dağıtım sistemindeki herhangi bir transformatör merkezinden beslenen bir tüketicinin bağlı olduğu fiderde veya dağıtım tranformatöründe meydana gelecek olan bir arızada akacak olan arıza akımı,

- Açık ring yapısında iken A kadar ise,

-Kapalı ring yapısında A’dan daha büyük bir değere sahip olacaktır.

Bunun nedeni ise, açık ring durumunda birbirlerine seri olarak bağlanan empedanslar, kapalı ring durumunda paralel olarak bağlanıp arıza noktasıyla şebeke arasındaki kısa devre empedansını azaltır. Kısa devre empedansındaki bu azalma ise, kısa devre akımının artmasına neden olur. Ortaya çıkan bu iki farklı kısa devre akım değeri için iki farklı ayar değeri oluşturmak gerekmektedir.

5.2 Zamana Göre Aşırı Yük Değişimi

Endüstriyel tesislerde ve büyük tüketicilerde zamana göre çekilen yük miktarındaki değişimin veya diğer bir ifade ile çekilen akım değişiminin yüksek olması, koruma rölelerinin doğru çalışmasına engel olmaktadır. İkiden fazla çalışma durumuna sahip olan ve ilgili çalışma durumlarındaki yük değişim miktarı fazla olan bu gibi durumlarda koruma röleleri bağlı olduğu kesicide gereksiz açmalara veya kesicinin açması gereken durumunda açmamasına neden olmaktadır. Bunun nedeni ise, çalışma durumunun değişmesine rağmen koruma rölesinin çalıştığı parametrenin değişmeyip aynı kalmasıdır.

Bazı durumlarda, ilk çalışma durumundaki aşırı akım veya kısa devre akım değeri, ikinci çalışma durumu için nominal akım değeri olabilmektedir. Akım değerindeki bu büyük değişiklik, koruma rölelerinde hatalı çalışmaya sebep olup enerji kalitesine doğrudan olumsuz etki etmektedir. Bu olumsuz etkiden kurtulmak amacıyla, koruma rölesinde farklı çalışma durum sayısı kadar farklı ayar grup değeri oluşturulup, doğru zamanda koruma rölesinde aktif hale getirilmelidir. Bu durumlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Mevsimsel olarak yük değişiminin fazla olduğu bölgelerde koruma röleleri, arıza olmamasına rağmen kesicilere gereksiz açtırmalar yaptırmaktadır. Yaz aylarındaki enerji tüketimi kış ayalarındaki enerji tüketimine göre daha fazla olan bölgelerde, eğer koruma parametreleri kış mevsimindeki enerji tüketimi temel alınarak yapıldıysa yaz mevsiminde kesicilerin gereksiz açma yapma ihtimali doğurur. Koruma sisteminin hatalı çalışmasına neden olan bu olumsuzluk için mevsime göre farklı koruma parametreleri oluşturulmalıdır. Oluşturulan bu parametreler uygun zamanda koruma rölelerinde aktif hale getirilmelidir.
2. Özellikle otomotiv sektöründe aynı makinenin, gündüz ve gece vardiyalarında yaptığı işler farklı olabilmektedir. Bu farklılık koruma rölesinin doğru çalışmasını engellemektedir. Bu amaçla vardiya değişimlerinde, motor yükü değişiyor ise motoru koruyan rölenin ayar grubu da değiştirilmelidir.
3. Kaynak işleminin yapıldığı tesislerde, çok fazla dengesiz yüklenme ve toprak kaçağı görülmektedir. Bunun nedeni ise, kaynak işleminin tek fazdan yapılmasıdır. Kaynak işlemi başladığında, kaynak makinesinin bağlı olduğu fazın çektiği akım değeri yüksek, diğer iki fazın çektiği akım değeri düşük

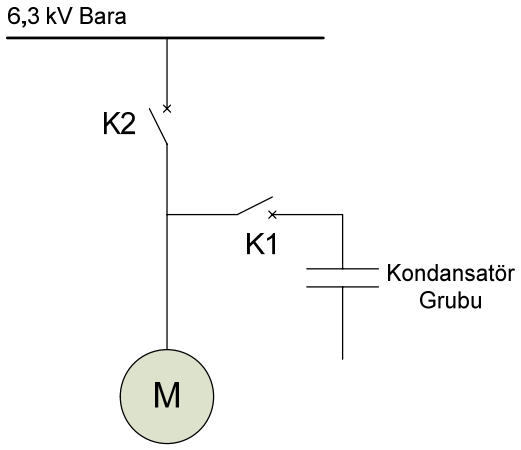
olmaktadır. Aslında normal olan bu durumu, koruma rölesi bir arıza olarak görüp gereksiz açmalar yapabilir. Bu amaçla, özel tesislerde kaynak işlemi başlamadan önce koruma rölesinin ayar grubu değiştirilmelidir.

Ayar gruplarının değişimi koruma rölesinin üstünden elle yapılabileceği gibi, zaman bilgisine ve kumanda yetkisine sahip olan SCADA ile otomatik olarak uzaktan da yapılabilir.

5.3 Büyük Güçlü Asenkron Motorlara Kondansatörlü veya Kondansatörsüz Yol Verme

Elektrik enerjisinin çok büyük bir kısmını tüketen ve kullanım alanı oldukça yaygın olan elektrik motorlarının devreye alınması sırasında çektikleri akım, nominal akımlarının 4-5 katı kadar büyüklükte olmaktadır. Çekilen bu büyük akımı azaltmak amacıyla birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi de, motorlara paralel olarak kondansatör grubu bağlamaktır. Yapılan bu ek bağlantı ile, motorun ihtiyaç duyduğu reaktif akımın bir kısmı ya da tamamı kondansatör grubundan sağlanıp, şebekeden çekilen görünür akım değeri düşürülür.

Örneğin Şekil 5.3'deki sistemde, K1 kesicisi kapalı durumda iken, başka bir deyişle kondansatör grubu devrede iken motorun şebekeden çektiği reaktif akım azalacaktır. K1 kesicisi açık durumda iken ise, motorun şebekeden çektiği reaktif akım artacaktır. Kondansatör grubunun devrede olup olmamasına göre şebekeden çekilen reaktif akımdaki bu değişim, K2 kesicisine bağlı olan koruma rölesinin açma akım değerini değiştirmektedir.



Şekil 5.3: Asenkron motora kondansatörlü veya kondansatörsüz olarak yol verilmesi.

Kullanılan bu yaygın yöntem motorun iki farklı yol alma senaryosuna sahip olmasını sağlar. Bu farklı senaryolar ise, motor koruma rölesinin iki farklı ayar grubuna sahip olması gerekliliğini doğurur. Bu ayar grupları Çizelge 5.2'deki tabloya göre seçilebilir.

Çizelge 5.2: Kondansatör grubunun devrede olup olmamasına göre K2 kesicisine bağlı olan koruma rölesinin ayar grup değişimi.

K1 Kesicisinin Pozisyonu	K2 Kesicinin Açma Akımı	K2 Kesicisine Bağlı Rölenin Ayar Grubu
Devrede	$I_{K2\ açma\ akımı}$	Ayar Grup A
Devredışı	$I_{K2\ açma\ akımı}'$	Ayar Grup B

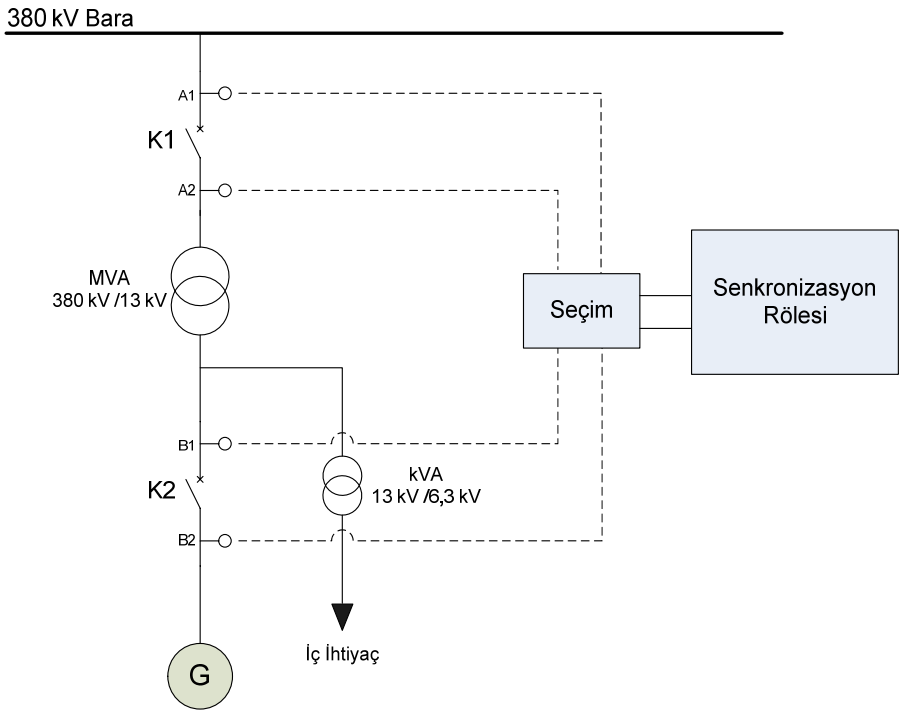
Çizelge 5.2'deki $I_{K2\ açma\ akımı}'$,$I_{K2\ açma\ akımı}$ değerinden daha büyük bir değere sahiptir. Bunun nedeni ise kondansatör grubu devre dışıyken ki motorun nominal akım değeri, kondansatör grubu devredeyken ki motorun akım değerinden daha büyük olmasıdır.

5.4 Senkron Generatörün Şebeke ile Senkronizasyonu

Enterkonnekte şebekelerde sistemdeki yük miktarı sürekli olarak bir değişim içerisindedir. Zaman zaman azalan, zaman zaman ise artan yük miktarı doğrudan doğruya sistemdeki çalışan generatör sayısının artmasına veya azalmasına etki eder. Artan yük miktarını karşılayacak olan senkron generatörlerin şebeke ile paralel çalıştırılması ancak bazı şartlar sağlandığı takdirde gerçekleşebilmektedir. Senkronizasyon olarak adlandırılan bu işlem için gerekli olan şartlar aşağıda sıralanmıştır.

- Şebekenin frekansı ile generatörün frekansının eşit olması.
- Şebekenin faz sırası ile generatörün faz sırasının aynı olması.
- Şebekenin faz açısı ile generatörün faz açısının eşit olması
- Şebekenin ile generatörün gerilimlerinin eşit ve gerilim dalga şekillerinin aynı olması

Bu şartlardan bir tanesi olan gerilimlerin eşitlik şartının kontrolü için senkronizasyon rölesi birden fazla senaryo ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu durum Şekil 5.4'te enerjisiz olan generatörün devreye alınması ve şebekeyle paralellenmesi ile örneklendirilmiştir.



Şekil 5.4: Generatörün şebeke ile paralele alınması.

Şekil 5.4'deki sistemde bulunan generatörün frekansının, faz sırasının ve faz açısının şebeke ile aynı olduğunun tespitinden sonra, senkronizasyon rölesinin karşılaştırılması gereken gerilim seviyeleri aşağıdaki gibi olmaktadır.

1. Generatörü devreye almak için ilk olarak A1 ve A2 uçlarındaki gerilimlerin karşılaştırılması ve rölenin K1 kesicisini kapatması için ilk olarak A1 ucunda 380 kV, A2 ucunda 0 kV'u ölçmesi gerekir **(Ayar Grup A)**. Bu gerilim değerleri ölçüldükten sonra senkronizasyon rölesi K1 kesicisini kapatır.
2. K1 kesicisinin kapanmasıyla B1 ucunda 13 kV seviyesinde gerilim elde edilir. Bu gerilim iç ihtiyaç transformatörünü enerjilendirerek otomatik gerilim düzenleyicisini (AVR) aktif hale getirir. AVR'nin çalışmasıyla ve generatör için gerekli olan tahrik gücünün sağlanmasıyla çalışır hale gelen generatör 13 kV seviyesinde gerilim üretmeye başlar. Bunun ardından senkronizasyon rölesinin K2 kesicisine kapatma komutu vermesi için, karşılaştırması gereken değer artık B1 ucunda 13 kV, B2 ucunda 13 kV'tur **(Ayar Grup B)**.
3. Normal işletme durumdayken elektrik dağıtım şebekesinde oluşabilecek bir arıza anında veya bilinçli olarak generatör şebekeden ayrılmak istendiğinde sadece K1 kesicisi devre dışı olur. Bu esnada generatör çalışmaya devam eder. Arıza giderildikten sonra veya generatör tekrar şebekeyle paralele

alınmak istendiğinde, senkronizasyon rölesinin K1 kesicisini tekrar kapatması için gerekli olan şart bu sefer B1 ucunda 380 kV, B2 ucunda ise 380 kV'tur **(Ayar Grup C)**.

Şekil 5.4'deki senkronizasyon rölesi bahsedilen birbirinden farklı durumlarda gerekli devreye alma ve şebeke ile paralelleme kontrolü için farklı ayar gruplarına sahip olması gerekmektedir. İlgili ayar gruplarının doğru zamanda senkronizasyon rölesinde aktif olabilmesi için de K1 ve K2 kesicilerinin pozisyon bilgileri alınmalıdır. Bu ayar grupları aşağıda sıralanmıştır.

