

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENTERKONNEKTE SİSTEME BAĞLI GENERATÖR YA DA
YÜKSEK GERİLİM TRANSFORMATÖRLERİNİN YILDIZ
NOKTASININ TOPRAKLAMASININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Elektrik Müh. Musa UÇAN

Anabilim Dalı: Elektrik Mühendisliği

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Nuran YÖRÜKEREN

KOCAELİ, 2011

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENTERKONNEKTE SİSTEME BAĞLI GENERATÖR YA DA
YÜKSEK GERİLİM TRANSFORMATÖRLERİNİN YILDIZ
NOKTASININ TOPRAKLAMASININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ
İNCELENMESİ

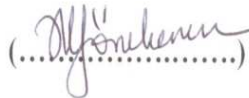
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Müh. Musa UÇAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 06 OCAK 2011

Tezin Savunulduğu Tarih: 24 ŞUBAT 2011

Tez Danışmanı
Yrd.Doç.Dr. Nuran YÖRÜKEREN

()

Üye
Doç.Dr. Mehmet BAYRAK

()

Üye
Yrd.Doç.Dr. Bora ALBOYACI

()

KOCAELİ, 2011

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Hayatımızın her anında enerjinin etkisi altında olduğumuzu unutmamalıyız. Bunun farkında olmasak bile enerji bizim gibi her canlı için önemlidir. Dolayısı ile bu kadar değerli bir kavramın önemine vakıf olup kıymetini bilmemiz gerekiyor. Özellikle elektrik enerjisi uzak mesafelere çok kısa sürede taşınabilmesi açısından daha kullanışlıdır. Bu yüzden sürekliliğin çok önem arzettiği özellikle endüstriyel tesislerde enerji kesintisinin minimum düzeyde olması ülke ekonomisi için hayati öneme sahiptir. Endüstriyel tesiste üretimin durmasına neden olan arızanın giderildikten sonra üretimin aynı rejime sahip olması için harcanan elektrik enerjisi ekonomik anlamda bir kayıptır.

Dolayısı ile enterkonnekte şebekelerde tesis edilen koruma ekipmanları sayesinde sadece arızalı bölgenin enerjisinin kesilip arıza olmayan bölümlerin enerji sürekliliğinin temin edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda sistemin niteliğine göre seçilip tesis edilen topraklama sistemleri ve koruma röleleri bu husus dikkate alınarak en uygun röle koordinasyonu yapılarak çalıştırılmalıdır.

Enterkonnekte sisteme bağlı generatör veya yüksek gerilim transformatörlerinin yıldız noktasının topraklanmasının bilgisayar destekli incelenmesi konusunda bana çalışma fırsatı veren değerli hocalarım; Yrd. Doç. Dr. Nuran YÖRÜKEREN'e, Yrd. Doç. Dr. Bora ALBOYACI'ya teşekkür ederim. Ayrıca hayatım boyunca beni destekleyen ve bugünlere getiren babam Mehmet Ali UÇAN ve annem Ismahan UÇAN'a minnet duygularımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLOLAR DİZİNİ	vi
SİMGELER	vii
ÖZET	ix
İNGİLİZCE ÖZET	x
1. GİRİŞ	1
2 KISA DEVRE HESAPLAMA YÖNTEMLERİ	7
2.1. Giriş	7
2.2. Kısa Devrenin Tanımı	7
2.3. İlgili Standartlar	9
2.3.1 IEC 60909 Standardı	9
2.3.2 Avrupa Standardı EN 60909 (Alman Ulusal Standardı DIN VDE 0102)	9
2.3.3 ANSI/IEEE Standardı C37.5 (US)	10
2.4.1 3 Faz kısa devre arızası.....	11
2.4.2 2 Faz kısa devre arızası.....	12
2.4.3 Faz-nötr kısa devre arızası	12
2.4.4 Faz-toprak kısa devre arızası	13
2.5. Kısa Devre Hesaplama Yöntemleri.....	13
2.5.1 IEC 60909 yaklaşım metodu.....	13
2.5.2 Simetrik Bileşenler Yöntemi.....	16
2.5.3 Empedans Yöntemi	18
2.5.3.1. Şebeke empedansı	18
2.5.3.2. Transformatör empedansı	18
2.5.3.3 Hat empedansı	19
3. ŞEBEKE BAĞLANTI ŞEKİLLERİNİN ARIZA AKIMI ÜZERİNE ETKİLERİ	20
3.1. Giriş	20
3.2 Topraklama Sistemleri	20
3.2.1 Topraklanmamış sistem.....	21
3.2.2 Direkt topraklı sistem	23
3.2.3 Direnç üzerinden topraklı sistemler.....	24
3.2.3.1 Düşük direnç üzerinden topraklanmış sistem	25
3.2.3.2 Yüksek direnç üzerinden topraklanmış sistem	26
3.2.3.3. Akmasına İzin Verilen Maksimum Akım Değeri	30
3.2.4 Peterson bobini üzerinden topraklı sistem.....	32
3.2.5 Reaktans üzerinden topraklama	35
4. FAZ TOPRAK ARIZASINDA KULLANILAN KORUMALAR.....	37
4.1. Giriş.....	37
4.2 Akıma Bağlı Koruma Röleleri	38
4.2.1 Aşırı akım koruması	39
4.3. Faz Toprak Arızası için Kullanılan Koruma Röleleri.....	40

4.3.1. Yönlü koruma rölesi.....	40
4.3.2. Diferansiyel koruma rölesi.....	40
4.3.3. Mesafe koruma rölesi.....	40
4.3.4. Aşırı gerilim rölesi.....	42
4.4. Generatör koruma röleleri.....	42
4.4.1. Düşük/aşırı frekans koruma röleleri.....	43
4.4.2. Düşük/ aşırı gerilim koruma röleleri.....	43
4.4.3. Ters güç rölesi.....	43
4.4.4 Diferansiyel koruma rölesi.....	43
4.4.5. Negatif bileşen aşırı akım rölesi.....	43
4.4.6. Rotor toprak arıza rölesi.....	43
4.4.7 Alan kaybı ve kutup kayması rölesi.....	44
4.5 Şebekeyle paralel çalışan generatörler için kullanılan toprak arıza koruması ve tek kutuplu çalışan kesicinin çalışma prensibi.....	44
5. ŞEBEKEYLE PARALEL ÇALIŞAN GENERATÖRLER İÇİN KULLANILAN TOPRAK ARIZA KORUMASI VE UYGULAMASI.....	48
5.1. Giriş.....	48
5.2. Dıgsilent Programı Kullanılarak Örnek Bir Şebekenin Simülasyonu ve Sonuçların Değerlendirilmesi.....	48
5.2.1 TR3'e göre faz toprak arızasının simülasyonu ve değerlendirilmesi.....	59
5.2.1.1 Simülasyondan elde edilen sonuçlar ile ilgili yorumlar.....	60
5.2.2 TR4'e göre faz toprak arızasının simülasyonu ve değerlendirilmesi.....	65
5.2.2.1 Simülasyondan elde edilen sonuçlar ile ilgili yorumlar.....	65
5.2.3 TR5'e göre faz toprak arızasının simülasyonu ve değerlendirilmesi.....	69
5.2.3.1 Simülasyondan elde edilen sonuçlar ile ilgili yorumlar.....	69
5.2.4 Generatöre göre faz toprak arızasının simülasyonu ve değerlendirilmesi.....	75
5.2.5 TR6'ya göre faz toprak arızasının simülasyonu ve değerlendirilmesi.....	75
5.2.5.1 Simülasyondan elde edilen sonuçlar ile ilgili yorumlar.....	81
6. SONUÇ.....	81
KAYNAKLAR.....	86
EKLER.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	93

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Tepeören İndirici Trafo Merkezi'ne ait fotoğraf	3
Şekil 1.2: İçmeler İndirici Trafo Merkezi'ne ait fotoğraf	4
Şekil 1.3: Tuzla İndirici Trafo Merkezi'ne ait fotoğraf	5
Şekil 2.1: 3 Faz kısa devre arızası	11
Şekil 2.2: 2 Faz kısa devre arızası	12
Şekil 2.3: Faz-nötr kısa devre arızası	12
Şekil 2.4: Faz-toprak kısa devre arızası.....	13
Şekil 2.5: Generatör uzak bölgede oluşan kısa devre akımının salınımı.....	15
Şekil 2.6: Generatör yakın bölgede oluşan kısa devre akımının salınımı	16
Şekil 2.7 :Simetrik bileşenler	16
Şekil 3.1: Topraklanmamış sistemde dengeli durumda devre konfigürasyonu	21
Şekil 3.2: Topraklanmamış sistemde dengeli durumda vektör diyagramı	21
Şekil 3.3: Topraklanmamış sistemde bir faz toprak arızası	23
Şekil 3.4: Topraklanmamış sistemde C fazındaki faz toprak arızasında vektör diyagramı	23
Şekil 3.5: Direkt topraklanmış sistemde dengeli durumda devre konfigürasyonu ve vektör diyagramı.....	23
Şekil 3.6: Düşük direnç üzerinden topraklanmış sistem	25
Şekil 3.7: Yüksek direnç üzerinden topraklanmış sistem.....	26
Şekil 3.8: Yüksek direnç üzerinden topraklanmış sistemde vektör diyagramı..	26
Şekil 3.9: O.G. yıldız bağlı sistemde topraklama ve koruma sistemi.....	27
Şekil 3.10: Δ bağlı sistemde suni nötr noktasıyla direnç üzerinden topraklaması...27	
Şekil 3.11: O.G. üçgen bağlı sistemde nötr topraklaması	29
Şekil 3.12 Peterson bobini üzerinden topraklanmış sistem	32
Şekil 3.13: Peterson bobinin kullanımı.....	33
Şekil 3.14: Vektör diyagramı.....	34
Şekil 3.15: Reaktans üzerinden topraklama.....	36
Şekil 3.16: Reaktans üzerinden topraklamada vektör diyagramı.....	36
Şekil 4.1: Toroid akım trafosu.....	39
Şekil 4.2: Yüksek dirençli topraklanmış sistemde faz toprak arızasının tespiti.....	42
Şekil 4.3: Tek kutuplu çalışan topraklama kesicinin O.G. sisteminde kullanımı.....	46
Şekil 4.4: Tek kutuplu çalışan topraklama kesicis'ne ait fotoğraf.....	46
Şekil 4.5: Tek kutuplu kesici kontrol ünitesi.....	47
Şekil 5.1: Simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması.....	50
Şekil 5.2:1. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması.....	55
Şekil 5.3:2. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması.....	56
Şekil 5.4:3. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması.....	57
Şekil 5.5:4. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması.....	58
Şekil 5.6:5. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması.....	63
Şekil 5.7:6. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması.....	64
Şekil 5.8:7. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması.....	67
Şekil 5.9:8. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması.....	68
Şekil 5.10:9. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması.....	71

Şekil 5.11:10. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması.....	72
Şekil 5.12:11. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması.....	73
Şekil 5.13:12. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması.....	74
Şekil 5.14:13. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması.....	79
Şekil 5.15:14. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması.....	80