- **Ayar Grup A** (K1=0 AND K2=0) ise (A1=380 kV, A2=0 kV)
- **Ayar Grup B** (K1=1 AND K2=0) ise (B1=13 kV, B2=13kV)
- **Ayar Grup C** (K1=0 AND K2=1) ise (A1=380 kV, A2=380 kV)

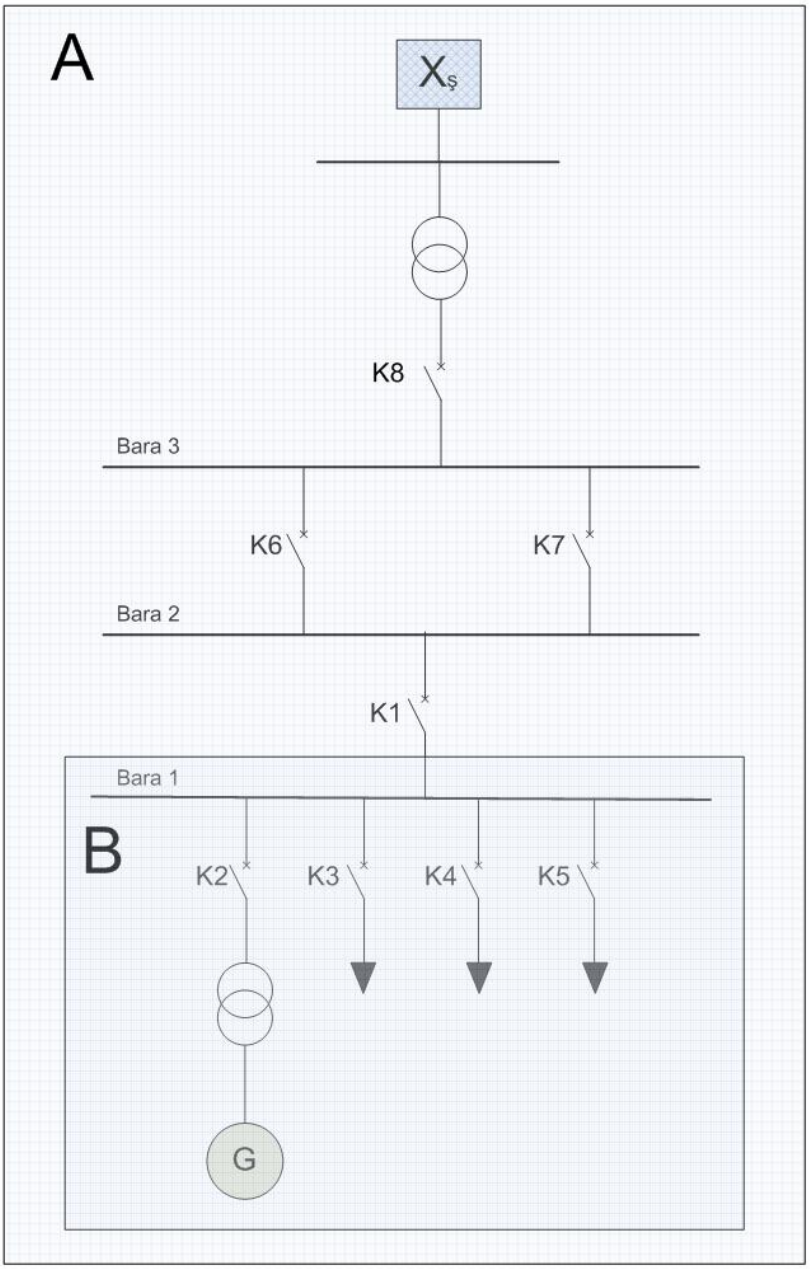
K1 ve K2 kesicisinin pozisyonları temel alınarak tasarlanan bu koruma sistemi adaptif korumanın uygulandığı alanlardan bir tanesidir.

5.5 Senkron Generatörün Ada Modunda Çalışması

Dağıtık üretim sistem yapısının bir gereği olan kendi enerjisini kendisi üreten tesis sayısı giderek artmaktadır. Bu tesislerinden bazıları ihtiyacı olan elektrik enerjisin bir kısmını, bazıları ise ihtiyacının tamamını kendi generatör gruplarından sağlamaktadır. İlgili generatörün şebekeden bağımsız olarak, sadece tesisin tüketimini karşılamak için çalıştığı durum generatörün ada modunda çalışması olarak adlandırılır. Örneğin Şekil 5.5'deki sistemde, K1 kesicisinin açık olması generatörün ada modunda çalıştığı anlamına gelmektedir. Bu çalışma durumunda şebeke ile herhangi bir aktif veya reaktif güç alış verişi olmayıp, enterkonnekte şebekeden bağımsız bir şekilde çalışma söz konusudur. Generatör bu şekilde şebekeden bağımsız çalışırken şebekede oluşan bir arızadan etkilenme veya arızayı etkileme durumu yoktur. Ancak K1 kesicisinin kapalı olduğu durumda, generatör şebeke ile paralel çalışır. Bu çalışma durumda ise generatör şebekedeki arızalardan etkilenme veya arızayı etkileme durumu ortaya çıkar.

Şekil 5.5'teki sistemde yer alan senkron generatörün şebeke ile paralel çalıştığı bir durumdaki bir arıza anında, Bölüm 4'te değinilen seçiciliğin sağlanması için, K2 kesicisi açma yapmadan önce K1, K6, K7 ve K8 kesicilerinin açma yapmasını beklemelidir. Bu durum K2 kesicisinin açma süresini uzatmaktadır. Ancak K1

kesicisi devre dışı iken yani generatör ada modunda çalışıyorken, koruma rölesi sadece B bölgesindeki arızayı göreceği için, bir önceki durumdaki gibi uzun bir bekleme yapmadan arızayı temizlemelidir.



Şekil 5.5: Senkron generatörün ada modunda çalışıp çalışmaması.

Bu iki farklı durumda koruma parametrelerinin nasıl değiştiğini görmek amacıyla,

- K1 kesicisi kapalı iken, yani şebeke ile paralel çalışırken sistemdeki K2 kesicisinin açma süresi $t_{K2,}$ K3 kesicisinin açma süresi t_{K3} , K4 kesicisinin açma süresi t_{K4}

- K1 kesicisi açık iken, yani ada modunda çalışırken sistemdeki K2 kesicisinin açma süresi t_{K2}' , K3 kesicisinin açma süresi t_{K3}' , K4 kesicisinin açma süresi t_{K4}'

olarak adlandırılarak analiz yapılabilir. Eğer generatör şebeke ile paralel çalışıyorkenki açma süresi, ada modunda çalışıyorken de kullanılırsa yani $t_{K2} = t_{K2}'$ olarak seçilirse; B bölgesindeki bir arıza anında generatör arızayı olması gerekenden daha uzun süre besleyip, sistemdeki arızanın daha da büyümesine neden olur. Bu yüzden t_{K2} nin t_{K2}' den büyük olması gerekmektedir. Bu amaçla, generatörün koruma rölesi iki farklı ayar grubuna sahip olmalıdır. Bu ayar grupları doğru zamanlarda koruma rölesinde aktif olması için Çizelge 5.3'te ki sayısal işlem kullanılabilir.

Çizelge 5.3: Ada modu bilgisine göre K2 kesicisine bağlı koruma rölesinin ayar grup değişimi.

K1 Kesicisinin Pozisyonu	K2 Kesicinin Açma Süresi	K2 Kesicisine Bağlı Rölenin Ayar Grubu
Devrede	t_{K2}	Ayar Grup A
Devredışı	t_{K2}'	Ayar Grup B

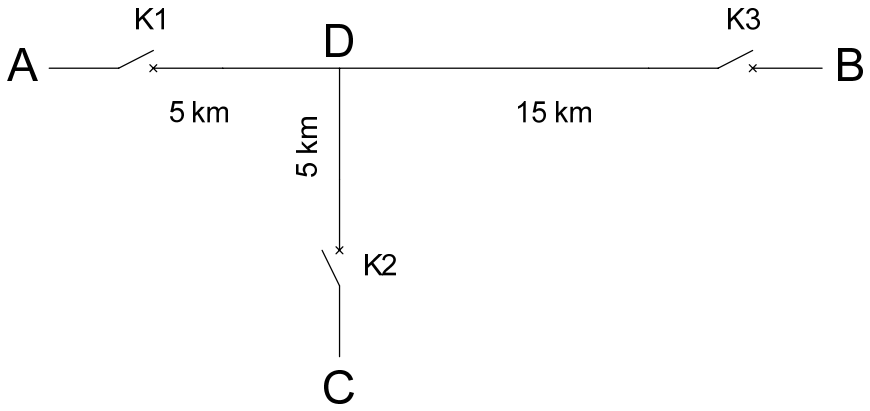
Çizelge 5.3'teki K2 kesicisinin açma süreleri olan t_{K2} ve t_{K2}' arasındaki ilişki $t_{K2} > t_{K2}'$ dür. Diğer taraftan Şekil 5.5'deki tüketici fiderlerindeki koruma rölelerde herhangi bir parametre değişikliğine ihtiyaç duyulmaz. Yani $t_{K3} = t_{K3}'$; $t_{K4} = t_{K4}'$ ve $t_{K5} = t_{K5}''$dür.

5.6 Orta Gerilim Dağıtım Şebekesinin Dallı Yapıda Olması

Artan enerji talebine bağlı olarak yapılan OG dağıtım sistemlerindeki saplamalar, ilgili hatlarda sıkça kullanılan mesafe koruma rölelerinin kademe ayarlarında değişiklik yapılmasını gerektirir. Bunun nedeni, saplama olmadan önceki durum temel alınarak hesaplanan koruma parametrelerinin, saplama olduktan sonraki durumda geçerli olmamasıdır. Bunun gibi uygun olmayan koruma parametreleri ile çalışan koruma röleleri ise koruma sisteminin hatalı çalışmasına neden olmaktadır

Genel olarak mesafe korumasında, koruma rölesinin 1.kademe ayar alanı kontrol ettiği kesiciye en yakın mesafedeki kesiciye olan hat uzunluğunun 80%'ini içerir. Hattın uzunluğuyla doğrudan bağlantılı olan mesafe koruması Şekil 5.6'daki dağıtım

sistemine uygulanmak istenirse, iki farklı durum için koruma parametresi oluşturmak gerekmektedir.



Şekil 5.6: OG dağıtım şebekelerinde saplama kullanımı.

Bu iki farklı durum şu şekilde sıralanabilir.

- 1.durum: K2 kesicisi açık iken K1 kesicisinin koruma alanı, |AB|=20km olduğundan, 1. kademe ayarı yaklaşık 16 km olarak hesaplanırken
- 2. durum: K2 kesicisi kapalı iken K1 kesicisinin koruma alanı, |AC|=10km olduğundan, 1. kademe ayarı yaklaşık 8 km olarak hesaplanır.

Bu örnekten de görüldüğü gibi koruma rölesinin koruduğu alanın değişmesiyle, sahip olması gereken kademe ayarı da değişmelidir. Bu değişiklik, farklı ayar grubu kullanılmasına yani adaptif korumaya olan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

5.7 Yedek Güç Sistemlerinin Şebeke Kısa Devre Gücüne Etkisi

Dağıtık üretim sistem yapısının bir gereği olan kendi enerjisini kendisi üreten tesis sayısı giderek artmaktadır. Bu tesislerin bir bölümü tüm ihtiyacını, kimisi ise ihtiyacının bir kısmını kendi generatör gruplarından sağlamaktadır. Generatör grupları ise, sistemin kısa devre gücünü değiştiren en önemli elemanlardan biridir. Bunun bir sonucu olarak, generatör grubuna sahip olan ve beslenme şekli (şebekeden veya kendi generatöründen) değişiklik gösterebilen kritik tesisler, sistemindeki kesici pozisyonlarına göre oluşturdukları senaryolarla, koruma rölelerinin ayar gruplarını değiştirmektedir. Bölüm 6'da bu durum uygulamalı olarak açıklanmaktadır.

5.8 SCADA Yazılımı ve Görevi

SCADA, Supervisory Control and Data Acquisition kelimelerinin ilk harflerinden oluşmuştur. Türkçeye "Denetimli Kontrol ve Veri Toplama Sistemi" olarak çevrilebilir. SCADA sistemi sahaya yayılmış cihazların bir merkezden bilgisayar aracılığıyla denetlenmesini, izlenmesini, önceden tasarlanmış bir senaryo dâhilinde işletilmesini ve geçmiş zamana ait verilerin saklanmasını sağlayan sistemlerin genel adıdır [7].

SCADA'nın genel olarak görevleri aşağıda özetlenmiştir.

- İzleme : RTU'dan okunan anlık verileri kullanıcıya göstermek. İşletmedeki ekipmanların pozisyonlarını kullanıcıya görsel olarak sunmak.
- Kumanda: Sahadaki kesici, ayırıcı gibi kumanda edilebilme özelliğine sahip ekipmanların uzaktan kumanda edilmesini sağlamak.
- Uyarma: Sahadan gelen olaylara ilişkin alarmların gruplanmasını ve yönetimini sağlayarak, kullanıcıyı sesli ve görsel olarak uyarmak.
- Verileri Kaydetme: Sahadan gelen olaylara ait alarmları zaman etiketiyle beraber kaydetmek.
- Eğriler Oluşturma: Sahadan gelen analog değerleri, önceden belirlenmiş bir sıklıkla kaydedip, anlık veya geçmişe dönük verilere ait eğriler oluşturarak sistem hakkında karar verilmesine yardımcı olmak.
- Raporlama: İşletmelerin özellikle enerji sayaç değeri gibi raporlamak istediği değişkenleri saatlik, günlük, haftalık, aylık gibi farklı zaman dilimleri için raporlamak.

5.9 RTU ve Görevi

Bir SCADA sisteminde RTU, bulunduğu merkezin sistem değişkenlerine ilişkin bilgileri toplayan, depolayan, gerektiğinde bu bilgileri kontrol merkezine belirli bir iletişim ortamı yolu ile gönderen, kontrol merkezinden gelen komutları uygulayan birimdir. RTU İngilizce Remote Terminal Unit kelimesinin baş harflerinden oluşmaktadır. Türkçe'ye uzak uç birim olarak geçen RTU'nun esas görevi sahadan gelen bilgileri toplayıp SCADA'ya göndermektir. Örnek bir RTU Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7: Örnek bir RTU [22].

RTU'nun diğer görevleri aşağıda özetlenmiştir.

- **Zaman Senkronizasyonunu Sağlamak:** RTU sahadan aldığı sinyalleri SCADA sistemine göndermeden önce ilgili tüm sinyallere zaman etiketi ekler. Bu işlemi, eğer kendisine bağlı bir GPS var ise; uydudan aldığı saati kullanarak yapar. Herhangi bir GPS'e bağlı değil ise de, kendi mikroişlemcisinin zaman etiketini kullanılır. Bu zaman etiketi 1 milisaniyeye kadar hassasiyetle gerçekleştirilebilir. RTU'yu enerji SCADA'larının vazgeçilemezi yapan özelliği de budur.

  Bilindiği gibi geçmişte meydana gelmiş arızaların analizi için doğru sonuca ulaşmak, olayların meydana geliş sırasının doğruluğuna bağlıdır. Gerçeği yansıtmayan bir olay listesinde, doğru bir mühendislik çözümü üretmek imkânsız hale gelir.
- **Kilitleme:** Enerji SCADA'larında kontrol edilen ekipmanlar çoğunlukla kesici, ayrıcı ve topraklama şalteri gibi elektriksel ekipmanlar olmaktadır. Enerjili bir sistemde kumanda yapmadan önce, can ve mal güvenliği için birçok kilitlemenin olması ve bu kilitlemelerin kontrolü yapılmalıdır. SCADA'dan gönderilen ve gerçekleşmesi durumunda yanlış bir operasyona neden olabilecek komutlar RTU'ya gelse dahi, RTU'nun yazılımsal kilitlemesinden geçmedikçe sahaya gönderilmemektedir. Bu da, işletmede iş sağlığı ve güvenliği açısından önem arz etmektedir.

-Haberleşme: RTU sahip olduğu modüller sayesinde, farklı haberleşme protokolüne sahip olan cihazlarla ek bir yazılım veya donanıma ihtiyaç duymadan haberleşebilmektedir. Bulundukları haberleşme sistemlerinde, sahip oldukları farklı haberleşme protokollerini kullanarak, cihazların haberleşmesinde bir haberleşme ara yüzü olarak da görev yapabilirler

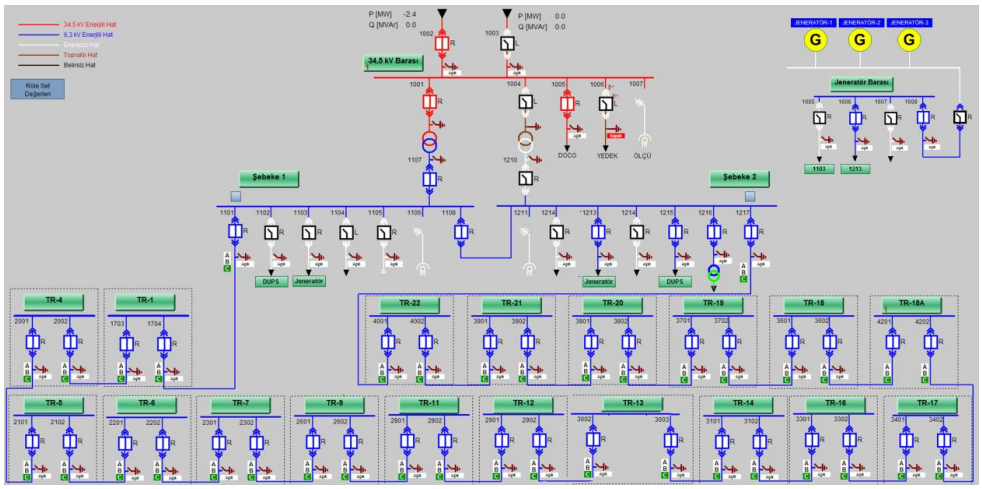
.

6. SCADA TABANLI ADAPTİF KORUMA UYGULAMASI

Bu bölümde ring şebeke olarak işletilen bir elektrik dağıtım sistemindeki koruma rölelerine ait ayar grup değerlerinin, sistemin beslenme durumuna ve işletmede olan dizel generatör sayısına bağlı olarak uygun bir şekilde koruma rölelerinde aktif hale gelmesi için kullanılan SCADA sistemi anlatılacaktır.

6.1 Elektrik Dağıtım Sisteminin Tanımı

Şekil 6.1'de verilen elektrik dağıtım sistemi normal işletme esnasında enterkonnekte şebekeye bağlı olarak işletilmektedir. Herhangi bir nedenle şebeke enerjisinin kesilmesi halinde, enerjinin sürekliliğini sağlamak için 3 adet 1600 kVA gücünce dizel generatör bulunmaktadır. İlgili dizel generatörler, enerji sisteminin şebekeden ayrılıp ada moduna geçtiğinde ihtiyaca göre 1 tanesi, 2 tanesi veya 3 tanesi birden devreye girmektedir.



Şekil 6.1: Elektrik dağıtım sistemi.

Şekil 6.1'deki elektrik dağıtım sistem yapısını oluşturan elemanlar ise şu şekilde sıralanabilir.

1. Enterkonnekte şebekeye bağlı yedekli olarak çalışan iki adet besleme fideri ve bu fiderlerin beslediği bir adet 34,5 kV gerilim seviyesindeki bara
2. 34,5 kV gerilim seviyesindeki baraya bağlı yedekli olarak çalışan 2 adet 34,5 / 6,3 kV 10 MVA gücünde transformatör

3. Her bir transformatör çıkışında birer adet olmak üzere birbirine kuplaj ile bağlantılı toplam 2 adet 6,3 kV'luk bara
4. 6,3 kV gerilim seviyelerindeki trafo merkezlerine, girdi çıktı yaparak bağlanan ring şebeke.

6.2 Elektrik Dağıtım Sisteminin Sahip Olduğu Mevcut SCADA Sisteminin Tanımı

Mevcut SCADA sisteminde "Server-1" ve "Server-2" isimli iki adet birbirleriyle yedekli olarak çalışan sunucular bulunmaktadır. Server-1, Server-2'ye göre önceliğe sahiptir. Bu öncelik nedeniyle, Server-1 devrede olduğu sürece SCADA sisteminde aktif SCADA sunucusu olarak görev almaktadır.

Server-1 devreden çıktığı takdirde yedek olarak bekleyen Server-2 anında devreye girmekte ve aktif SCADA sunucusu görevini üstlenmektedir. SCADA sistemi bu geçiş sayesinde aktif olan sunucu devreden çıksa dahi, saha ile kesintisiz olarak haberleşmeye devam edebilmektedir. Server-1 tekrar devreye girdiğinde ise Server-2 yedek sunucu konumuna geri dönmekte ve Server-1 tekrar aktif SCADA sunucusu olmaktadır.

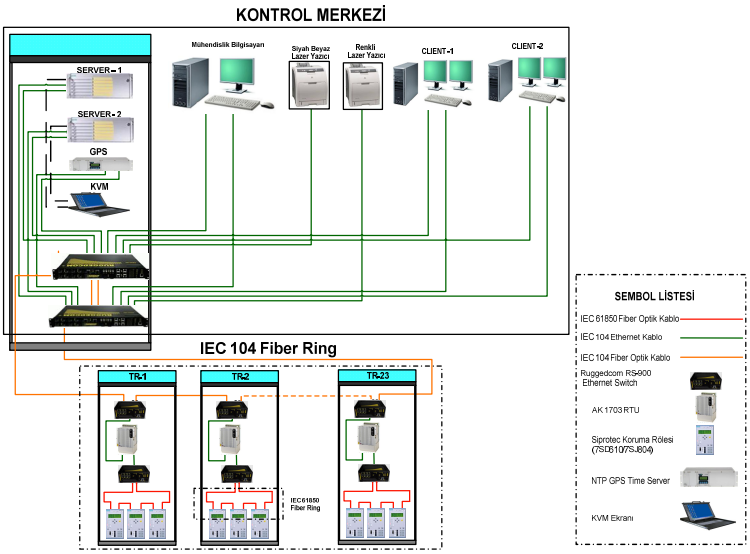
Sahadaki tüm dijital ve analog değerleri toplamış olan RTU, bu bilgileri aktif SCADA sunucusuna gönderir. Aktif olan sunucu ise bu bilgileri üzerlerinde SICAM 230 SCADA yazılımı koşan "Client-1" ve "Client-2" isimli iki adet operatör bilgisayarlarına gönderilir. Operatör bilgisayarlarında kurulu olan SICAM 230 yazılım ile bu sinyaller SCADA sayfalarında değişikliklere neden olarak, kullanıcıya sesli ve görsel uyarı verir.

Mevcut SCADA sisteminin sayfalarında yapılacak değişlikler ise "Mühendislik Bilgisayarı" üzerinden yapılır. Çünkü projede değişiklik yapma yetkisi sadece mühendislik bilgisayarında vardır. Burada yapılan değişiklikler mühendislik bilgisayarından aktif olan sunucuya gönderilir. Yedek sunucu ve operatör bilgisayarları ise bu güncellemeleri otomatik olarak alıp, kendi SCADA sayfalarını güncellerler.

SCADA sistemindeki tüm elemanlar arasında ortak bir yerel ağ bağlantısı bulunmaktadır. Bu sayede birbirleriyle sürekli olarak haberleşme imkânına sahiptir. Ayrıca Server-1 ve Server-2 arasında sürekli olarak dosya paylaşımı olmaktadır.

Sahadan belirli aralıklarla alınan analog değerler, aktif olan SCADA sunucusunda işlenmesinin ve kaydedilmesinin ardından, yedekli yapının sağlanması için yedek sunucuya belirli aralıklarla gönderilmektedir.

Mevcut SCADA sisteminin mimarisi Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.2: SCADA sistem mimarisi.

Şekil 6.2'de verilen sistemdeki elemanların görevleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Sunucular (Server-1, Server-2): Sahadaki RTU'ları sorgulayarak sinyalleri toplamak.

Operatör Bilgisayarlar (Client-1, Client-2): Saha sinyallerini sunuculardan alıp, üzerlerindeki SCADA sayfalarını güncelleyip, operatörlerin sahadan haberdar olmasını sağlamak.

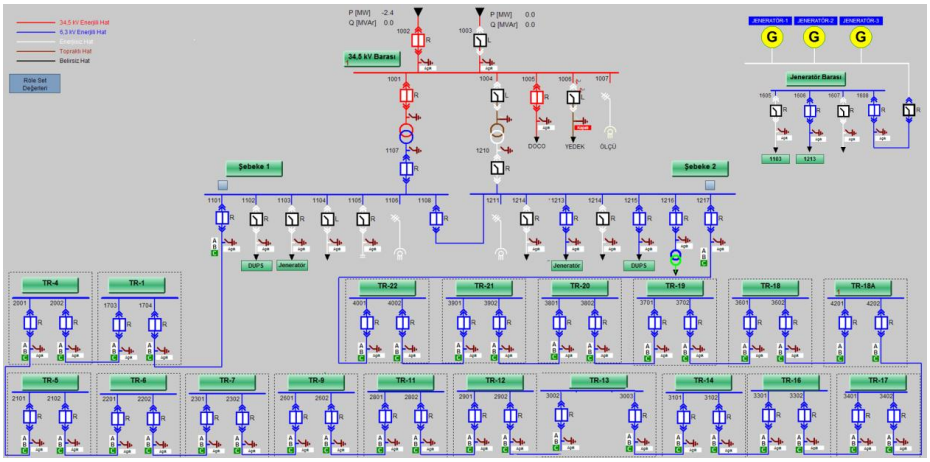
Mühendislik Bilgisayarı: Mevcut SCADA projesinde değişiklik yapıp, bu değişiklikleri aktif olan SCADA sunucusuna göndermek.