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1 Sistem gerilimine bağlı oluşan şarj akımları	31
Tablo 4.1 Suni nötr noktası için kullanılan sigorta anma akım değerleri.....	39
Tablo 5.1 Sistemde kullanılan ekipmanların teknik özellikleri.....	51
Tablo 5.2 TR-3'e göre faz-toprak arızasının simülasyon sonuçları.....	59
Tablo 5.3 TR-4'e göre faz-toprak arızasının simülasyon sonuçları.....	65
Tablo 5.4 TR-5'e göre faz-toprak arızasının simülasyon sonuçları.....	69
Tablo 5.5 Generatöre göre faz-toprak arızasının simülasyon sonuçları.....	75
Tablo 5.6 TR-6'ya göre faz-toprak arızasının simülasyon sonuçları.....	81

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ico	:Hattın kapasitif şarj akımı (A)
Ic2	: 3 fazlı sistemde 2 numaralı fazdaki hattın kapasitif şarj akımı (A)
Ic3	: 3 fazlı sistemde 3 numaralı fazdaki hattın kapasitif şarj akımı (A)
Ig	: Toprakta trafonun yıldız noktasına akan toprak akım değeri (A)
Ir	: Topraklama direnci üzerinden akan akım (A)
Ic	: Sistemin kapasitif şarj akımı (A)
Isg	:Sekonder topraklama direnci üzerinden akan akım (A)
Ig	:Maksimum topraklama akımı (A)
İdc	: Anlık akımın dc bileşeni
Io	: Sıfır bileşen akımı (3 fazlı sistemlerde faz toprak arıza akımı $3.I_0$ 'dır)
İp	:Darbe akımı (kA)
I	:Akımın rms değeri (A)
Ib	:Kısa devre kesme akımı (IEC 60909 göre Amper cinsinden)
Ik	: Kararlı durumda kısa devre akımı(IEC 60909 göre Amper cinsinden)
Ik"	:Başkangıç kısa devre akımı (kA)
Isc	:Kararlı durumdaki kısa devre akımı (kA)
Isc3	: 3 faz kısa devre akımı (kA)
Isc2	: 2 faz kısa devre akımı (kA)
Isc1	: Faz-nötr kısa devre akımı (kA)
K	:Kısa devre akımının tepe değerini hesaplamak için kullanılan faktör
n1	:Yıldız noktasında gerilim koruması için kullanılan trf.'ün primer sarım sayısı
n2	:Yıldız noktasında gerilim koruması için kullanılan trf.'ün sekonder sarım s sayısı
N	:Yıldız noktasında gerilim koruması için kullanılan trf.'ün çevirme oranı
Rl	:Hattın birim uzunluk başına düşen omik direnci (Ω /km)
Rngr	:Nötr topraklama direnç değeri değeri (Ω)
Rsg	: Sekonder topraklama direnci (Ω)
Rg	: Açık üçgen sistemler için akım sınırlayıcı direnç (Ω)
Rt	:Trafonun direnci (Ω)
Sn	:Transformatörün anma gücü (KVA)
Sec	:Kısa devre gücü (MVA)
usc	: % olarak trafonun kısa devre gerilimi
U	:Yüksüz durumda şebekenin faz faz yani fazlar arası gerilimi (V)

Un	:Yük altında şebekenin nominal gerilimi (V)
U	:Yüksüz durumda şebekenin faz faz arası gerilimi (V)
Un	:Yük altında şebekenin nominal gerilimi (V)
xd"	:Alt geçici (Subtransient) reaktans (Ω)
xd'	:Geçici (Transient) reaktans (Ω)
xd	:Kararlı durumdaki (Steady-state) reaktans (Ω)
Xt	:Trafonun endüktansı (Ω)
Xl	: birim uzunluk başına kablo reaktansı (Ω/km)
Z1	:Pozitif alternansdaki empedans (Ω)
Z2	:Negatif alternansdaki empedans (Ω)
Z0	:Sıfır geçişindeki empedans veya toprak empedansı (Ω)
Zf	: Arıza empedansı (Ω)
Zsc	: 3 faz kısa devre arızasındaki şebeke eşdeğer empedansı (kA)
Zln	: Faz nötr kısa devresinde kullanılan nötr direnci (Ω)
Z0	: Topraklama sistemindeki yıldız noktası ile toprak arasındaki direnç değeri
Zs	: Rs (rezistif) ve Xs (endüktif) etkiden ibaret subtransient reaktans (Ω)
Zl	: Hattın empedansı (Ω)
Zf	: Arıza empedansı (Ω)
ρ	: Hattın birim uzunluk başına direnci (Ω/km)
Φ	:Faz açısı
ω	: Açısal hız

Kısaltmalar

TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
IEC	: Uluslar arası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission)
EN	: Avrupa Normu (European Norm)
ANSI	: Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (American National Standards Institute)
DIN	: Alman Ulusal Standardı (Deutsches Institut Für Normung)
VDE	: Alman Elektrik Elektronik ve Bilgi Teknolojisi
IEEE	: Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)
İ.T.M.	: İndirici trafo merkezi
O.G.	:Orta gerilim
Y.G.	:Yüksek gerilim
A.G.	:Alçak gerilim

ENTERKONNEKTE SİSTEME BAĞLI GENERATÖR YA DA YÜKSEK GERİLİM TRANSFORMATÖRLERİNİN YILDIZ NOKTASININ TOPRAKLAMASININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ İNCELENMESİ

Musa UÇAN

Anahtar Kelimeler: Nötr Topraklama Direnci, Petersen Bobini, Koruma Röleleri, Seçicilik

Özet: Transformatorün nötr noktası ile toprak arasındaki bağlantıyı ifade eden sistemin nötr topraklaması, güç sisteminde simetrik olmayan bir arıza meydana geldiğinde büyük önem kazanır. Topraklamanın çeşidi toprak arızasında güç sistemin önemli parametrelerini belirlemek için göz önünde tutulmalıdır. Bir güç sistemi birden çok nötr noktasına sahip olabilir. Bir sistemde bulunan bütün nötr noktalarının aynı metot kullanılarak topraklanması gerekmez.

Sistemdeki izolasyonu zayıf noktaların tehlikeli boyutlara ulaşmasına neden olan büyük arıza akımlarının sistemde sirküle olduğu sürece nötr topraklamasının iki önemli fonksiyonu vardır; toprak arızasını tespit etmek ve arıza akımını kontrol etmektir.. Bu yüzden sistemin özelliğine göre en uygun topraklama sistemi seçilmelidir.

Bu çalışmada DIGSILENT simülasyon programı yardımıyla, 14 farklı durum oluşturularak kısa devre kısa devre hesapları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara baktığımızda, generatörün bağlı olduğu şebekede generatörün yükseltici transformatorün yüksek gerilim sargılarının YN bağlı olmasının şebekeyle paralel çalışma durumunda maksimum faz toprak kısa devre akımını artıracığından bir faydası yoktur. Bu yüzden generatörün gücü şebeke tarafındaki transformatorün gücüne göre küçükse yükseltici transformatorün Dyn veya Yyn bağlı olması gerekmektedir. Generatör tesisinin kaynak terminalinden uzakta olduğu durumlarda nötr topraklamasının gerektiğinde generatörü anahtarlama yoluyla topraklayarak nötr topraklaması ile ilgili problemlerin üstesinden gelinbilir. Zira generatör ada moduna geçtiğinde artık kendisi bir şebeke gibi davranır. Ayrıca generatörün bağlı olduğu şebekede aşırı akım, diferansiyel ve yönlü vb. röleleri kullanılmasıyla yapılacağı selektif koruma ile generatörün arızadan etkilenip ada moduna geçmesi engellenmiş olur.

STUDYING ON EARTHING SYSTEMS OF WYE POINT OF GENERATOR OPERATES IN PARALLEL WITH THE GRID OR HV TRANSFORMERS WITH USING COMPUTER PROGRAMS

Musa UÇAN

Key Words: Neutral Earthing Resistor, Petersen Coil, Protection Relays, Selectivity

Summary: The system earthing, that is to say the connection between the transformer neutral points and earth, is of high importance to the behaviour of a power system during an unsymmetrical fault. The earthing design is considered the single most important parameter to determine the earth fault behaviour in a power system. A power system can have more than one neutral point. All neutral points of one system do not have to be connected to earth, using the same earthing method.

Two important functions of neutral earthing are to detect earth faults and to control the fault current, since large fault currents can cause the potential rise of exposed parts of the power system to reach dangerous levels. Therefore the most effective neutral earthing must be chosen according to the characteristic of system..

In this study, short-circuit computations for 14 different scenarios are performed using DlgSILENT simulation software. In conclusion, it would be of no use for the high voltage side of generator step-up transformer to be YN when the generator operates parallel to the network as it increases the maximum phase to ground fault current. In other words, a neutral earthing point created by a generator operating parallel to network is not preferred. Therefore, if the nominal power of the generator is less than the transformer power, the generator step-up transformer must be Dyn connected. If neutral grounding is required when the generator plant is away from the source terminal, the problem associated with neutral earthing can be overcome through switching. Therefore, when the generator switches to island mode it behaves as if it is a network. In addition to this; in networks which include generators providing selective protection by using overcurrent, differential and directional protection relays is more effective to prevent island operation the generators.

1. GİRİŞ

Son yıllarda elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın gün geçtikçe teknolojik gelişmelere paralel olarak artması, buna karşılık ham enerji kaynaklarının aynı oranda harekete geçirilememesi, enerji kaynaklarından en iyi biçimde faydalanmayı zorunlu hale getirmiştir. Elektrik santralleriyle tüketicilerin farklı bölgelere dağılmış olmaları ve enerji sistemlerinde optimum işletme veriminin sağlanması amacıyla, farklı güç sistemlerinin aralarında bağlanması sonucu enterkonnekte şebekeler oluşmuştur. Günümüzde bazı ülkeler arasındaki elektrik enerjisi alışverişleri de, bu ülkelerin enterkonnekte şebekelerinin birbirlerine bağlanmalarına neden olmuştur. Böylece elektrik mühendislerinin karşısına nitelikleri ve boyutları giderek büyüyen şebekelerin planlanması ve işletilmesi sırasında ortaya çıkan sorunlar da giderek karmaşık bir yapıya sahip olmakta ve bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Elektrik enerji sistemlerinin büyümesi ve karmaşık bir hal alması işletme, planlama safhalarında ayrıntılı çalışmaların yapılma gerekliliğini ortaya çıkartmıştır. Bir şebekenin verimsiz bir şekilde planlanması ve işletilmesi maliyet kaybına neden olur.

Elektrik endüstrisinin hız kazanması, gelişmesi, matematik ve bilgisayar sektörünün gelişmesine paralel olarak artmaktadır. Karmaşık bir sistemde herhangi bir problemi çözümenin esas yolu analog veya matematiksel modeli üzerinde çalışmaktır.

Önceleri güç sistemi analizleri ve dolayısıyla kısa devre analizleri a.c hesap bordları ile yapılırdı. Bu işlem oldukça can sıkıcı ve zaman alıcıydı. Bilgisayarlardaki hızlı gelişmelerin sonucu olarak eskiden kullanılan analiz metodları yerini bilgisayar analiz metodlarına bırakmak zorunda kalmıştır. Bilgisayarların sürati, güvenilirliği ve yüksek hassasiyeti, kısa zamanda güç sistemlerinin analizinde ve bilhassa kısa devre analizinde ve yük akışı analizinde en fazla kullanılan bir araç haline gelmelerine sebep olmuştur. Bilgisayarların, güç sistemlerinin analizinde kullanılmaya başlanması ile beraber nümerik analiz metodları da ön plana çıkmıştır.