Yazıcılar: Anlık veya geçmişe dönük olay ve alarm listesinin, önceden belirlenmiş olan bir sıklıkla kayıt altına alınmış analog değerlere ait grafiklerin çıktısının alınmasını sağlamak.

RTU: Koruma rölelerindeki analog ve digital sinyalleri IEC 61850 Fiber Ring ile alıp, IEC 104 Fiber Ring üzerinden aktif ve yedekte bekleyen SCADA sunucusuna aktarılmasını sağlamak.

Koruma Röleleri: Bağlı olduğu fiderdeki analog ve digital sinyalleri toplamak, arıza durumunda koruyacağı fidere ait kesiciye açma komutu göndermek.

SCADA'nın temel özelliği olan, izleme ve kumanda için birçok özel sayfalar tasarlanmıştır. Ancak bu çalışmada SCADA'nın sadece adaptif korumadaki işlevi anlatıldığı için özel ekranlardan olan; alarm sayfası, olay sayfası, arşiv sayfası ve grafik sayfası vb. sayfalara değinilmemiştir. Sadece sistemdeki koruma rölelerin ayar grupları ve elektrik dağıtım sistemi tek hat şemasının gösterildiği ekrana yer verilmiştir. Bu sayfanın görüntüsü de Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3: Elektrik dağıtım sisteminin SCADA'daki tek hat görünümü.

6.3 Elektrik Dağıtım Sistemindeki Senaryoların Belirlenmesi

Şekil 6.3'teki elektrik dağıtım sistemi genel olarak bakıldığında temel olarak iki farklı senaryoda çalışabilmektedir. İlk senaryo, sistemin enterkonnekte şebekeden beslendiği durum olup, ikinci senaryo ise elektrik dağıtım sisteminin şebekeden bağımsız olarak çalışan dizel generatörler ile beslendiği ada durumdur. İkinci seneryo da kendi içerisinde çalışan generatörün sayısına bağlı olarak üçe ayrılmaktadır. Bu senaryolar;

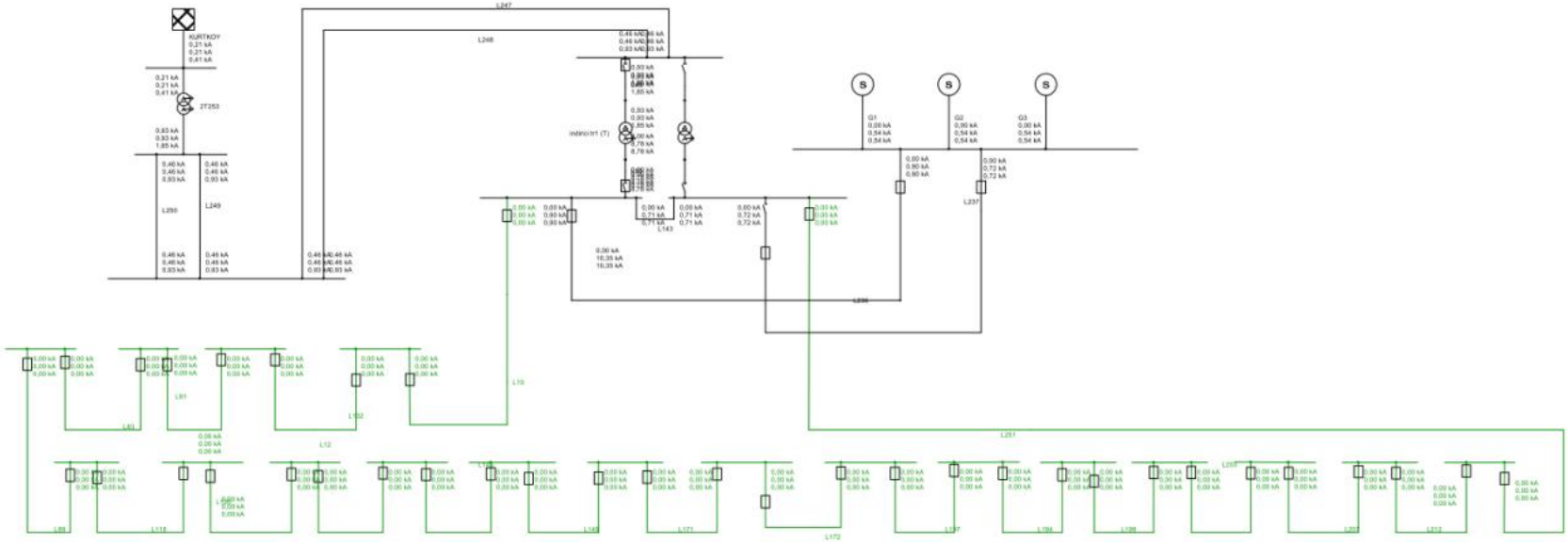
1 adet generatör devrede iken,

2 adet generatör devrede iken,

3 adet generatör devrede iken,

olarak sıralanabilir.

Bu ayrı durumları detaylı olarak incelemek amacıyla, SINCAL yazılımında elektrik dağıtım sisteminin tüm durumlardaki analizi yapılmıştır. Sistemin SINCAL yazılımındaki yapısı Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.4: Elektrik dağıtım sisteminin SINCAL yazılımındaki yapısı.

Yapılan analizlerde üç faz kısa devre arızasında, elektrik dağıtım sistemindeki transformatör merkezlerinin ring koruma rölelerinin maruz kalacakları kısa devre akım değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplama tüm farklı senaryolar için tekrarlanmıştır. Bu sonuçlar Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1: Elektrik dağıtım sisteminin 4 farklı beslenme durumu için IEC 909/2001'e göre 3 faz kısa devre anında kapalı ring şebekede trafo merkezlerinden birbirlerine doğru akacak olan akımların değerleri.

Ring Koruma Rölelerinin Ölçtüğü Akım Değerleri									
		Şebeke		**3 Gen**		**2 Gen**		**1 Gen**	
Arızanın Oluştuğu TRM	**Arızayı Besleyen TRM**	**Max [A]**	**Min [A]**	**Max [A]**	**Min [A]**	**Max [A]**	**Min [A]**	**Max [A]**	**Min [A]**
TRM-01	SEBEKE-1	10542	9534	2220	2010	1516	1375	776	705
	TRM-04	111	101	23	21	16	15	8	7
TRM-04	TRM-01	8161	7334	2009	1816	1393	1262	725	658
	TRM-05	517	465	127	115	88	80	46	42
TRM-05	TRM-04	7498	6718	1938	1749	1351	1223	707	641
	TRM-06	635	569	164	148	114	104	60	54
TRM-06	TRM-05	6380	5683	1798	1621	1266	1145	669	607
	TRM-07	844	752	238	214	167	151	89	80
TRM-07	TRM-06	5948	5285	1736	1564	1228	1110	652	592
	TRM-09	930	827	272	245	192	174	102	93
TRM-09	TRM-07	4564	4021	1498	1346	1076	971	581	527
	TRM-11	1251	1103	411	369	295	266	159	144
TRM-11	TRM-09	3599	3152	1280	1148	929	838	509	461
	TRM-12	1560	1367	555	498	403	363	221	200
TRM-12	TRM-11	2935	2563	1092	978	799	720	441	399
	TRM-13	1874	1637	698	625	510	460	282	255
TRM-13	TRM-12	2637	2300	995	891	729	657	404	366
	TRM-14	2071	1807	781	700	573	516	317	287
TRM-14	TRM-13	2075	1810	783	701	574	517	318	288
	TRM-16	2631	2296	993	889	728	656	403	365
TRM-16	TRM-14	1798	1571	664	595	485	437	267	242
	TRM-17	3071	2684	1134	1016	828	747	457	414
TRM-17	TRM-16	1642	1436	593	531	431	389	237	215
	TRM-18 A	3399	2975	1227	1100	893	805	490	444
TRM-18	TRM-18 A	1317	1159	441	396	318	287	172	156
	TRM-19	4326	3806	1449	1302	1043	942	565	513
TRM-18 A	TRM-18	3754	3292	1319	1183	956	862	522	473
	TRM-17	1502	1316	527	473	382	345	209	189
TRM-19	TRM-18	1216	1072	395	355	283	256	153	138
	TRM-20	4694	4140	1524	1370	1092	986	589	534
TRM-20	TRM-19	1132	1000	357	321	255	230	137	124
	TRM-21	5032	4447	1587	1427	1133	1024	608	552
TRM-21	TRM-20	968	858	287	258	203	184	108	98
	TRM-22	5765	5118	1709	1539	1211	1095	644	585
TRM-22	TRM-21	762	680	208	187	146	132	77	70
	SEBEKE-2	6803	6075	1854	1673	1300	1177	685	621

6.4 Elektrik Dağıtım Sisteminin Senaryolarına Uygun Koruma Parametrelerinin Oluşturulması

Çizelge 6.1'de görüldüğü gibi koruma rölelerinin ölçtüğü arıza akımları, aynı arızada elektrik dağıtım sisteminin beslenme durumuna göre 10 kata kadar büyük bir değişim gösterebilmektedir. Hatta bazı trafo merkezlerinde, enerji sistemi şebekeye bağlı durumda iken koruma rölesinin ölçeceği nominal akım, şebekeden bağımsız olarak çalışan 1 generatör ile beslenme durumunda oluşabilecek bir arızadaki kısa devre akım değerinden daha büyük olma olasılığına sahiptir. Bu durum farklı çalışma senaryolarındaki nominal akım ve kısa devre akımlarının iç içe geçmesine neden olup, koruma sisteminin parametrelendirilmesini güç hale getirmektedir. Bundan dolayı, her bir çalışma durumu için farklı bir aşırı akım ve kısa devre akım ayarı belirlenmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Yapılan bu analizlerdeki sonuçlar üzerinden bir mühendislik çalışması yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan diğer önemli veriler ise, ring şebeke boyunca kullanılan kablonun dayanabileceği maksimum kısa devre akım değeri ve 1600 kVA gücündeki bir generatörün devreye girdiğinde elektrik dağıtım sistemine sağlayabileceği maksimum akım değeridir. Bu değerler aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Kablonun dayanabileceği maksimum akım EK-B'deki katalog bilgisine göre 526 A olarak alınmıştır.

EK-C'de detay özellikleri verilmiş olan 1600 kVA gücündeki bir generatörün, 6,3 kV gerilim seviyesindeki baraya sağlayabileceği maksimum akım değeri

$I_{gen} = \frac{1600\text{kVA}}{\sqrt{3}\cdot 6{,}3\text{kV}} = 146\ \text{A}$ olarak hesaplanmıştır.

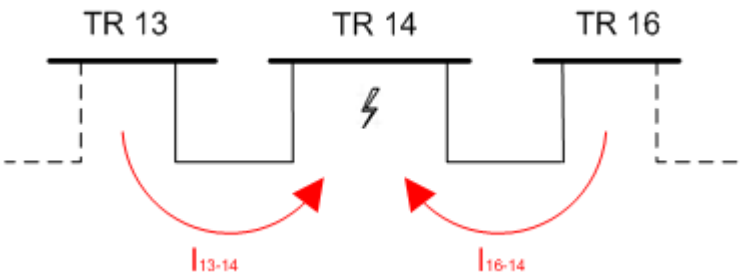
Bu gibi özel durumlarda parametrelendirilme işleminde esas alınacak trafo merkezi, arıza anında sağından ve solundan akacak olan akımların büyüklüğü birbirine en yakın olan trafo merkezidir. İlgili trafo merkezi ringin empedans olarak orta noktasına yakınlarındadır. Bu trafo merkezinden sağa veya sola doğru gidildikçe hattı koruyan rölelerin göreceği arıza akım değerlerinin biri artarken, diğeri azalmaktadır. Diğer bir deyişle, trafo merkezinin sağından gelecek olan akım azalıyor ise solundan gelecek akım artacak veya sağından gelecek olan akım artıyor ise solundan gelecek olan akım azalacaktır. Bu durumda ise arıza anında trafo merkezine sağından veya solundan akacak olan arıza akımlarının herhangi birinin büyüyerek, koruma rölesinin arızayı fark etmesini kolaylaştıracaktır.

Parametrelendirme işlemi için temel alınacak olan trafo merkezinin tespiti için, her bir trafo merkezinde arıza anında sağından ve solundan akacak olan arıza akımlarının hesaplanması gerekmektedir. SINCAL yazılımında yapılan analizler ile ihtiyaç duyulan bu akım değerleri Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2: Trafo merkezlerindeki 3 faz kısa devre anında sağından ve solundan akacak olan minimum kısa devre akımların farkı.

Ring Koruma Rölelerinin Ölçtüğü Akım Değerleri									
		Şebeke		**3 Gen**		**2 Gen**		**1 Gen**	
Arızanın Oluştuğu TR	**Arızayı Besleyen TR**	**Min [A]**	**Fark [A]**	**Min [A]**	**Fark [A]**	**Min [A]**	**Fark [A]**	**Min [A]**	**Fark [A]**
TR-01	SEBEKE-1	9534	9433	2010	1989	1375	1360	705	697
	TR-04	101		21		15		7	
TR-04	TR-01	7334	6868	1816	1700	1262	1182	658	616
	TR-05	465		115		80		42	
TR-05	TR-04	6718	6149	1749	1601	1223	1120	641	587
	TR-06	569		148		104		54	
TR-06	TR-05	5683	4931	1621	1407	1145	994	607	527
	TR-07	752		214		151		80	
TR-07	TR-06	5285	4459	1564	1320	1110	937	592	499
	TR-09	827		245		174		93	
TR-09	TR-07	4021	2919	1346	977	971	705	527	382
	TR-11	1103		369		266		144	
TR-11	TR-09	3152	1785	1148	650	838	475	461	261
	TR-12	1367		498		363		200	
TR-12	TR-11	2563	926	978	354	720	260	399	144
	TR-13	1637		625		460		255	
TR-13	TR-12	2300	494	891	191	657	141	366	78
	TR-14	1807		700		516		287	
TR-14	TR-13	1810	486	701	188	517	139	288	77
	TR-16	2296		889		656		365	
TR-16	TR-14	1571	1113	595	421	437	309	242	171
	TR-17	2684		1016		747		414	
TR-17	TR-16	1436	1539	531	569	389	417	215	230
	TR-18 A	2975		1100		805		444	
TR-18	TR-18 A	1159	2648	396	905	287	655	156	357
	TR-19	3806		1302		942		513	
TR-18 A	TR-18	3292	1976	1183	710	862	518	473	284
	TR-17	1316		473		345		189	
TR-19	TR-18	1072	3068	355	1015	256	731	138	396
	TR-20	4140		1370		986		534	
TR-20	TR-19	1000	3447	321	1106	230	793	124	428
	TR-21	4447		1427		1024		552	
TR-21	TR-20	858	4260	258	1281	184	911	98	487
	TR-22	5118		1539		1095		585	
TR-22	TR-21	680	5396	187	1486	132	1045	70	552
	SEBEKE-2	6075		1673		1177		621	

Çizelge 6.2’de sarı ile işaretlenmiş olan TR-14’te üç faz kısa devre arızası olduğunda komşu trafo merkezleri olan TR-13 ve TR-16’dan akacak olan arıza akımları, elektrik dağıtım sistemindeki tüm trafo merkezlerindeki arıza akımları arasındaki en küçük değere sahiptir. Başka bir deyişle, koruma parametreleme işlemi için temel alınacak transformatör merkezi TR-14’tür, çünkü arıza akımları diğer trafo merkezlerinde daha da büyük olduğu için, TR-14’de hissedilen arıza akımı diğer trafo merkezlerinde kesinlikle hissedilir.



Şekil 6.5: TR 14’deki arıza esnasında akacak olan akımlar.

Şekil 6.5’te TR-14’de oluşacak bir kısa devre arızasında komşu trafo merkezlerden TR-14’e doğru akacak olan arıza akımları gösterilmiştir. Çizelge 6.3’te ise TR-14’teki bu arıza anında, ring olarak bağlı olduğu TR 13 tarafından ve TR 16 tarafından TR-14’e doğru akacak olan akımların sayısal değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.3: TR 14’te meydana gelen 3 faz arızasında TR 13 ve TR 16’dan akacak olan kısa devre akımları.

	TR 13'den akacak olan min kısa devre akımı [A]	TR 16'dan akacak olan min kısa devre akımı [A]	Jeneratörün sağlayabileceği yük akımı [A]	Kablonun taşıyabileceği akım [A]
1 Jeneratör	288	365	146	526
2 Jeneratör	517	656	292	526
3 Jeneratör	701	889	438	526
Şebeke	1810	2296		526

Koruma rölesinin oluşacak olan en küçük arıza akımını dahi hissetmesi açısından Çizelge 6.2’deki değerlerden en küçük olan değer temel alınmaktadır. Bazı durumlarda ayrıca bir güvenlik faktörü de kullanılmaktadır. Burada en küçük kısa devre akım değerleri güvenlik faktörü olarak alınan “0.75” ile çarpıldığında koruma sisteminin seçiciliğinde herhangi bir hataya neden olmamaktadır. Bunun yanında

koruma bölgesinin duyarlılığını arttırmaktadır. Bu değer ile hesaplanan ayar gruplarına ait minimum kısa devre akım değerleri aşağıda verilmiştir.

288 A x 0.75 = 216 A “Ayar Grup A

517 x 0.75 = 388 A “Ayar Grup B”

701 X 0.75= 525 A “Ayar Grup C”

1810 x 0.75 = 1350 A “Ayar Grup D”

Ancak elektrik dağıtım sistemindeki kablonun dayanabileceği en yüksek akım değeri 526 A olduğu için “Ayar Grup D” değeri “Ayar Grup C” değeri ile aynı olmalıdır. Bu nedenle 4 adet olan ayar grup değeri yerine 3 adet kullanılmıştır.

Elektrik dağıtım sisteminin kısa devre akım değerinin belirlenmesinin ardından rölenin koruma parametreleme işleminin tamamlanması için gerekli olan diğer değer ise, aşırı akım değeridir. Bu değerlerin belirlenmesi için bir generatörün verebileceği maksimum akım olan 146 A’e göre işlem yapılması gerekmektedir. Güvenlik faktörü 1.1 alındığı takdirde,

1 generatör devredeyken aşırı akım değeri

146 x 1.1 = 160 A

2 generatör devredeyken aşırı akım değeri

292 x 1,1=322 A

3 generatör devredeyken aşırı akım değeri

438 x 1,1 = 482 A

olarak hesaplanır. Tüm akım değerleri Çizelge 6.4’te verilmiştir.

Çizelge 6.4: Elektrik dağıtım sisteminin koruma parametreleri.

	TR 13'ten akacak olan min kısa devre akımı [A]	TR 16'dan akacak olan min kısa devre akımı [A]	Generatörün sağlayabileceği yük akımı [A]	Aşırı akım değeri (ters zamanlı açma eğrisinin başlangıç değeri) [A]	Kısa devre akım değeri (sabit zamanlı açma akım değeri) [A]	Kablonun taşıyabileceği akım [A]
1 Jeneratör	288	365	146	160	216	526
2 Jeneratör	517	656	292	322	388	526
3 Jeneratör	701	889	438	482	525	526
Şebeke	1810	2296		482	525	526

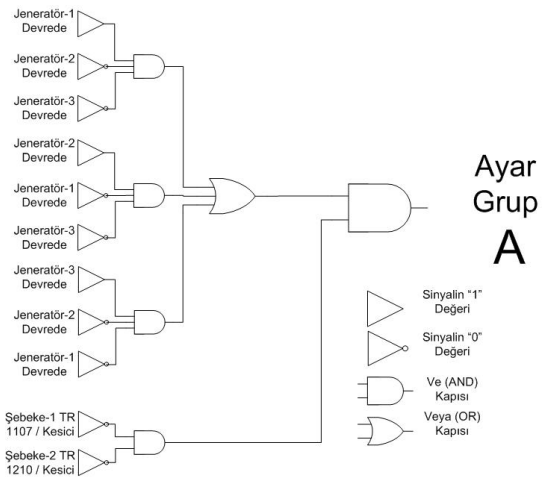
6.5 Elektrik Dağıtım Sisteminin Senaryolarının SCADA'ya Tanımlanması

Elektrik dağıtım sisteminin beslenme durumlarına göre çıkartılan farklı senaryoların, mevcut olan SCADA sistemine tanıtılması için gerekli olan ilk işlem, sahadaki işletme durumunun SCADA tarafından yorumlanmasını sağlayacak olan dijital sinyallerin seçilmesidir. İncelenen elektrik dağıtım sisteminin beslenme durumu ve hangi senaryoya göre çalışması gerektiğini belirleyecek olan dijital sinyaller aşağıdaki gibidir.

1. Generatör-1 Devrede (SP Digital Sinyal) : Bu sinyal değerinin "0 (sıfır)" olması Generatör-1'in aktif olmadığını, "1(bir)" olması ise Generatör-1'in aktif olduğunu gösterir.
2. Generatör-2 Devrede (SP Digital Sinyal) : Bu sinyal değerinin "0 (sıfır)" olması Generatör-2'nin aktif olmadığını, "1(bir)" olması ise Generatör-2'nin aktif olduğunu gösterir.
3. Generatör-3 Devrede (SP Digital Sinyal) : Bu sinyal değerinin "0 (sıfır)" olması Generatör-3'ün aktif olmadığını, "1(bir)" olması ise Generatör-3'ün aktif olduğunu gösterir.
4. İndirici Merk/6,3 kV K7 Şebeke-1 TR 1107 / Kesici (DP Dijital Sinyal): İncelenen elektrik dağıtım sisteminin şebekeye bağlı olup olmadığını tespit etmek için, 34,5 kV enerji seviyesini 6,3 kV enerji seviyesine çeviren transformatör fiderinin kesici pozisyonunu kullanmak mühendislik açısından en uygun çözümdür.
5. İndirici Merk/6,3 kV K1 Şebeke-2 TR 1210 / Kesici (DP Dijital Sinyal): 1107 nolu transformatör çıkış fideriyle yedekli olarak çalışan 1210 nolu transformatör çıkış fiderinin kesici pozisyonu da beslenme durumunun tespiti için gereklidir.

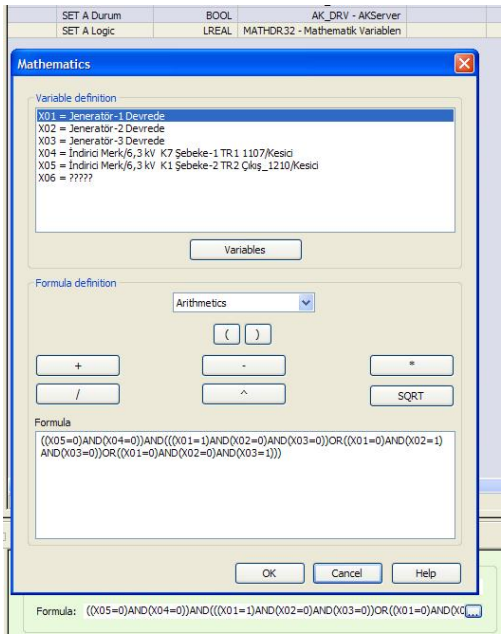
6.5.1 Elektrik dağıtım sisteminin şebekeden bağımsız olarak tek generatör ile beslenme durumu

Bölüm 6.4'te Senaryo-A olarak belirlediğimiz bu beslenme durumunda korunacak olan enerji sistemi şebekeden bağımsız olup, sadece bir generatörle beslenmektedir. Bu durum sayısal devre olarak Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6: Senaryo A'da aktif olması gereken Ayar Grup-A'nın sayısal devresi.

Şekil 6.6'dan de anlaşılacağı gibi Bölüm 6.5'te seçilmiş olan dijital sinyallerden 1107 ve 1210 numaralı kesicilerin sinyal değerinin sıfır (0) olduğu, yani devre dışı olduğu anlaşıldıktan sonra, elektrik dağıtım sisteminin şebekeyle bir bağlantısı olmadığı kesinleşmiştir. Sisteme bağlı olan üç adet generatörden sadece birinin devrede olduğu bilgisinin de alınması ile, SCADA sistemi elektrik dağıtım sisteminin AYAR GRUP A'ya uygun olduğuna karar vermiş olur.Bu sayısal işlem SCADA'da Şekil 6.7'te gösterilen menü üzerinden sisteme tanıtılır.

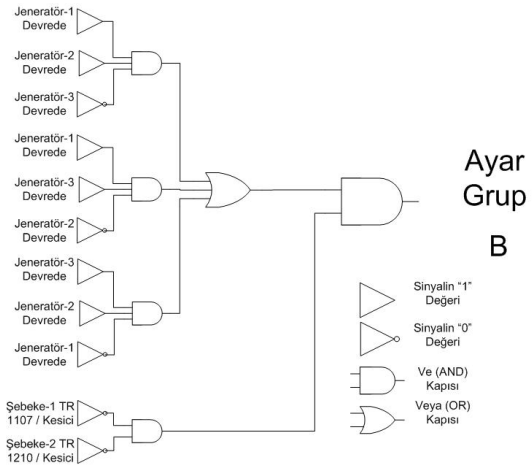


Şekil 6.7: Senaryo A'nın SCADA'ya tanıtılması.

Bu işlemin ardından SCADA'nın verdiği karar üzerine nasıl komut yolladığına Bölüm 6.6'da değinilecektir.

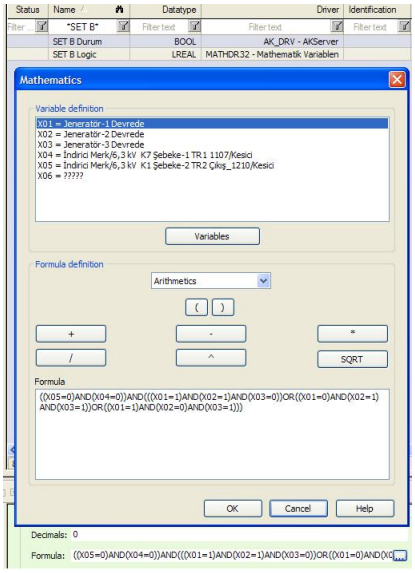
6.5.2 Elektrik dağıtım sisteminin şebekeden bağımsız olarak çift generatör ile beslenme durumu

Bölüm 6.4'te Senaryo-B olarak belirlediğimiz bu beslenme durumunda elektrik dağıtım sistemi şebekeden bağımsız olup, çift generatörle beslenmektedir. Bu durum sayısal devre olarak Şekil 6.8'de gösterilmiştir.