Yapılan bu çalışmada enterkonnekte şebekeyle paralel bağlı generatörler incelenecektir. Zira generatör bağlı bir sistemde bulunan yükseltici transformatörünün primeri üçgen, sekonderi yıldız bağlı ve topraklanmış olması durumunda enterkonnekte şebekede oluşabilecek faz-toprak kısa devresinde generatör sistemin ne şekilde etkileneceği bilgisayarla yapılan kısa devre hesapları sonucunda gösterilmeye çalışılmıştır.

Farklı sistemler için yapılan hesaplamalarda uluslar arası standartlar(IEC, VDE vb.) göz önünde tutularak kısa devre hesabı yapan DIGSILENT programı kullanılmış, farklı baralarda oluşan kısa devre akım ve gerilim değerlerinin kısa devre süresince hangi değerleri aldığı ayrıca simülasyonda gösterilmiştir.

TEİAŞ tarafından hazırlanıp, 10/11/2004 tarihli ve 25639 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan;" Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği"'ne göre: 154 kV sistemi dağıtım sistemine bağlayan bir transformatörün sekonder sargısının nötr noktası 1000 A'lik direnç üzerinden topraklanır [1].

Ayrıca bu yönetmeliğe göre: Direkt transformasyonun gerekli olduğu hallerde, 380 kV sistemi dağıtım sistemine bağlayan transformatörler 380/33,6 kV ve 125 MVA olarak tasarlanır. Yıldız-üçgen bağlı 380/33,6 kV gerilim seviyeli bu transformatörler topraklama transformatörü üzerinden topraklanır.

380/154 kV yıldız-yıldız bağlı ototransformatörlerin primer ve sekonder sargılarının nötr noktaları doğrudan topraklanır ve nötr noktaları şalt merkezinin topraklama şebekesine bağlanır. 380 kV'yi dağıtım sistemine bağlayan yıldız-üçgen transformatörlerin primer sargılarının nötr noktası doğrudan, sekonder sargısı ise topraklama transformatörü üzerinden topraklanır.

154 kV'yi dağıtım sistemine bağlayan yıldız-yıldız tersiyersiz transformatörlerin primer sargılarının nötr noktası doğrudan, sekonder sargısının nötr noktası ise topraklama direnci üzerinden topraklanır. İletim sistemine bağlı ünitelere ait transformatörlerin iletim sistemi tarafındaki sargılarının nötr noktaları doğrudan topraklanır. Ancak üretimin yoğun olduğu bölgelerde, 154 kV sistemde faz toprak arıza akımlarının 3 faz toprak arıza akımlarından yüksek olduğu durumlarda, tek faz

toprak arıza akımlarını sınırlayabilmek için ünite transformatörünün iletim sistemi tarafındaki sargısının nötr noktası tam olarak izole edilir.

Generatörlerin nötr noktası direnç üzerinden topraklanır. Generatör topraklama direnci, faz toprak arıza akımının rezistif ve kapasitif bileşenlerinin birbirine eşit olması şartına göre hesaplanarak tespit ve tesis edilir. Generatörlerin nötr noktası tam izole edilmez ve doğrudan veya reaktans üzerinden topraklanmaz.

Tez çalışması süresince TEİAŞ IV. İletim Merkezi'ne bağlı 3 adet indirici trafo merkezi ziyaret edilmiştir. Bu indirici trafo merkezlerine yapılan incelemeler sonucu edinilen izlenimler şu şekilde açıklanabilir:

Tepeören İ.T.M'de hem 380 kV hem de 154 kV'luk sistemler mevcuttur. 380 kV doğrudan 34,5 kV'luk sisteme indirgenmiyor öncelikle 154 kV'a indirgeniyor. Bunun için 4 ad. 250 MVA, bağlantı grubu Yna0 olan 3 fazlı oto-transformatörler kullanılmaktadır. Orta gerilim müşteriler için yine 4 ad. 100 MVA, YNyn0 3 fazlı güç trafoları kullanılmaktadır. Bu trafoların topraklama tesislerine baktığımızda 250 MVA'lık oto trafoların sekonder tarafları direkt topraklıdır. Ancak topraklama hattında 1 ad. akım trafosu kullanılmaktadır. Bu akım trafosu + 1 fazlı röle kombinasyonu topraktan trafonun yıldız noktasına akan toprak arıza akımının değerine göre toprak koruması yapmak için kullanılmaktadır. 100 MVA'lık güç trafolarının topraklama sistemi ise sekonder tarafında 20 Ω 'luk direnç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. IP23 koruma sınıfına haiz bu topraklama direnci, 5 A'e sürekli, 20 A'e 10 dakika ve 1000 A'e 5 saniye dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 1.1: Tepeören İndirici Trafo Merkezi

İkinci ziyaret edilen trafo merkezi Tuzla İlçesine bağlı İçmeler Trafo Merkezi'ydi. Bu merkezde 2 ad. 100 MVA'lık 154/34,5 kV'luk, bağlantı grubu YNyn0 olan güç trafosu kullanılmıştır. Bu trafoların topraklama sisteminde ise sekonder tarafı 20 Ω 'luk direnç üzerinden topraklanmaktadır.



Şekil 1.2: İçmeler İndirici Trafo Merkezi

Son ziyaret edilen indirici trafo merkezi Tuzla Trafo Merkezidir ve yapım aşamasındadır. Burada da 2 ad. 100 MVA'lık 154/34,5 kV'luk, bağlantı grubu YNyn0 olan güç trafosu kullanılmıştır. Trafoların topraklama sistemi henüz tesis edilmemiştir.



Şekil 1.3: Tuzla İndirici Trafo Merkezi

Yapılan incelemeler neticesinde indirici trafo merkezlerinin topraklama sistemlerinin tesisinde TEİAŞ'ın yönetmeliği aynen tatbik edildiği görülmüştür. Ülkemiz geliştirmekte olan ülkeler arasındadır. Dolayısı ile endüstriyel tesislerin yoğun olduğu iletim ve dağıtım sistemlerinde kullanılacak olan tüm koruma ve kontrol ekipmanları üretimin sektöre uğramasına neden olabilecek enerji kesintilerine en aza indirebilecek niteliklere sahip olmalıdır. Tez çalışması aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:

Bölüm 1: Giriş: Bu bölümde, çalışmaya ait genel bilgilererek ülkemizde hangi topraklama sisteminin kullanılmakta olduğu anlatılacaktır.

Bölüm 2: Bu bölümde kısa devre hesap yöntemlerine ve ilgili standartlara değinilip maksimum ve minimum kısa devre akımlarının niçin hesaplanması gerektiği anlatılacaktır. Ayrıca tez konusu itibariyle üzerinde durulacak olan faz toprak kısa devresinde oluşan simetrik bileşen akımları arasındaki bağıntıya değinilecektir.

Bölüm 3: Şebeke bağlantı şekillerinin arıza akımı üzerine etkileri incelenecektir.

Bölüm 4 : Faz toprak arızasında kullanılan korumalar anlatılacaktır.

Bölüm 5.:Şebekeyle paralel çalışan generatörler için kullanılan toprak arıza koruması ve uygulamasına, yurtdışında kullanılan topraklama sistemleri hangisi ve en efektif olanı nasıl çalışıyor, bu konulara değinilecektir. Bununla birlikte özellikle şebeke ile paralel çalışan generatörlerin şebekede meydana gelecek faz toprak arızasından en az şekilde etkilenip ada moduna geçmemesi için ne tür topraklama sistemlerinin kullanılmasıyla ilgili DIgSILENT programında örnek bir uygulamanın simülasyonu gerçekleştirilip sonuçlarıyla ilgili yorumlara yapılacaktır. Daha sonra simülasyonlarda meydana gelen arızalara göre kullanılması gereken röle çeşitleri ve röle koordinasyonu ile ilgili bilgiler verilecektir.

Ekler kısmında: Simülasyon sonucu ortaya çıkan birkaç sonucun DIgSILENT programıyla alınan sonuçlarına ve oluşan faz toprak kısa devre akımının zaman domeninde salınımına değinilecektir.

2. KISA DEVRE HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

2.1. Giriş

Bir elektrik sistemi tesis edilirken en büyük kısa devrenin oluşturacağı mekanik ve dinamik zorlanmalarına dayanacak şekilde açma - kapama cihazlarıyla, en büyük ve en küçük kısa devreyi algılayacak niteliğe sahip koruma sistemleriyle donatılmalıdır. Kısa devre genelde ilteken kesitinin değiştiği noktalarda oluşmaktadır. Şimdiye kadar yapılan araştırmalara, sistemde meydana gelen kısa devre çeşitlerinin oranları şu şekildedir: % 80 oranla faz-toprak kısa devresi, % 15 oranla faz-faz kısa devresi, % 5 oranla 3 faz kısa devresidir.

Bu çalışmada bir faz toprak kısa devresi üzerinde durulacaktır. Şebekenin bağlantı şeklinin en fazla faz-toprak ve faz-faz-toprak arızalarının üzerinde etkisi vardır. Kısa devre hesabının hangi standartlara uyularak ne şekilde yapıldığından ve bu hesabı yaparken hangi yöntemlerin kullanıldığından söz etmek gerekmektedir. Öncelikle kısa devrenin tanımına, ardından kısa devre çeşitlerine ve daha sonra hesap yöntemlerine değinilmiştir.

2.2. Kısa Devrenin Tanımı

Farklı gerilime sahip iki veya üç iletkenin birbirine temas ederek, çok yüksek değerdeki akımın düşük empedanslı devre üzerinden akmasıdır. Başka bir deyişle kısa devre; elektrik tesislerinde, faz iletkenleri arasında veya yıldız noktası topraklanmış şebekelerde, faz iletkenleri ile toprak arasında, yalıtkanın delinmesi ya da iletkenin bir şekilde köprülenmesi sonucu meydana gelen bir olaydır [2].

IEC 60909'daki tanımı ise; Bir elektrik devresinde, farklı gerilimli iki ya da daha fazla noktanın, bağıl olarak düşük bir empedans üzerinden kaza veya kasıt ile birbirine değmesine kısa devre denir. Kısa devre ile birlikte sistemde empedansı küçük yeni bir devre olduğundan, bütün besleme noktalarından kısa devre noktasına doğru büyük akımlar akar.

Normal işletme akımlarına oranla daha büyük olan kısa devre akımları, sistemdeki ekipmanları termik ve dinamik bakımdan zorlar. Söz konusu bu termik ve dinamik zorlamaların önüne geçmek için, kısa devre olan kısım, mümkün olduğunca çabuk arıza olmayan sağlam kısımlardan ayrılmalıdır. Arızalı yerin seçilerek devre dışı bırakılmasına selektif koruma denir [2].