Şekil 6.8: Senaryo B'de aktif olması gereken Ayar Grup-B'nin sayısal devresi.

Şekil 6.8'den de anlaşılacağı gibi 1107 ve 1210 nolu kesicilerin değerinin sıfır (0) olduğu, diğer bir deyişle devre dışı olduğu anlaşıldıktan sonra elektrik dağıtım sisteminin şebekeyle bir bağlantısı olmadığı kesinleşmiştir.



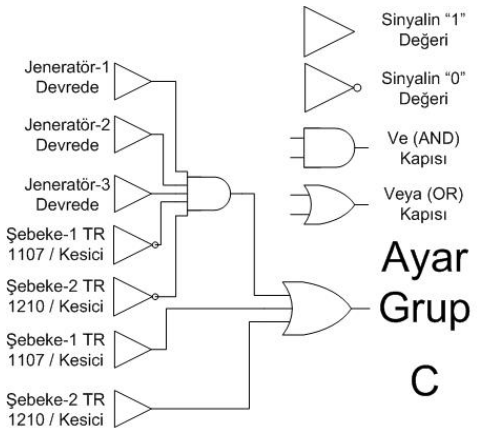
Şekil 6.9: Senaryo-B'in SCADA'ya tanıtılması.

Sisteme bağlı olan üç adet generatörden herhangi ikisin devrede olduğu bilgisinin de alınması ile, SCADA sistemi elektrik dağıtım sisteminin AYAR GRUP B'ya uygun

olduğuna karar vermiş olur. Bu sayısal işlem SCADA'da Şekil 6.9'da gösterilen menü üzerinden sisteme tanıtılır.

6.5.3 Enerji Sisteminin Direkt Şebekeye Bağlı Olması veya 3 Generatörle Beslenme Durumu

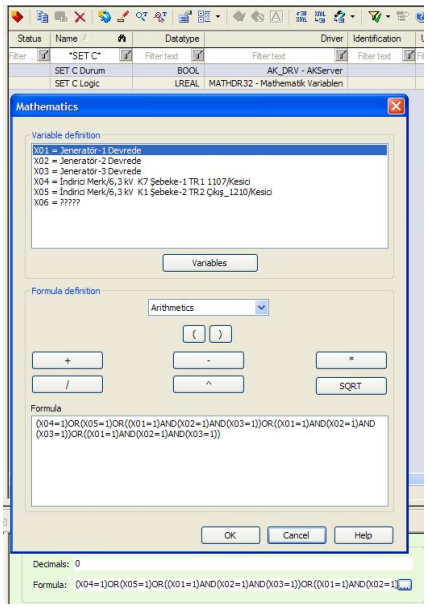
Bölüm 6.4'te Senaryo-C olarak belirlediğimiz bu beslenme durumunda elektrik dağıtım sistemi ya direkt olarak 1107 veya 1210 nolu fiderlerden şebekeye bağlıdır, ya da şebekeye bağlı barayı dağıtım sistemine bağlayan 1107 ve 1210 kesicileri devre dışı olup, şebekeden bağımsız olarak üç generatörle beslenmektedir. Bu durum sayısal devre olarak Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



Şekil 6.10: Senaryo-C'de aktif olması gereken Ayar Grup-C'nin sayısal devresi.

Sistemin koruma ayar değerleri; şebekeden bağımsız olup 3 generatörle beslenirken ve şebekeye bağımlıyken aynıdır. Bu yüzden Şekil 6.10'dan de anlaşılacağı gibi 1107 ve 1210 nolu kesicilerin değerinin herhangi bir tanesinin bir (1) olduğu, yani devrede olduğu anlaşıldıktan sonra, elektrik dağıtım sisteminin şebekeye bağlı olduğu anlaşılır. Bu durum Senaryo-C'in olması için yeterlidir. Ancak bu durum dışında, eğer 1107 ve 1210 numaralı kesicilerin değerinin ikisinin birden sıfır (0) olduğu, yani devre dışı olduğu durumda eğer 3 generatör birden devredeyse de Senaryo-C'in olduğu ve AYAR GRUP C'nin aktif olması gerektiğini gösterir.

Bu sayısal işlem SCADA'da Şekil 6.11'de gösterilen menü üzerinden sisteme tanıtılır.



Şekil 6.11 : Senaryo-C'nin SCADA'ya tanıtılması.

6.6 Senaryoya Göre Uygun Komutların SCADA'dan RTU'ya Gönderilmesi

Bölüm 6.5'te SCADA'ya tanıtılan senaryolara uygun olan ayar gruplarının ilgili koruma rölelerine komut olarak yollanması için SCADA'da yapılması gerek işlemler bu bölümde anlatılacaktır. SCADA'nın komut yollayabilmesi için mevcut sistemde her koruma rölesi için 4 adet sinyal tanımlanmalıdır. Bu sinyallerden 3'tanesi SP dijital sinyal, 1 tanesi analog output sinyaldir. Örnek olarak 1704 nolu fiderde tanımlanması gereken sinyaller şu şekildedir.

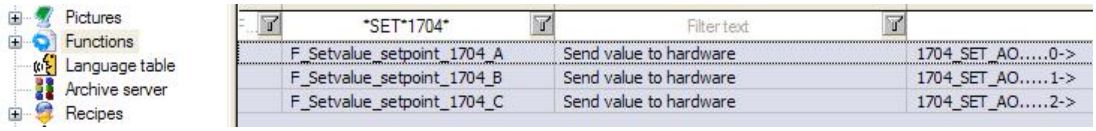
1. 1704 Ayar Grup A Durum Bilgisi: Bu sinyalin değerine göre 1704 nolu koruma rölesinin Ayar Grup A'da çalışıp çalışmadığı bilgisi alınmış olur.
2. 1704 Ayar Grup B Durum Bilgisi: Bu sinyalin değerine göre 1704 nolu koruma rölesinin Ayar Grup B'de çalışıp çalışmadığı bilgisi alınmış olur.
3. 1704 Ayar Grup C Durum Bilgisi: Bu sinyalin değerine göre 1704 nolu koruma rölesinin Ayar Grup C'de çalışıp çalışmadığı bilgisi alınmış olur.
4. 1704 Ayar Grup Analog Output: Bu sinyal bir analog output sinyal olup koruma rölesine, sıfır (0), bir (1) ve iki (2) değerini yollamak için kullanılmaktadır. Röleye sıfır (0) yollaması halinde Ayar Grup A, bir (1) yollaması halinde Ayar Grup B, iki (2) yollaması durumda Ayar Grup C aktif olacaktır.

Sonuç olarak, 4. sinyal olan analog output ile yollanılan komutun koruma rölesinde hangi ayar grubunu aktif hale getirdiği bilgisi 1,2 ve 3. dijital sinyal ile alınmış olur.

6.6.1 SCADA'dan komut yollamak için gerekli komut fonksiyonlarının oluşturulması

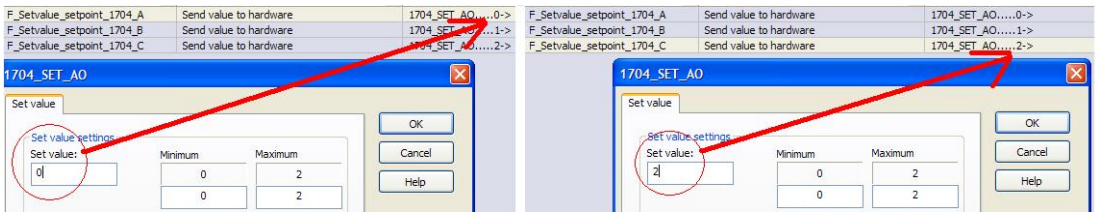
Bölüm 6.6'da açıklanan analog output sinyalinin koruma rölesine sıfır (0), bir (1) ve iki (2) değerini yollaması için SCADA'da özel fonksiyonlar tanımlanmalıdır. Her koruma rölesi için ayar grup sayısı kadar fonksiyon tanıtılmalıdır. Örnek olarak 1704 nolu koruma rölesi için oluşturulan fonksiyonlar şu şekildedir.

1. F_Setvalue_Setpoint_1704_A
2. F_Setvalue_Setpoint_1704_B
3. F_Setvalue_Setpoint_1704_C



Şekil 6.12: 1704 nolu koruma rölesinin 3 farklı ayar grubu için oluşturulan 3 farklı komut fonksiyonu.

Şekil 6.12'de görülen komut fonksiyonlarının hangi değeri yollacağı teker teker sisteme tanıtılmadır. Komut fonksiyonlarının koruma rölesine hangi değeri yolacağı Şekil 6.12'de üçüncü sütunda görülmektedir. Bu işlemin nasıl yapıldığı ise Şekil 6.13'te Ayar Grup A ve Ayar Grup C için gösterilmiştir.



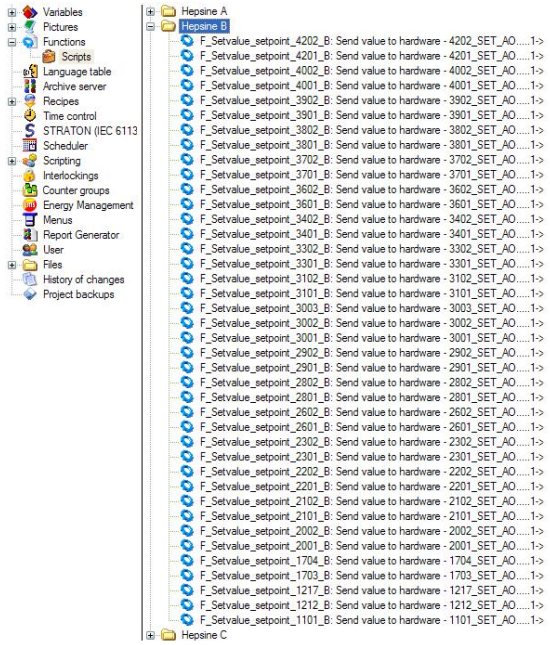
Şekil 6.13: 1704 nolu koruma rölesine ait komut fonksiyonlarının yolladığı analog output değerleri.

Oluşturulan bu komutlar, kullanıcıya bağlı olarak otomatik olarak ya da istenildiğinde koruma rölesine gönderilebilir. Komutların koruma rölelerine otomatik olarak gönderilmesi için özel Script'ler oluşturulurken, koruma rölelerine istenildiği zaman gönderilmesi için özel bir ayar grup sayfası oluşturulmalıdır.

6.6.1.1 Komutların otomatik olarak koruma rölesine gönderilmesi

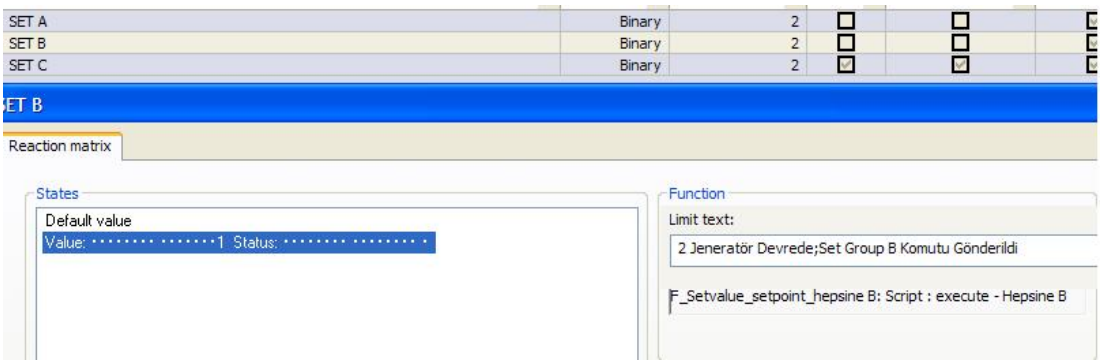
Bu işlemi otomatik olarak yapmak için, Bölüm 6.4'te oluşturulan senaryolardan faydalanılır. Her senaryonun çıkışı SCADA içinde sahayla bağlantısı olmayan INTERN bir sinyale atanır. Senaryonun lojik işleminin sonucu bir (1) olduğunda bu INTERN sinyalin değeri de bir (1) olup, kendine özel olarak atanmış Script'in çalışmasını sağlar.

Örnek olarak Ayar Grup B'nin Script'ini açıklamak gerekirse, daha önceden tüm röleler için ayrı ayrı oluşturulan Ayar Grup B fonksiyon komutları bir Script altında toplanır. Şekil 6.14'te bu işlem gösterilmiştir.



Şekil 6.14: Ayar grup B için script oluşturulması.

Bu işlemin ardından INTERN olarak oluşturulan SET B değişkenine bu script atanır. Bu atama işlemi Şekil 6.15'te gösterilmiştir.