3 Fazlı bir güç sisteminde oluşan arıza akımını hesaplamak için aşağıdaki kabuller yapılır;

- Transformatörlerin sargı dirençleri ve şönt admitansları ihmal edilir.
- İletim hatları kendi eşdeğer seri reaktansları ile ifade edilir. Seri rezistans ve şönt admitansları ihmal edilir.
- Senkron makineler subtransient reaktansın ardından sabit gerilim kaynakları olarak gösterilirler. Armatür rezistansları ve saturasyonları ihmal edilir.
- Dönen makineler dışındaki tüm yüklerin empedansları ihmal edilir.
- 50 Hp'den küçük asenkron motorlar kısa devre hesabı yapılırken ihmal edilirler [3].

Kısa devre akımının iki tane sayısal değeri üzerinde durmak gerekir:

1-) Maksimum kısa devre akımı;

- Kesicinin kesme kapasitesini belirlemek
- Kesicinin maksimum kesme kapasitesinin tepe değerini belirlemek
- Kablo ve koruma elemanlarının elektrodinamik dayanıklılığını belirlemek için kullanılır.

Maksimum kısa devre akımı koruma elemanının (şalter, sigorta vb.) en yakın bağlantı yerindeki kısa devreye karşılık gelir. Bu değer kesin olarak hesaplanmalı ve güvenli tolerans için kullanılmalıdır.

2-) Minimum kısa devre akımı esasen kesici ve sigortalar için akım-zaman eğrisi seçerken kullanılır. Özellikle;

- Kablolar uzun ve/veya kaynak empedansına oranla yüksek (Generatör, UPS)
- TN ve IT sistemlerde koruma sisteminin etkinliği rölelerin, kesicilerin ve sigortaların çalışmasına bağlıdır.

Şunu kesinlikle aklımızdan çıkarmamız gerekir ki minimum kısa devre akımı korunan hattın en uç noktasında oluşabilecek kısa devre akımıdır ve genelde A.G.'de faz-toprak, O.G.'de ise faz-faz arızasıdır (O.G.'de nötr yoktur) ya da en az şiddetli kısa devre durumunda oluşan akımdır.

2.3. İlgili Standartlar

2.3.1. IEC 60909 Standardı

IEC 60909 (VDE 0102) standardı 550 kV'u aşmayan tüm radyal ve ring güç sistemlerinde değişik kısa devre akımlarının hesabı için kullanılır. Bu metodun temeli Thevenin teoremine dayanır. Kısa devrenin olduğu noktada eşdeğer gerilim kaynağı denklemi yazılır ve daha sonra buna uygun bir kısa devre akımı belirlenir. Tüm şebeke fiderleri gibi senkron ve asenkron motorların empedanslarını yerine daha önce hesapla bulunan empedanslar (pozitif, negatif ve sıfır bileşen) kullanılır. Tüm hat kapasiteleri ve sabit yüklerin paralel admitansları, bunların sıfır bileşen sistemleri ihmal edilir. IEC 60909 Standardına göre kısa devre hesabı yapılırken transformatörlerin empedansı için K_T , generatörlerin empedansı için de K_G düzeltme faktörleri kullanılır [4].

2.3.2. EN 60909 Avrupa Standardı (Alman Ulusal Standardı DIN VDE 0102)

EN 60909 standardı, 50 Hz veya 60 Hz anma frekansında çalışan üç fazlı, 4 telli alçak gerilim sistemlerindeki ve üç fazlı yüksek gerilim sistemlerindeki kısa devre akımlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır.. DIN VDE 0102 standardı ise 1971 yılında hazırlanmış ve 1975 yılında revize edilmiştir. Almanlar tarafından hazırlanan bu standart alçak gerilim ve yüksek gerilimde kısa devre hesabında kullanılmaktadır. Bu standart diğer kısa devre hesap yöntemleri ile ilgili standartlarda olmayan empedans düzeltme faktörünü içerir. Buna göre;şebeke fiderleri, transformatörler, havai hat ve kablo şebekeleri vb. için, pozitif empedans ile negatif empedans birbirine eşit ancak sıfır bileşen ise bunlardan farklıdır. Bununla birlikte düzeltme faktörü generatörler, generator blokları şebeke transformatörlerin pozitif, negatif ve sıfır bileşen empedansları için geçerlidir.

2.3.3. ANSI/IEEE Standardı C37.5 (US)

Amerika Birleşik Devletlerin'de ekipman üreticileri ve kullanıcıları 1988'de yayımlanan IEC veya 1971'de hazırlanan VDE standardı gibi analog modelleri baz alarak hazırlanan standartlar yerine Kuzey Amerika başta olmak üzere birçok ülkede kullanılan ANSI/IEEE Standardı C37.5 Amerikan Standardını kullanmaktadırlar.

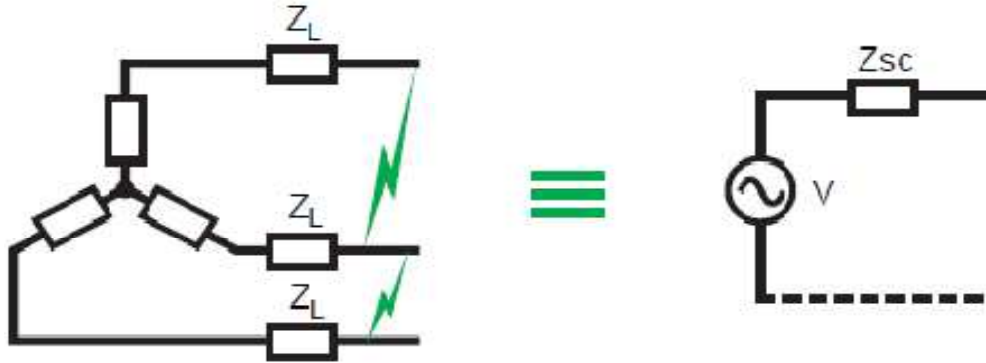
Bu standart sigorta, alçak gerilim şalterleri, orta gerilim kesicileri ve zaman geçikmeli koruma cihazları için kullanılmaktadır. Hesaplama işleminin başında belirlenen baz değerlerle gerçek değerleri oranlayarak bulunan per unit değerlerle işlem yapılması temeline dayanılarak hazırlanan bu standarta göre arıza anındaki empedans ile gerçek empedans birbirlerinden farklıdır [5].

ANSI/IEEE hesaplama metodu hesaplama işleminden önce belirlenen per unit değerlere bağlı kalmaktadır. Bununla birlikte klasik hesaplama yöntemlerinden farklıdır, çünkü bu standartın dayandığı metot iki farklı devre üzerinde çalışmaya olanak sağlar: resistif ve reaktif. Bu hem geçici hem de kesme anında şebeke arıza empedansını belirlemeye yarar.

Her bir şebekede Theven'in eşdeğer resistansı ve Theven'in eşdeğer reaktansı Theven'in eşdeğer empedansını bulmak için kullanılır. İşte bu ANSI/IEEE hesap yöntemini klasik metotlardan ayıran en büyük özelliğidir. Geçici şebeke arıza empedansı ilk saykıldaki arızanın hesabına imkan sağlayan dönen makinaların subtranzient reaktanslarından ibarettir. Toplam arıza direnci ve reaktansı klasik metotlarda Z_s 'nin R_s ve X_s 'den hesaplandığı gibi Z_f 'yi oluşturacak şekilde ayrı ayrı hesaplanır. İşte bu arıza empedansından, 3 faz kısa devre akımı ve darbe akımı hesaplanır [6].

3 fazlı 3 telli ve 3 fazlı 4 telli tüm elektrik sistemlerinde 4 çeşit kısa devre arızasının gerçekleşme ihtimali vardır. Bunları şu şekilde açıklayabiliriz:

2.4.1. 3 Faz kısa devre arızası



Şekil 2.1: 3 Faz kısa devre arızası [12]

Kısa devre akımı şu formüle göre bulunur.

$$I_{sc3} = \frac{U/\sqrt{3}}{Z_{sc}} \quad (2.1)$$

Empedans yöntemine göre kısa devre akımının hesabı için Z_{cs} 'nin hesabı, generatör ile kısa devrenin olduğu nokta arasındaki I_{sc} akımının aktığı tüm hat üzerindeki empedanslar, kaynak empedansı ve hattın kendi empedansının hesabı gerekmektedir. Aslında bu her faz için pozitif bileşen empedansıdır.

$$Z_{sc} = \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2} \quad (2.2)$$

(2.2) numaralı formülde; $\sum R$ = Seri dirençlerin toplamı ve $\sum X$ = Seri reaktansların toplamıdır. Bilindiği gibi en etkin arıza 3 faz kısa devre arızasıdır. Alternatif akımın dağıtıldığı 3 fazlı sistemin eşdeğer diyagramındaki arıza akımı, şebekenin faz-nötr gerilimindeki bir fazın empedansı tarafından sınırlanır. Kısa devre akımı I_{sc3} 'ün hesaplanması sistemde kullanılacak ekipmanların (maksimum akımı ve elektrodinamik dayanırlılığı bilinerek) doğru şekilde seçilmesini sağlar.

2.4.2. 2 Faz kısa devre arızası



Şekil 2.2: 2 Faz kısa devre arızası [12]

İki faz arasındaki kısa devre, U faz-faz arası gerilimden kaynaklanır. Bu durumda I_{sc2} kısa devre akımı üç faz kısa devre akımından küçüktür.

$$I_{sc2} = \frac{U}{2Z_{sc}} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3} \approx 0,86 I_{sc3} \quad (2.3)$$

Dönen makineye yakın bir yerde bir kısa devre olduğunda makinenin empedansından dolayı I_{sc2} , I_{sc3} 'e yaklaşır.

2.4.3. Faz-nötr kısa devre arızası



Şekil 2.3: Faz-nötr kısa devre arızası [12]

Faz ile nötr arasındaki kısa devre arızası faz nötr geriliminden ($V=U/\sqrt{3}$) beslenir. Kısa devre akımı I_{sc1} aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

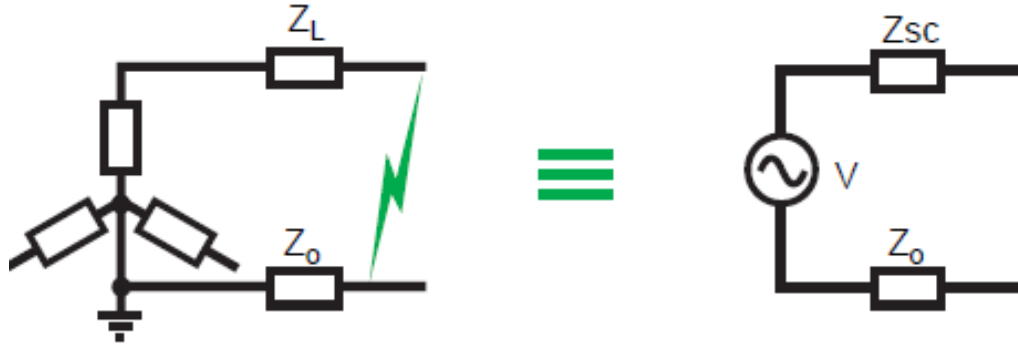
$$I_{sc1} = \frac{U/\sqrt{3}}{(Z_{sc}+Z_{Ln})} \quad (2.4)$$

Faz nötr arızasının özelliği sıfır bileşen empedansının Z_{sc} empedansından (mesela, yıldız-zig zag bağlı transformatörün veya subtransient durumdaki generatörlerin

terminalleri) düşük olmasıdır. Bu durumda faz nötr arıza akımı 3 faz kısa devre arıza akımından büyük olabilir.

2.4.4. Faz-toprak kısa devre arızası

3 fazlı 3 telli veya 3 fazlı 4 telli sistemlerde fazın toprağa temas etmesi durumunda oluşan faz toprak arıza akımı şebekenin bağlantı şekline bağlıdır.



Şekil 2.4: Faz-toprak kısa devre arızası [12]

Bu arızada fazın kopması halinde veya ağaç dalının havai hattın bir fazına dokunması durumunda faz ile toprak birbirine temas halindedir. Toprak empedansı Z_0 olarak kullanılır. Dönen makinalar hariç faz toprak arıza akımı 3 faz kısa devre akımından düşüktür. Y.G ve A.G.'de faz toprak kısa devre akımının hesabı için nötr topraklama sisteminin hesaba katılması gerekir. Aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$I_{sc0} = \frac{U/\sqrt{3}}{Z_{sc} + Z_0} \quad (2.5)$$

2.5. Kısa Devre Hesaplama Yöntemleri

Kısa devre hesabı, IEC 60909-ANSI/IEEE yaklaşım metodu, simetrik bileşenler yöntemi, Empedans (X/R) yöntemi gibi birçok yöntemle gerçekleştirilebilir.

2.5.1. IEC 60909 yaklaşım metodu

Bu yaklaşım metoduna göre: Prensip olarak, kısa devrenin olduğu noktadaki arıza akımını hesaplamak için iki metot kullanılır.

🔧 Süperpozisyon metodu, Helmholtz ve Thevenin teoremine göre

🔧 Kısa devre noktasındaki eşdeğer gerilim kaynağı metodu

Bir şebekedeki yük akışından faydalanılarak başlangıç kısadevre akımı süperpozisyon yöntemi ile hesaplanabilir. Fakat bu kısa devre akımı sadece ön kabulü yapılan veya tahmin edilen yükakışına göre belirlenir. Bu nedenle de max kısa devre akımını vermez. Gerilim ve akımın sınır koşullarını geçmeden, kısa devre noktasındaki gerilim aynı olsa bile, yük akış durumlarına göre bir sürü kısa devre akımları hesaplanır.

Bu sorunun üstesinden gelmek ve yük akışındaki en kötü durumu bulmak için ki kısa devre noktasındaki maksimum kısa devre akımını hesaplamakla olur, çalışma durumu değiştirilerek özel metod geliştirilmiştir. Karışık şebekelerde ve en kötü yük akışı durumunda maksimum kısa devre akımını hesaplamak için yeni yöntemler geliştirmiş ve bu bağlamda empedans düzeltme faktörü kullanılmaktadır.

IEC 60909'e göre kısa devre hesabında simetrik bileşenler yöntemi kullanılır. Bu metot nominal gerilimi 550 kV'dan düşük olan elektrik şebekeleri için geçerlidir ve maksimum ve minimum kısa devre akımının hesabını ele alır.. Burada amaç öncelikle aşırı akım koruma cihazı ve daha sonra cihazın teknik karakteristiklerini belirlemektir;

Arızanın olduğu yerde $cUn/\sqrt{3}$ değerine göre eşdeğer gerilim hesaplanır, burada c değeri aşağıdaki durumları hesapta göz önünde bulundurabilmek için kullanılan gerilim faktörüdür.

- ✚ Süreye ve mesafeye bağlı olan gerilimdeki değişim
- ✚ Transformatorün kademesindeki muhtemel değişimler
- ✚ Generatörlerin ve motorların subtransient davranışı

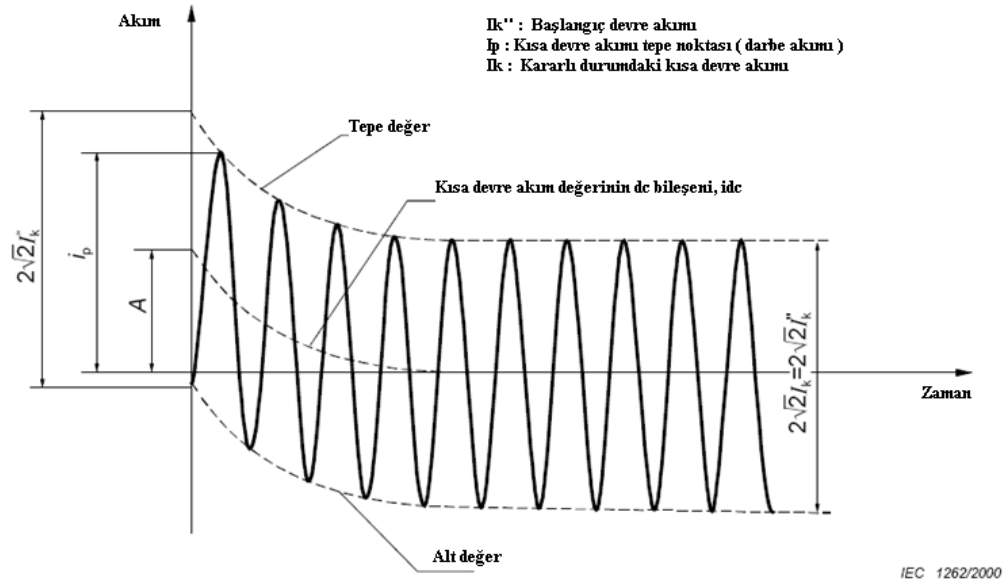
Arızanın yerine göre pozitif, negatif ve sıfır bileşen empedansları hesaplanır. Simetrik bileşenler kullanılarak kısa devre akımı hesaplanır. Bilindiği gibi maksimum kısa devre akımı değerinin hesaplanmasında arıza tipi çok önemlidir. Ardından kısa devre akımının rms değeri I_k'' ve akabinde aşağıdaki değerlerin hesabı mümkündür;

- ✚ I_p 'nin tepe değeri (darbe akımı) : $i_p = \kappa \sqrt{2} \cdot I_k''$ değerine göre hesaplanan darbe akım değeridir. Burada κ değeri $\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3R}{X}}$ formülüne göre bulunan sabittir.

- ✚ Ib simetrik kısa devre kesme akımının rms (tepe) değeri: $I_b = \mu \cdot I_k$ değerine göre hesaplanan kısa devre kesme akımıdır.
- ✚ Idc aperiyojik bileşen,
- ✚ Ik kararlı durumdaki kısa devre akımının rms (tepe) değeridir [7].

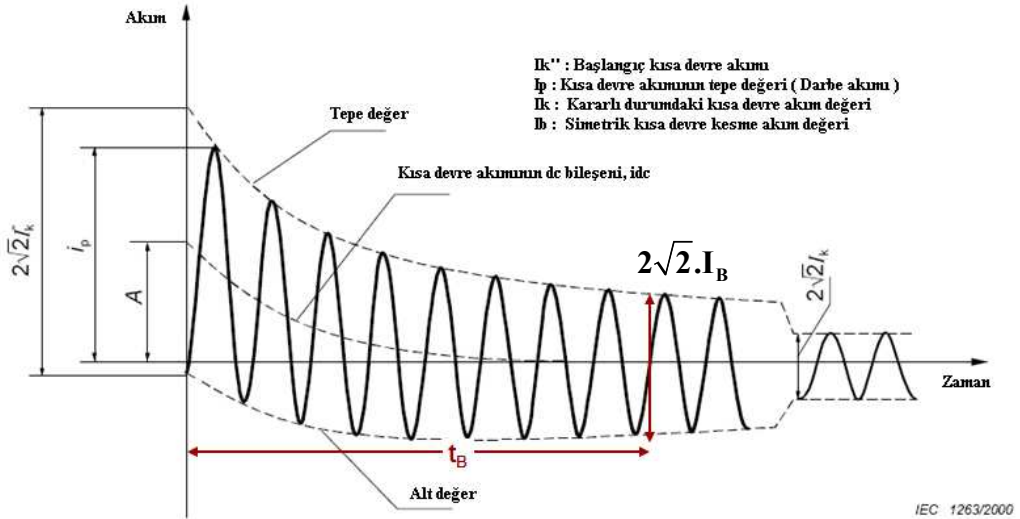
Bu metot kullanıldığında, iki olasılık sürekli dikkate alınmalıdır;

- ✚ Bir şebekede generatörden uzakta bir kısa devrenin meydana gelirse bu; zamanla değişen kısa devre akımının genliğinin, kısa devre süresince yaklaşık sabit kaldığı kısa devredir.



Şekil 2.5: Generator uzak bölgede oluşan kısa devre akımının salınımı [17]

- ✚ Bir şebekede generatörünü yakınında bir kısa devrenin olursa bu; zamanla değişen kısa devre akımının genliğinin, kısa devre süresince bariz şekilde değiştiği kısa devredir. Bu etki generatörün x_d'' , x_d' ve x_d 'sinden kaynaklanmaktadır.



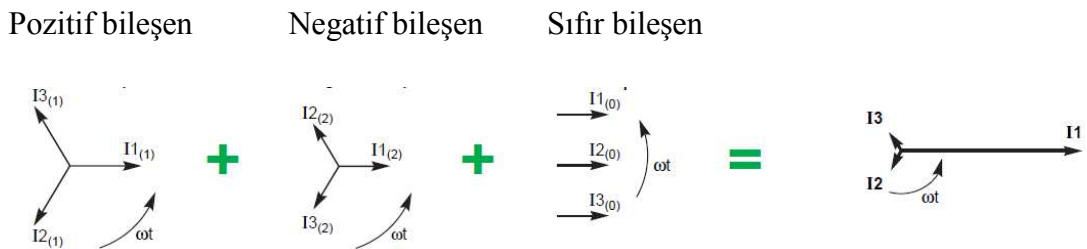
Şekil 2.6: Generatör yakın bölgede oluşan kısa devre akımının salınımlı [17]

2.5.2. Simetrik Bileşenler Yöntemi

Dengesiz üç fazlı sistemlerde çok etkili bir çözüm olan bu yöntem C.L.Fortescue tarafından ilk kez 1918 yılında geliştirilmiştir. Fortescue faz bileşenlerini lineer olarak dönüştürerek 3 ad. simetrik bileşenler geliştirmiştir. Bu dönüşümün avantajı dengeli 3 fazlı şebekeler için simetrik bileşenler olarak adlandırılan eşdeğer devre geliştirilir. Ayrıca dengesiz üç fazlı sistem için 3 ad. ardışık şebeke dengesizlik noktalarından birbirlerine bağlanarak bu dengesiz sistemin analizi kolayca gerçekleştirilir [3].

Simetrik bileşenler yönteminde 3 ad. bileşenden söz edilir;

- ✚ Sıfır bileşen vektörel ve büyüklük olarak birbirine eşit 3 bileşenden oluşur.
- ✚ Pozitif bileşen büyüklük olarak birbirlerine eşit ancak aralarında 120° faz farklı 3 bileşenden oluşur.
- ✚ Negatif bileşen büyüklük olarak birbirlerine eşit ancak aralarında 120° faz farklı 3 bileşenden oluşur.