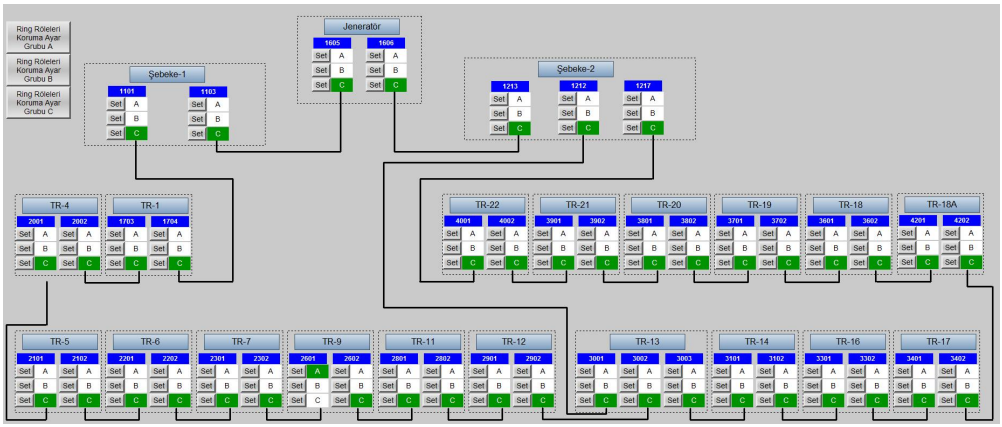


Şekil 6.15: INTERN değişken B'nin bir (1) olduğunda çalıştıracağı script.

Bu atama işleminin ardından, Bölüm 6.4'te Senaryo B olarak değinilen sayısal işlemin sonucu "1(bir)" olduğunda INTERN değişken B'de "1(bir)" olacak ve Script B'yi çalıştırarak tüm koruma rölelerine Ayar Grup B komutunu gönderecektir.

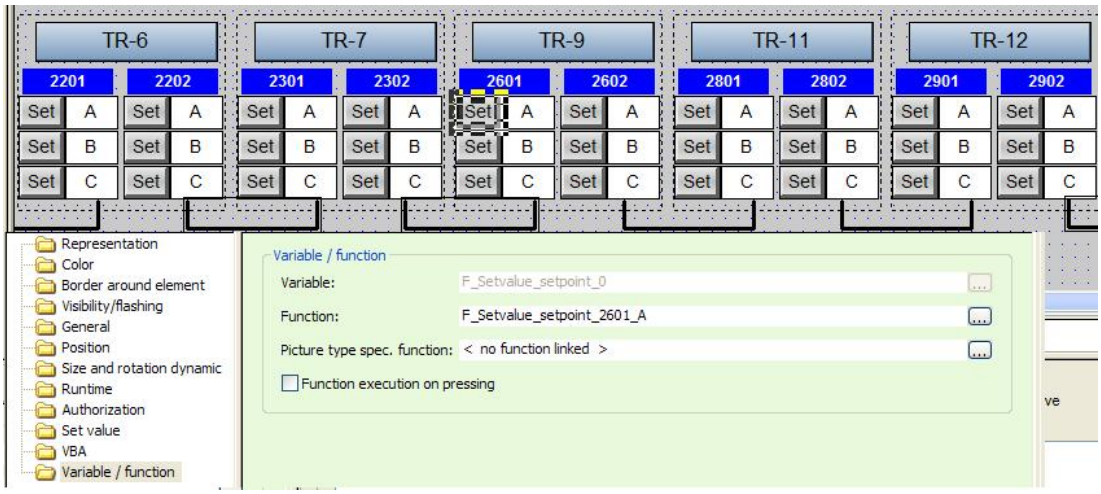
6.6.1.2 Komutların istenildiği zaman koruma rölesine gönderilmesi

Ayar grup komutlarını istenildiği zaman gönderebilmek için SCADA editöründe özel bir sayfa tasarlanır. Tasarlanmış olan bu sayfa Şekil 6.16'da gösterilmiştir.



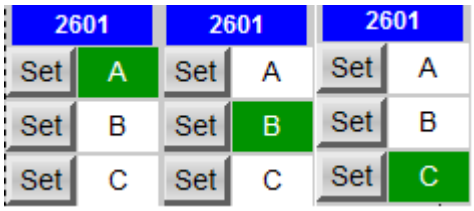
Şekil 6.16: Koruma röleleri ayar grup sayfası.

Bu sayfada oluşturulan her tuşa, Bölüm 6.6.1'de oluşturulan komut fonksiyonları tek tek atanır. Tuşlara komut fonksiyonlarının atamasının editörde nasıl yapıldığı Şekil 6.17'de gösterilmiştir.



Şekil 6.17: Örnek bir komut fonksiyonunun tuşa atanması.

SCADA çalışıyorken tuşa basıldığında atanmış olan bu komut SCADA'dan ilgili koruma rölesine gönderilmiş olur. Örnek olarak 2601 hücresinin farklı ayar gruplarındaki görünümü Şekil 6.18'te verilmiştir.



Şekil 6.18: Örnek bir fiderin farklı durumlardaki ayar grup değerleri.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elektrik enerjisin üretiminden tüketimine kadar olan süreçte, elektriksel ekipmanların arızalara karşı korunması ve elektrik enerji kalitesinin sağlanması için koruma sistemlerinin doğru ve seçici çalışarak görevlerini yerine getirmesi gerekmektedir. Ancak üretim, iletim ve dağıtımdan oluşan bu süreçte koruma sistemlerinin hatalı çalışmasına neden olan sebepler koruma sistemlerinin görevlerini doğru bir şekilde yerine getirmesine engel olmaktadır.

Koruma sistemlerinin sorumlu olduğu bölgelerdeki çalışma durumlarının değişmesi, koruma sistemlerinin hatalı çalışmasına neden olmaktadır. Bu yüzden çalışma senaryosu birden fazla olan, işletme manevralarıyla beslenme şekli değişen, mevsimsel değişimlerde yük miktarındaki değişimi fazla olan dağıtım sistemlerine ait koruma sistemlerinin, koruma bölgesindeki bu değişikliklere uyum sağlaması için adaptif koruma sistemi kullanılması gerekmektedir.

Bu çalışmada koruma rölelerinin hatalı çalışmasına neden olan durumlardan bazıları incelenmiş ve çözümler üretilmiştir. Bu sorunlar ve sorunlara ait çözümler aşağıda sıralanmıştır.

1. Elektrik dağıtım sisteminin açık veya kapalı ring olmasına göre kısa devre akımındaki değişimin fazla olduğu görülmüştür. Koruma rölelerinin hatalı çalışmasına neden olan bu durumun önüne geçmek için iki farklı koruma ayar grubu oluşturmak gerektiği savunulmuştur.
2. Zamana göre yük miktarındaki değişiminin fazla olduğu durumlarda da hatalı çalışma durumunun ortaya çıktığına değinilmiştir. Çözüm olarak ise, yük miktarının değiştiği zaman dilim sayısı adedince koruma ayar grubuna sahip olan adaptif bir koruma sistemi öngörülmüştür.
3. Büyük güçlü asenkron motorların kondansatörlü veya kondansatörsüz yol verilmesi durumlarındaki yol alma akımlarının birbirlerinden çok farklı olduğu ve bu durumun hatalı çalışma potansiyeli oluşturduğu ortaya konmuştur. Bu potansiyeli ortadan kaldırmak için ise, asenkron motorun

kalkış durumuna bağlı olarak iki farklı koruma ayar grubuna sahip olan bir adaptif koruma sistemi tercih edilmiştir.

4. Senkron generatörlerin şebeke ile paralele alınması için bazı senkronizasyon şartları bulunmaktadır. Bu şartlardan bir tanesi de gerilimlerin eşitlik şartının kontrolüdür. Bunu sağlamak için senkronizasyon rölelerinin ölçüp karşılaştırması gereken gerilim değeri, sistemin durumuna göre birden fazla olabilmektedir. Bu farklı durumlar ise tek bir gerilim seviyesine ayarlanmış senkronizasyon rölesinin hatalı çalışmasına neden olmaktadır. Bu hatalı çalışma durumunu çözmek için her bir senaryoya ait gerilim değeri belirlenerek, senkronizasyon rölesinde ayar grupları olarak tanımlanmıştır. Böylece senkronizasyon rölesinin farklı senaryolarda da doğru çalışması sağlanmıştır.
5. İşletmelere ait generatörlerin koruma parametreleri, şebeke ile paralel çalıştığı durumda ve ada modunda çalıştığı durumda farklılık göstermektedir. Tek bir çalışma durumuna göre ayarlanmış olan generatör koruma parametreleri ise çalışma durumu değiştiğinde geçersiz hale gelip, hatalı çalışmaya neden olmaktadır. Bu durumun önüne geçmek için koruma parametrelerini generatörün çalışma durumuna bağlı olarak değiştiren adaptif bir koruma sistemi tasarlanmıştır.

Bu geliştirilen çözümlerin yanı sıra, gerçek bir elektrik dağıtım sisteminin farklı çalışma senaryoları için adaptif koruma sistemi uygulaması gerçekleştirildi. Bunun için elektrik dağıtım sisteminin her bir çalışma senaryosuna ait arıza analizleri SINCAL yazılımında yapıldı. Analizlerin sonuçları, sistemdeki kablonun maksimum akım taşıma kapasitesi ve yedek güç kaynağı olarak kullanılan generatörlerin sisteme verebileceği maksimum akım değeri dikkate alınarak; her bir çalışma senaryosuna uygun farklı koruma rölesi ayar grup değerleri oluşturuldu. Bütün ayar grupları uygun şartlar oluştuğunda koruma rölelerinde aktif olacak şekilde parametrelendirildi.

Bununla birlikte aynı ayar grupları, sistemin durumunu izleyerek yaptığı sayısal işlemlerle karar verme ve sistemi kumanda etme yeteneği olan SICAM 230 SCADA yazılımda tanımlandı. Ayar gruplarının koruma rölelerine gönderilmesi için RTU'ya yollanacak olan komut fonksiyonları SCADA yazılımında oluşturuldu.

Yapılan testlerde SCADA'nın sistemin çalışma durumunu doğru olarak belirleyerek RTU'lara doğru komutları gönderdiği görüldü. RTU'ların da sahanın uygunluğunu kontrol ettikten sonra aldığı komutlara göre koruma rölelerinde doğru ayar grubunu aktif hale getirdiği gözlemlendi. Bu sayede elektrik dağıtım sistemini izleyebilen ve sistemin durumuna göre koruma rölelerinin en uygun ayar grubunda çalışmasını sağlayan adaptif bir koruma sistemi gerçeklendi.

Bu tez çalışmasında yapılan adaptif koruma sistemi RTU ve SCADA tabanlıdır. RTU'lar kendilerine bağlı olan koruma rölelerinden aldıkları bilgileri SCADA'ya gönderirler. Sahadaki bütün transformatör merkezlerindeki RTU'lardan aldığı bilgileri değerlendiren SCADA, yaptığı işlemler sonucunda uygun çıkış sinyalini RTU'ya gönderir. RTU ise bu çıkış sinyalini kendi kilitleme fonksiyonlarından geçirdikten sonra koruma rölesine gönderir. Sonuç olarak adaptif koruma için işlem sırası "koruma rölesi – RTU – SCADA – RTU – koruma rölesi" şeklidedir. Bu işlem sıradaki ekipman listesi arttıkça haberleşme trafiğinden dolayı elektrik dağıtım sisteminin tepki süresi de artacak, ekipman listesi azaldıkça elektrik dağıtım sisteminin tepki süresi de azalacaktır.

Tüm adaptif koruma sistemlerinin RTU ve SCADA tabanlı olması zorunlu değildir. Eğer ki adaptif koruma yapması istenilen koruma röleleri birbirlerine yakın bir bölgede ise, bu işlem RTU ve SCADA olmadan da yapılabilir. Örneğin sadece bir transformatör merkezindeki koruma röleleri için adaptif koruma sistemi oluşturmak istendiğinde, RTU ve SCADA olmadan da bu yapı sağlanabilir. Bunu sağlamak için, son yıllarda IEC61850 haberleşme protokolüne sahip koruma rölelerinde bulunan GOOSE haberleşmesi olarak da bilinen koruma rölesi haberleşmesi kullanılarak da bu işlem gerçekleştirilebilir. Birbiriyle sürekli olarak haberleşen koruma röleleri, sahadan ve birbirlerinden aldıkları bilgilere göre uygun koruma ayar grubunu kendilerinde otomatik olarak aktif hale getirebilirler.

Bu çalışmada GOOSE haberleşmesi yerine RTU ve SCADA tabanlı bir sistem tercih edilmesinin en büyük nedeni, birbirleriyle haberleşmesi gereken koruma rölelerinin hem sayısının hem de birbirlerine olan mesafelerinin çok fazla olmasıdır. Daha küçük bir bölgede yapılacak olan bir adaptif koruma sisteminde, GOOSE haberleşmesinin tercih edilmesi daha uygundur. Bunun nedeni ise GOOSE haberleşmesi kullandığında adaptif korumanın sağlanması için gerekli olan işlem sırasının "koruma rölesi – koruma rölesi" olmasıdır. Bu sayede, haberleşme trafiği

azaltılıp daha hızlı bir koruma sistemi elde edilebilir. Bunun yanı sıra, RTU ve SCADA sisteminin kurulumu için gerekli olan maliyetlerden de kaçınılmış olur.