Şekil 2.7 : Simetrik bileşenler [8]

3 Fazlı şebeke eğer dengesiz ise kısa devre hesabı için simetrik bileşenler yöntemini kullanmak daha uygundur. Zira fazlardan akan akımlar eşit olmayacağı için birbirleri arasında oluşan manyetik alan etkisinden dolayı empedans metodu doğru sonuç vermeyebilir. Bu metod aşağıdaki durumlarda kullanılır:

- Akım ve gerilim sisteminin simetrik olmadığı yani fazlar arasındaki faz farkının 120 °'den farklı olduğu durumda simetrik bileşen yöntemi kullanılır. Özellikle faz-toprak veya faz-faz kısa devre durumunda etkindir.
- Eğer şebekede dönen makinalar ve özel transformatörler yoğun ise bu durumda da simetrik bileşen yöntemi kullanılır. Bu yöntem tüm gerilim seviyelerinde radyal dağıtım sistemleri için uygundur.

Simetrik bileşenler teoremi dengesiz üç fazlı sistem ile dengeli üç fazlı sistemin toplamı arasındaki benzeşmeyi kullanır ki bunların isimleri pozitif bileşen, negatif bileşen ve sıfır bileşenlerdir. Döner makinalarda pozitif bileşen ile negatif bileşen farklıdır ancak hareketsiz makinalarda aynıdır. Sıfır bileşenin tanımı ise yıldız noktası toprağa direkt veya empedans üzerinde bağlı sistemlerde bu bağlantı noktasının bileşeni sıfır bileşendir. Bu bağlantı iletkeninden akan akım üç fazlı sistemler için $3.I_0$ değerine eşittir [8].

Bu çalışmada üzerinde durulan faz toprak arızası simetrik bileşenler yöntemi incelendiğinde; 3 fazlı sistemde a fazında meydana gelen faz toprak arızasında $V_{ag}=Z_f.I_a$ ve $I_b=I_c=0$ formülleri geçerlidir. Bir faz toprak arızasında simetrik bileşen akımları ve gerilimleri için; $I_0=I_1=I_2$ ve $V_0+V_1+V_2=(3Z_f).I_1$ formülleri geçerlidir. Burada Z_f arıza empedansıdır.

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} I_a \\ I_a \\ I_a \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Matrise göre yukarıdaki formüller geçerlidir. Yani faz toprak arızasında oluşan sıfır bileşen akımı ve negatif bileşen akımı pozitif bileşen akımına eşittir [4].

2.5.3. Empedans Yöntemi

Empedans yöntemi metodu, elektrik tesisinin her noktada oluşabilecek kısa devre arıza akımını çok yüksek bir doğrulukla hesaplamak için kullanılır. Bu metod, kaynaktan arıza yerine kadar arıza akımının geçtiği devre üzerindeki tüm direnç ve reaktansların ayrı ayrı toplanması ve bu değeri hesaplanan empedansla karşılaştırmayı içerir. Ohm kanununa göre I_{sc} değeri aşağıdaki formülüne göre bulunur [8].

$$I_{sc} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \sum Z} \quad (2.7)$$

Bu metod kısa devre akımının aktığı devre üzerindeki tüm empedansların kullanılarak yapılan hesaplamadan oluşur. Bu empedans kaynaktan arıza noktasına kadar olan devre üzerindeki tüm resistans ve reaktansların ayrı ayrı belirlenip toplanmasıyla hesaplanabilir. Bahsi geçen hesaplama yöntemleri şu şekilde gerçekleştirilir.

2.5.3.1. Şebeke empedansı:

Hesaplamaya şebeke empedansı da ilave edilmektedir ve aşağıdaki formüle göre hesaplanır ki S_{sc} şebekenin kısa devre gücü, U fazlar arası gerilim ve Z_{up} 'de şebeke empedansıdır.

$$Z_{up} = \frac{U^2}{S_{sc}} \quad (2.8)$$

Şebeke empedansını belirlerken R_{up} veya Z_{up} 'den biri biliniyorsa şu kabuller yapılır: $R_{up}/Z_{up} \approx 0,3$ (6 kV'da), $R_{up}/Z_{up} \approx 0,2$ (20 kV'a kadar) ve

$$R_{up}/Z_{up} \approx 0,1 \quad (150 kV'da)$$

2.5.3.2. Transformatör empedansı

Basit olarak transformatörün etiketinde yüzdesel olarak verilen u_{sc} kısa devre gerilimi kullanılarak şu şekilde hesaplanır;

$$Z_t = \frac{U_{sc}}{100} \times \frac{U^2}{S_n} \quad (2.9)$$

Bu formülde kullanılan;

$U =$ Yüksüz durumdaki trafonun fazlar arası gerilimi

$S_n =$ KVA olarak trafonun gücü

$\frac{U_{sc}}{100}$ ifadesi trafonun sekonderi kısa devre iken sekonderden nominal akım geçene kadar primerden uygulanan gerilimin nominal gerilime oranının yüzdesel olarak değeri şekilde tanımlanmaktadır. Bununla birlikte trafolar için genellikle $R_t \ll X_t$ veya $0,2 X_t$ olarak kabul edilir.

2.5.3.3. Hat empedansı

Hattın empedansı Z_l hattın uzunluğuna, kesitine ve birim uzunluk başına üreticiler tarafında verilen direnç değerine bağlıdır. Birim uzunluk başına direnç şu şekilde hesaplanır;

$$R_l = \frac{\rho}{A} \text{ ohm/metre} \quad (2.10)$$

Burada A (Bazen S kullanılır) hattın kesiti, ρ ise iletkenin öz direncidir, kısa devre hesaplama yöntemine göre minimum veya maksimum değeri kullanılır. Kesiti 150 mm^2 altında kesitlerde sadece resistans dikkate alınır ($R_l < 0,15 \text{ m}\Omega/\text{m}$ $A > 150 \text{ mm}^2$ için). Ayrıca Havai hatlar için birim uzunluk başına kablo reaktansı şu şekilde hesaplanır:

$$X_l = l \cdot \omega = [15,7 + 144,44 \text{ Log}(\frac{d}{r})] \quad (2.11)$$

Empedans yöntemine göre kısa devre çeşitlerine göre arıza akımları şu formüllere göre hesaplanır;

Faz- faz kısa devre akımı $I_{sc2} = \frac{U}{2Z_{sc}} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3} \approx 0,86 I_{sc3}$ yaklaşımına göre bulunur.

Faz nötr kısa devresinde $V = U/\sqrt{3}$ faz nötr gerilimine bağlı kalınarak I_{sc1} faz nötr

kısa devre akımı $I_{sc1} = \frac{U/\sqrt{3}}{Z_{sc} + Z_{Ln}}$ formülüne göre hesaplanır

3. ŞEBEKE BAĞLANTI ŞEKİLLERİNİN ARIZA AKIMI ÜZERİNE ETKİLERİ

3.1. Giriş

Bu bölümde elektrik sistemlerinde kullanılan şebeke bağlantı şekilleri incelenecektir. Radyal veya ring şebeke sistemlerinin bağlantı şekilleri sistemde oluşacak maksimum kısa devre akımını belirler. Ülkemizde en yaygın olan uygulama YNyn0 bağlantı grubuna sahip 154/34,5 kV'luk güç trafolarının sekonder yıldız noktasına 20 Ω 'luk direnç bağlayarak sekonder şebekede oluşacak faz toprak kısa devre akımı 995 A'e sınırlanmasıdır. Yurtdışında durum çok daha farklıdır. Zira orta gerilimde yüksek direnç üzerinden topraklama sistemi pek kullanılmaz ancak peterson bobini üzerinde topraklama çok daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şebekenin bağlantı şekline göre nötr noktasının topraklanması mı gerekiyor yoksa topraklanmaması mı? topraklanması gerekiyorsa düşük direnç ile mi topraklamamı, yoksa yüksek dirençle mi? ya da reaktans ile mi topraklanması gerekiyor? bu bazı hesap yöntemleri ile veya simülasyon programları ile belirlenebilir.

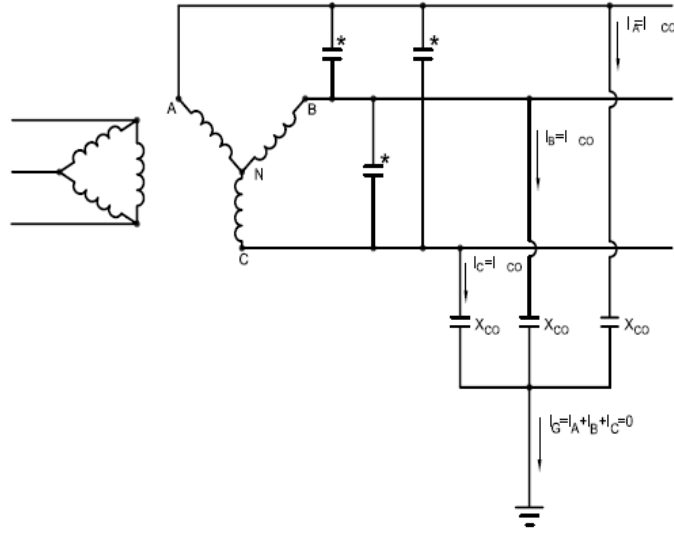
Bu bölümde bütün bu sistemler incelenecek, hangi ülkelerin ne tür bir sistem kullandıkları, nötr noktası olmayan üçgen bağlı sistemlerde suni nötr noktasının ne şekilde oluşturulacağı incelenecektir. Ayrıca peterson bobini ile nötr noktasının topraklanmasında ne tür risklerin olduğu ve bu risklerin sonucunda ne tür zararların ortaya çıkabileceğine değinilecektir.

3.2. Topraklama Sistemleri

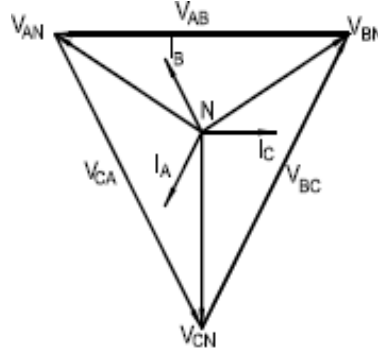
Elektrik iletim veya elektrik dağıtım şebekesi farklı şekilde topraklanabilir. Ancak şebekenin özelliğine göre arıza anındaki parametrelerin (aşırı gerilim, arıza akımı vb.) önceden hesaplanmış olması gerekir.

3.2.1. Topraklanmamış sistem

15 kV ve altındaki gerilim kademelerinde çalışan endüstriyel tesislerde kullanılır. Yıldırım düşmesi olasılığı olan havai hattın yoğun olduğu şebekelerde tercih edilir.