KAYNAKLAR

[1] **Tatar, A. (**2007). İletim Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları İle Mesafe Koruması Uygulamaları, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Kahramanmaraş, Ocak

[2] **Contreras, A. F., Ramos, G. A. ve Rios, M.A.** (2012). Methodology and Design of an Adaptive Overcurrent Protection for Distribution Systems with DG. *International Journal of Electrical & Computer Sciences IJECS-IJENS*, sayı.12 Sf. 5

[3] **Javadian, S.A.M., Haghifam, M.-R. ve Barazandeh P.,** (2008). An Adaptive Over-current Protection Scheme for MV Distribution Networks Including DG. *Industrial Electronics,2008. ISIE 2008. IEEE International Symposium on*, 2008, Sf.2520 – 2525.

[4] **Cheung, H., Hamlyn, A., Lin W., Allen, G., Cungang Y., ve Cheung, R.** (2008). Network-Integrated Adaptive Protection for Feeders with Distributed Generations. *Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 2008 IEEE, Sf.1 – 8.

[5] **Baran, M. ve El-Markabi, İ**. (2004). Adaptive Over Current Protection for Distribution Feeders with Distributed Generators. *Power Systems Conference and Exposition, 2004*, IEEE PES, 2004, sayı.2 Sf.715 - 719.

[6] **Yanping, L.V., Yangbing, O.U., Dechang, L., Lu, P. ve Lin Z.,** (2008). Research on Principle of Network-based Adaptive Current Protection in Distribution Network. *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2008. DRPT 2008. Third International Conference on*, 2008, Sf. 2388 – 2391.

[7] **Yumurtacı, R. (**1995). Elektrik Güç Sistemlerinde Hatların Mesafe Röleleri İle Korunması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul

[8] **Bozkurt, A. (**2005). Harmoniklerin Aşırı Akım Rölelerine Olan Etkisinin Yapay Sinir Ağları Destekli Olarak İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul

[9] **Gençaydın, E. (**2006). Enerji İletim Hatlarının Nümerik Mesafe Koruma Röleleri İle Korunması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul

[10] **Url-1** *<http://www.elektrikrehberi.net/teknik_yazilar/koruma_sistemleri.doc> Koruma Sistemlerinin Genel Prensibleri, Şebeke Ve Transformator Koruması*, alındığı tarih 12.05.2013.

[11] **Weedy, B. M. ve Cory, B. J.** (1988). *Electric Power Sytems.* West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.

[12] **Özdemir, A.** (1997). EMTP Yardımıyla Kısa Devre Akımının Dinamik Simülasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul

[13] **Bayram, M.** (1987). *Şebeke Arızaları Ve Kısa Devre Hesapları*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi

[14] **Noblat, B., Dumas, F. ve Poulain, C.** (2005). *Cahier Technique No.158 Calculation of short-circuit currents.* Fransa: Schneider Electric

[15] **Günter G.S. ve Werner S**. (1987). *Electrical installations handbook. / Part 1. [Power-supply and distribution systems]*. pp 117- 184, München : John Wiley & Sons, Cop.

[16] **Kaşıkçı, İ.** (2007). *Elektrik Tesislerinde Kısa Devre Hesapları ve Uygulamaları IEC 60 909*. İstanbul : Birsen Yayınevi

[17] **Ballıpınar, F.** (2009). Elektrik Tesislerinde Koruma Tekniği, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi, *Lisans Bitirme Tezi*,İstanbul

[18] **Çokuğraş, S.,** (2008). Elektrik Tesisleri Koruma Tekniğinde Seçicilik, SIEMENS Power Technologies International (PTI) Eğitim Notları

[19] **Siemens AG.** (2011). *Multi-Functional Protective Relay With Local Control 7SJ62/64 Manual*. pg 500, http://www.energy.siemens.com/ecc_pool/SIPROTEC4/514c9b48-27af-4576-b431-f0622b656a26/7SJ62-64_Manual_A9_V046300_us.pdf, alındığı tarih 11.03.2013.

[20] **Siemens AG.** (2003). *Differential Protection 7UT6.* pg 277, http://www.energy.siemens.com/ecc_pool/SIPROTEC4/48c8e0c5-5f18-40f4-b83b-35980c8c0790/7UT613_63x_Manual_A1_V040005_en.pdf, alındığı tarih 11.03.2013

[21] **Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği,** (2000). Resmi Gazete Sayı: 24246

[22] **Siemens AG.** (2013). *SICAM AK Flexible Automation For All Applications*, http://www.energy.siemens.com/ecc_pool/Substation_Automation/fce8f372-3137-4594-8e72-be656b0f2570/IC1000-G220-A126-X-4A00_SICAM_AK_Broschuere_EN.pdf, alındığı tarih 21.10.2013.

EKLER

EK A: 7 baralı elektrik dağıtım sisteminin özellikleri

EK B: Uygulamadaki elektrik dağıtım sistemindeki ring şebeke boyunca dolanan kablonun katalog bilgileri

EK C: Uygulamadaki elektrik dağıtım sistemindeki generatörlerin özellikleri

EK A

7 baralı elektrik dağıtım sisteminin özellikleri

Hattın gerilimi: 11 kV

Yüklerin değeri: Bütün baradaki yüklerin değeri 0.75 MW, güç faktörü: 0.9

Toplam yük miktarı: 6 MVA

Eklenen generatörün özellikleri: Gücü 600kW, güç faktörü: 0.9

Röleden geçen akım: Generatör sisteme bağlanmadan önce =325 A, generatör sisteme bağlandıktan sonra = 292 A

Her bir bara arasındaki empedanslar: r=0.48 Ω, x=0.2859 Ω,

Röle açma değeri hesabı:

Sistemin minimum kısa devre akım değeri 2150A ($I_{\text{min kısa devre}}$)

Sistemdeki maksimum yük akımı 325A ($I_{\text{maksimum yük}}$)

$2\ I_{\text{maksimum yük}} < I_{\text{röle açma değeri}} < \frac{\text{I min kısa devre}}{2-3}$

$650 < I_{\text{röle açma değeri}} < 720$

$I_{\text{röle açma değeri}} = 700\text{A}$

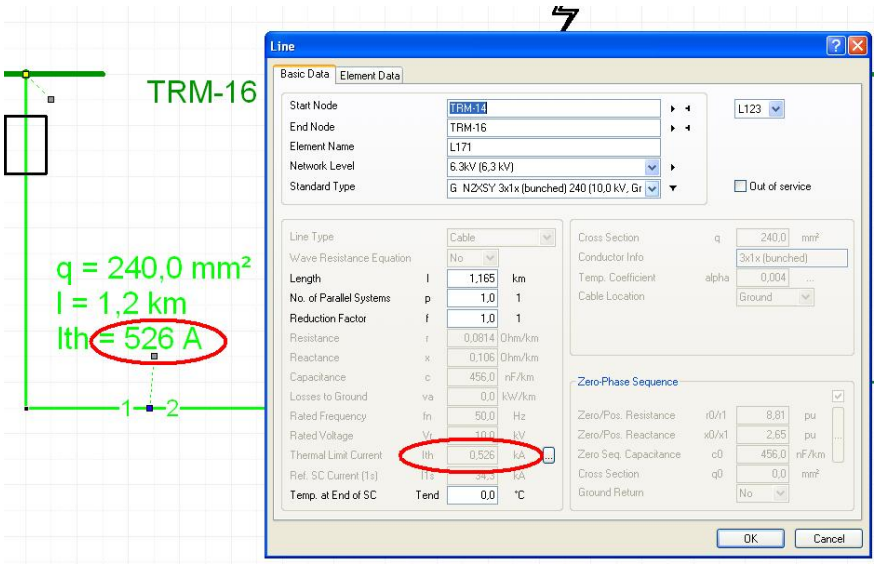
EK B

Teknik Özellikler / Technical Features

YE_3SV / N2XSY / 2XSY — **6/10 kV**

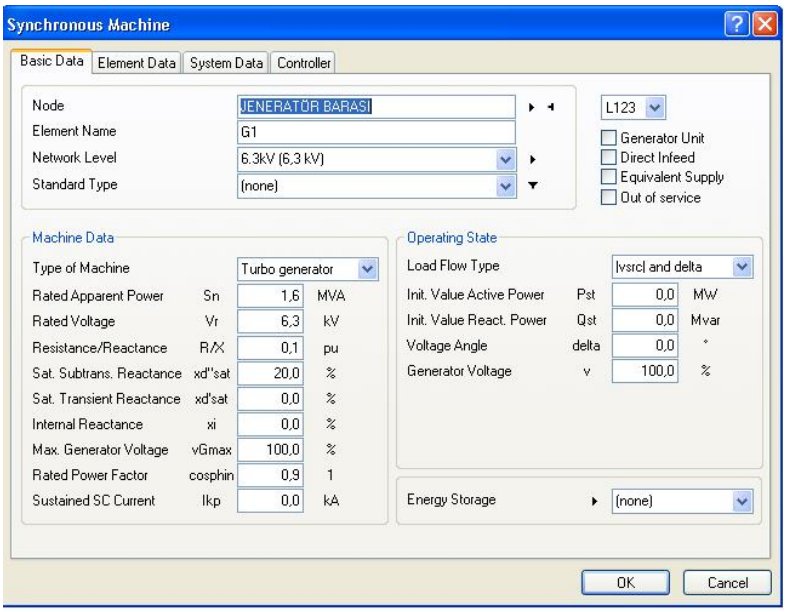
Nominal Kesit / Rated Cross-section	Bakır faktörü / Cu factor 1000 m	Kablo dış çapı (yaklaşık) / Overall diameter of cable (approx.)	Net ağırlık (yaklaşık) / Net weight (approx.)	20 °C'de iletken DA direnci / Conductor DC resistance at 20 °C (approx.)	Çalışma indüktansı (yaklaşık) / Operating inductance (approx)		Çalışma kapasitesi (yaklaşık) / Operating capacity (approx.)	Akım taşıma kapasitesi / Current carrying capacity in: toprakta / ground		havada / air		Sevk uzunluğu (yaklaşık) / Delivery length (approx.)
mm²		mm	kg / km	Ω / km	mH/km	mH/km	µF/km	A	A	A	A	m
1 Damarlı / 1 Core												
1 x 25s/16	422	20,9	691	0,727	0,782	0,443	0,201	179	157	194	163	1000
1 x 35s/16	518	21,9	797	0,524	0,750	0,419	0,222	212	187	235	197	1000
1 x 50s/16	662	23,1	930	0,387	0,723	0,399	0,239	249	220	282	236	1000
1 x 70s/16	854	24,7	1146	0,268	0,692	0,378	0,275	302	268	350	294	1000
1 x 95s/16	1094	26,3	1412	0,193	0,663	0,361	0,309	359	320	426	358	1000
1 x 120s/16	1334	27,8	1663	0,153	0,642	0,347	0,336	405	363	491	413	1000
1 x 150s/25	1723	29,3	2027	0,124	0,624	0,336	0,364	442	405	549	468	1000
1 x 185s/25	2059	30,9	2371	0,0991	0,605	0,325	0,397	493	456	625	535	1000
1 x 240s/25	2587	33,6	2955	0,0754	0,580	0,311	0,447	563	526	731	631	1000
1 x 300s/25	3163	36,5	3581	0,0601	0,556	0,308	0,495	626	591	831	722	1000
1 x 400s/35	4234	40,3	4577	0,0470	0,526	0,300	0,558	675	662	920	827	1000
1 x 500s/35	5194	43,7	5631	0,0366	0,511	0,291	0,613	748	744	1043	949	1000

Şekil B.1: Elektrik dağıtım sistemindeki ring şebeke boyunca dolanan kablonun katalog bilgileri



Şekil B.2: Elektrik dağıtım sistemindeki ring şebeke boyunca dolanan kablonun dayanabileceği maksimum akım değeri

EK C



Şekil C.1: Elektrik dağıtım sistemindeki generatörlerin özellikleri

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Anıl Çağlar Doğancı

Doğum Yeri ve Tarihi: Şebinkarahisar / Giresun , 20.06.1988

Adres: Erdek / Balıkesir

E-Posta: anildoganci@gmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi Kontrol Mühendisliği (2005-2010)

İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği (2006-2010)

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

2006 – 2010: Siemens Geleceğin Profesyonelleri Bursiyeri

2007 – 2008 (Staj) : Siemens Sanayi ve Ticaret A.Ş. – Endüstri / Otomasyon ve Sürücüler (A&D) (2 Hafta)

2008 – 2009 (Staj) : Schneider Electric - Otomasyon (4 hafta)

2008 – 2009 (Staj) : Siemens Sanayi ve Ticaret A.Ş. – Enerji / Dağıtım / Enerji-Otomasyonu / Mühendislik (E D EA E) (8 Hafta)

2010 – 2012: Siemens Sanayi ve Ticaret A.Ş. – Enerji / Dağıtım / Enerji-Otomasyonu / Mühendislik (E D EA E)

2012 – 2014 : Siemens Sanayi ve Ticaret A.Ş. – Şehirler ve Altyapılar / Akıllı Şebekeler / Enerji Otomasyonu / Mühendislik (IC SG EA E)

2014 – Hala : Siemens Sanayi ve Ticaret A.Ş. – Şehirler ve Altyapılar / Akıllı Şebekeler / Enerji Otomasyonu / Servis (IC SG EA CS)