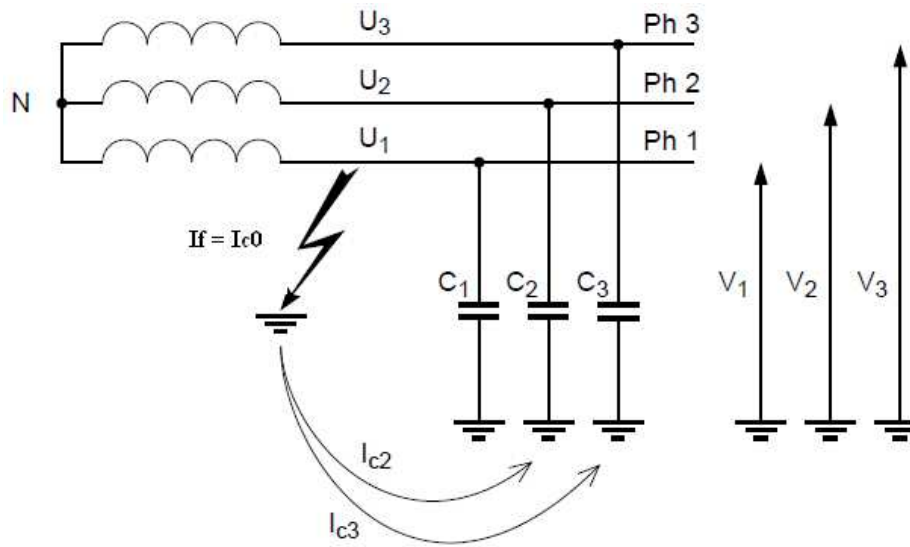
Şekil 3.1: Topraklanmamış sistemde dengeli durumda devre konfigürasyonu [9]



Şekil 3.2: Topraklanmamış sistemde dengeli durumda vektör diyagramı [9]

İtalya, Japonya, İrlanda, Rusya, Peru, İspanya da yaygın olarak kullanılmakta olan Topraklanmamış sistem enerjinin geçtiği iletkenlerin toprakla direkt bir bağlantısının olmadığı bir sistem olarak tanımlanır. Bu tür sistemler gerçekte dağıtılmış kapasitanslarla, transformatörlerle ve motor sargılarıyla toprağa irtibatlandırılırlar. Toprak arızasının olmadığına, 3 fazlı sistemde, sistemin kapasitif etkisinden dolayı her üç fazında faz toprak gerilimi yaklaşık olarak eşittir [9].

Topraklanmamış dağıtım sistemleri bir fazda toprak arızası olduğu zaman enerji sürekliliğinin sağlanması gereken endüstriyel tesislerde kullanılmaktadır. Bir fazlı toprak arızası sistemden aşırı akımların akmasına sebep olmaz çünkü akım arıza olmayan diğer iki fazın kapasitansı tarafından sınırlandırılmaktadır. Eğer bir fazın iletkeni toprağa temas ederse fazdan toprağa bir akım akışı olmaz çünkü bir potansiyel fark yoktur. Buna rağmen arıza olmayan iki hattın gerilimi artar çünkü aralarındaki faz açısı dengeli durumdaki gibi 120° değil 60° 'dir. Böylece bir fazın kapasitif akımının 3 katı akım arızalı faz iletkeninden toprağa oradanda arıza noktasına akar. Arızalı olmayan iki fazın geriliminin artması kablo ve diğer ekipmanları özellikle motorların sargı izolasyonlarını olumsuz etkiler. Bu yüzden arıza, koruma ekipmanları tarafından hissedilip ve arızaya en yakın kısımdan enerjinin kesilmesi gerekir.



Şekil 3.3: Topraklanmamış sistemde bir faz toprak arızası [13]

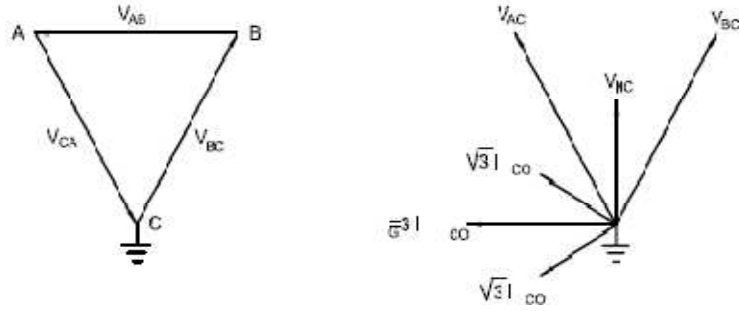
Topraklanmamış sistemde oluşan kısa devre akımı hattın kapasitif şarj akımına eşittir ve aşağıdaki formüller geçerlidir:

$$I_c = I_{c2} + I_{c3} = I_{c2} \cdot \cos 30^\circ + I_{c3} \cdot \cos 30^\circ \quad (\text{I}_{c2} \text{ ile } I_{c3} \text{ arasındaki açı } 60^\circ \text{ 'dir})$$

$$I = C\omega U \text{ ve } C_1 = C_2 = C_3 \text{ buradan } I_c = C_2\omega U_2 \frac{\sqrt{3}}{2} + C_3\omega U_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ ve sonuç olarak}$$

$$I_c = C_2\omega U\sqrt{3} \quad (3.1)$$

olarak bulunur ki bu formülde U faz faz gerilimidir.

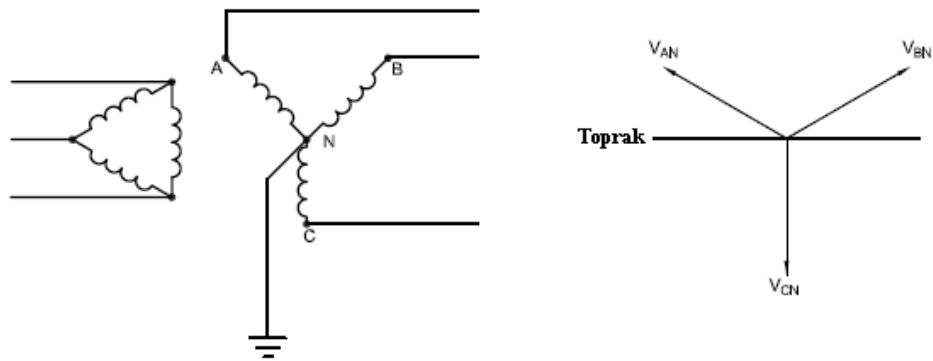


Şekil 3.4: Topraklanmamış sistemde C fazındaki toprak arızasında vektör diyagramı [9]

Topraklanmamış sistem sekonderi üçgen bağlı bir transformatörün bulunduğu 3 fazlı bir sistem gibidir. Eğer C fazında toprak arızası olursa C fazı ve toprak aynı potansiyeldedir yani potansiyel fark 0'dır. Bu nedenle arıza olmayan iki fazın gerilimleri arasındaki faz farkı değişmiştir.

Ne yazık ki, topraklanmamış sistemde ilk arıza anında gerilimin artma (nominal gerilimin altı katına kadar) olasılığı vardır. Bu yüksek gerilim sistemin en zayıf noktasında ikinci arızaya sebep olur ve daha zararlı arıza akımı oluşur. Aşırı akım koruma cihazları arızayı temizler. Mamafih faz toprak arasındaki yüzey direnci büyük arka neden olur. Arıza akımının büyüklüğü koruma ekipmanları için yeterli olmayabilir böylece hem telafisi yüksek maliyetli zararlar ortaya çıkabilir hem de arıza onarılanaya kadar sistem enerjisiz kalabilir. İlk arızanın yerini tespit etmek ve arızayı gidermek çok önemlidir.

3.2.2. Direkt topraklı sistem



Şekil 3.5: Direkt topraklanmış sistemde dengeli durumda devre konfigurasyonu ve vektör diyagramı [9]

Direk topraklama sisteminin tekli topraklama çeşidi İngiltere’de ve çoklu topraklama çeşidi de Amerika, Kanada, Avustralya ve Latin Amerika’da yaygın olarak kullanılmakta olup bu tip topraklama aşırı gerilimi sınırlamada en etkili topraklama çeşididir. Selektif korumada sıkıntı yaşanmaz. Bununla birlikte bir toprak arızası durumunda arıza akımı yalnızca sistemin kapasitansı tarafından sınırlandırılır. Sistem zarar görebilir parazitler oluşur ayrıca arıza devam ettiği sürece can ve mal kaybı olabilir.

Bir faz toprak arızasında oluşan arıza akımı direkt topraklı sistemde 3 faz kısa devre arıza akımından yüksek olabilir. Akımın büyüklüğü arıza yerine ve arıza direncine bağlıdır. Toprak arıza akımını azaltmanın yolu trafonun nötrünü topraktan izole etmektir. Bunun için trafonun yıldızı ile toprak arasına anahtarlama cihazı (Bölüm-5’de belirtildiği gibi kesici, şalter vb.) kullanmak gerekir. Direkt topraklı sistemin en önemli avantajı arıza esnasında aşırı gerilimlerin oluşmamasıdır.

Güç trafolarının veya generatörlerin nötrleri toprağa direkt olarak irtibatlandırılır. Arıza akımı simetrik bileşen akımların toplamıdır ve bu akım nominal akımın 20-30 katına yaklaşır. Arıza olmayan fazların gerilimi faz faz gerilimine yükselmez. Böylece sistem toprak arızası süresince aşırı gerilimden dolayı enerjisiz kalmaz. Arıza akımı direkt topraklı olduğu için (yani direnç ve reaktans olmadığı için) sınırlanmaz. En yaygın olarak alçak gerilim sisteminde kullanılır. Zaten 400 V’da yalnızca direkt topraklama sistemi kullanılır (IE kuralları 1956 Kural No 61 (1) a). Çünkü eğer direnç üzerinden topraklama yaparsanız, toprak arızası süresince, arızalı bölge ile toprak arasında kayda değer bir gerilim oluşur. Bu da yanlışlıkla arızalı ekipmana dokunan bir insan üzerinden zarar verebilecek ve hatta can kaybına neden olabilecek bir akımın akmasına neden olur. Direkt topraklamada bu söz konusu olmaz çünkü arızalı faz toprak potansiyelindedir [10].

3.2.3. Direnç üzerinden topraklı sistemler

Bu sistemde nötr ile toprak arasına akım sınırlayıcı direnç tesis edilir. Direnç üzerinden nötrün topraklamasının nedenleri;

- 🚧 Arıza anında oluşan arkın yakıcı ve eritici etkisinin azaltmak için
- 🚧 Arızanın ekipmanlar ve baralar üzerindeki mekanik stresini azaltmak için
- 🚧 Topraklama yüzeyine olabilecek bir temasta can kaybını önlemek için

İki çeşidi vardır

• Düşük direnç üzerinden topraklama

• Yüksek direnç üzerinden topraklama

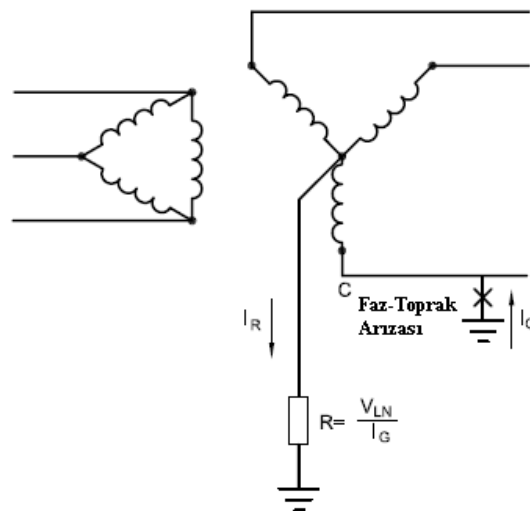
Yüksek direnç üzerinden topraklama kullanıldığında arıza akımı 10 A veya daha düşüktür, Düşük direnç üzerinden topraklama kullanıldığında arıza akımı 10 A ile 3000 A'e kadar sınırlandırılır. Her iki topraklama çeşidi de arıza akımını sınırlamak ve geçici aşırı gerilimlerden sistemi uzak tutmak için kullanılır. Mamafih yüksek direnç metodu çoğunlukla arıza akımı çok küçük değerlere çekilerek arıza akımını tespit edilerek toprak arızası temizlenir. Düşük direnç ile nötr topraklama metodunda arıza akımının büyüklüğü rölelerin arızayı kolayca hissedebilmeleri yüzünden bir avantajdır. Direnç üzerinden akan akım,

$$I_g = \frac{U}{\sqrt{3}R_{ngr}} \quad (3.2)$$

formülüne göre bulunur ki burada; I_g : Faz toprak arızasında direnç üzerinden akan akım, U : Faz faz gerilimi, R_{ngr} : Topraklama direncidir.

Ülkemizde en yaygın olanı 20 ohm'luk direnç kullanılarak topraklanarak faz toprak arıza akımı orta gerilimde 1000 A'e sınırlandırılmaktadır. Arıza akımı sistemin şarj akımı ile topraklama direnci üzerinden akan akımın toplamıdır.

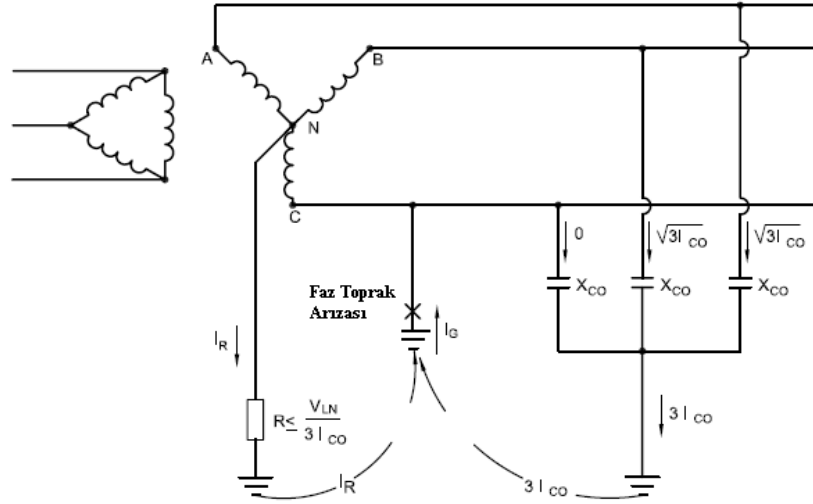
3.2.3.1. Düşük direnç üzerinden topraklanmış sistem



Şekil 3.6: Düşük direnç üzerinden topraklanmış sistem [10]

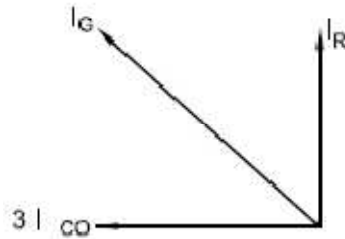
Düşük direnç üzerinden topraklanmış sistemde toprak arızası 100 A ile 1000 A arasında sınırlandırılır. Arıza akımı sistemin şarj akımı ile toprak akımının toplamıdır. Düşük direnç ile nötr topraklama metodunda arıza akımının büyüklüğü rölelerin arızayı kolayca hissedebilmeleri yüzünden bir avantajdır.

3.2.3.2. Yüksek direnç üzerinden topraklanmış sistem



Şekil 3.7: Yüksek direnç üzerinden topraklanmış sistem [10]

Güney Afrika'da yoğun olarak kullanılan yüksek dirençli topraklama sistemi büyük omajlı bir direncin nötr ile toprak arasına tesis edilmesi prensibine dayanır. Direnç değeri I_R akımını sistemin şarj akımı $3I_{c0}$ 'na eşit ya da çok az büyük bir değere sınırlayacak şekilde seçilir. Aynı zamanda $I_G = I_R + 3I_{c0}$ eşitliği geçerlidir.

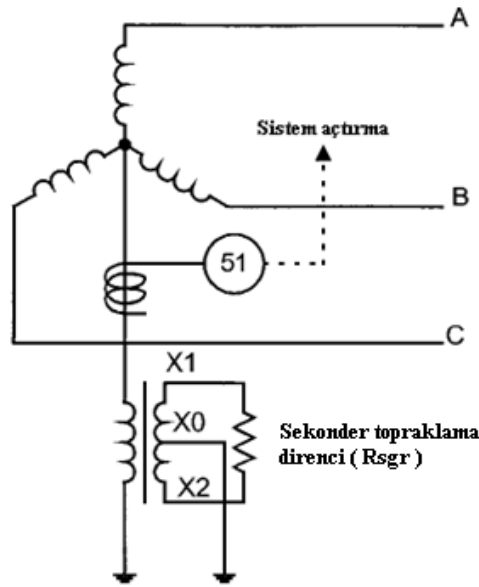


Şekil 3.8: Yüksek direnç üzerinden topraklanmış sistemde vektör diyagramı [10]

Yüksek dirençli topraklamada genellikle faz toprak arızası I_G 10 A veya daha düşük bir değerde sınırlandırılır. Çünkü 10 A'nın üzerindeki faz toprak arızalarında oluşan potansiyel sisteme çok zarar verir. Eğer yıldız bağlı transformatör veya generatör bulunduğu bir sistemin nötr noktası varsa Şekil 3.7 ve Şekil 3.9'da gözüktüğü gibi

nötr noktasının topraklanması 2 metodu vardır. Şekil 3.7’de gözüken metod basit olanıdır. Bu metod bir direnç içerir ve bu direncin değeri (Ω cinsinden) sistemin toprağa göre kapasitif reaktansına yaklaşık eşit veya ondan biraz daha düşüktür. Bu direnç direkt olarak sistemin nötr noktası ile toprak arasına bağlanır. Yıldız bağlı sistemin topraklanmasında kullanılan direnç orta gerilimde yaygın olarak kullanılır [11].

Diğer metod Şekil 3.9’da görüldüğü gibi sistemin yıldız noktası ile toprak arasına tek fazlı transformatörün bağlanması şeklinde kullanılır. Bu metod orta gerilim sisteminde alçak gerilim akım sınırlayıcı direncin kullanılmasına müsaade eder. Bu transformatörün genellikle primeri sistemin fazlar arası geriliminin anma değerine eşit, sekonderi ise 120 veya 240 V’tur. Direncin gücü Şekil 8’de gözüktüğü gibi direkt bağlı olan direncin watt olarak gücüne eşit olacak şekilde seçilir, fakat omik değeri transformatörün çevirme oranının karesi oranında azalır. Transformatör/direnç tipindeki topraklama ekipmanı; alçak gerilim sekonder direnç değerini değiştirerek toprak akım değerinin kolay ayarlanmasını sağlar [11].



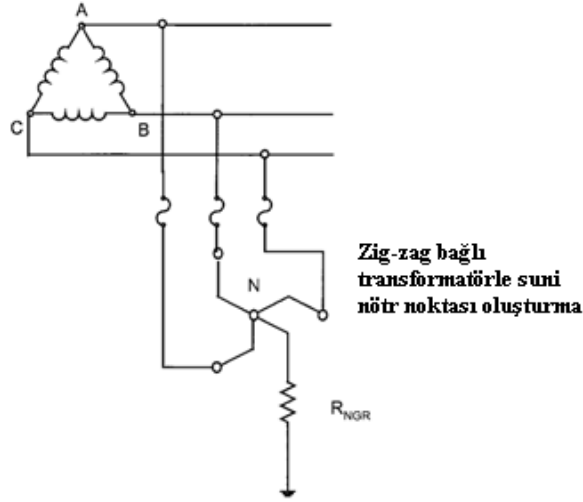
Şekil 3.9: O.G. yıldız bağlı sistemde topraklama ve koruma sistemi [11]

$$\text{Burada; } R_{sg} = \frac{R_{ngr}}{N^2} \Omega, \quad N \leq \frac{n_1}{n_2}, \quad I_{sg} = N I_g \text{ Amper} \quad (3.3)$$

Buradan da toprakla trafosunun gücü aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$KVA=W_{ngr}=\left(\frac{I_g}{N}\right)^2 \cdot \frac{R_{sgr}}{1000} KVA \quad (3.4)$$

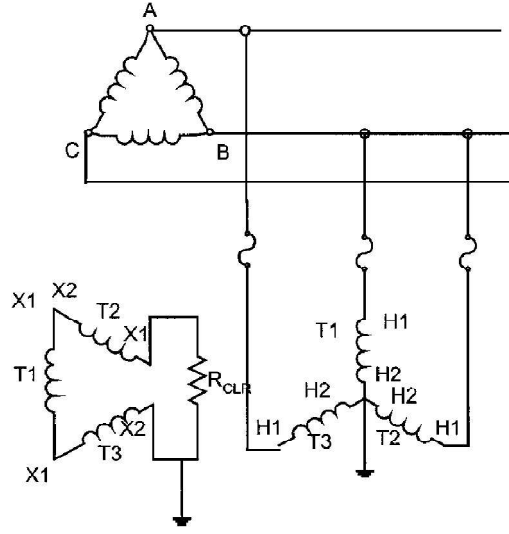
Şekil 3.9’da indirici (step-down) transformatör kullanılarak yukarıda anlatılan işlemin gerçekleştirilebilmesi için alçak gerilim direnci kullanılabilir. Üçgen bağlı bir sistemde suni nötr noktasının oluşturulması yıldız noktası olmadığı için gereklidir.



Şekil 3.10: Δ bağlı sistemde suni nötr noktasıyla direnç üzerinden topraklama [11]

Bu işlem zig-zag bağlı transformatör ile gerçekleştirilebilir veya 3 tane monofaze transformatör birbirine bağlanır ve sekonder terminallerine de akım sınırlayıcı direnç bağlanır [11].

Üçgen bağlı sistemde, yıldız bağlı sistemde olduğu gibi toprağa bağlanabilecek uygun bir nokta (yıldız noktası) yoktur, bu sebeple uygun bir nötr noktası (suni) oluşturulmalıdır. Bu iki tane topraklama transformatörü ile mümkündür. Bu topraklama transformatörleri Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de gözüktüğü gibi belirtilen sıraya göre zig-zag veya yıldız/üçgen bağlıdır.



Şekil 3.11: O.G. üçgen bağlı sistemde nötr topraklaması [11]

Zig-zag ve yıldız/üçgen bağlantılı topraklama transformatorün etkisi çok küçüktür. Önce sıfır bileşen empedansı için düşük değerli empedans yüzeyi sağlanır böylece faz-toprak arızası olduğunda, sıfır bileşen akımı toprağın içinden arıza noktasına akar ve topraklama transformatorünün yıldız noktasına döner, sonra iki türlü transformatorlerin empedansı normal 3 fazlı sistemin akımına göre yüksektir. Böylece sistemde arıza olmadığında sargılardan çok küçük mıknatıslanma akımı akar [11].

Zig-zag veya yıldız-üçgen bağlı transformatorde, her bacakta birbirinin aynı 2 ad. sargı vardır. Sargılar karşılıklı bağlıdır öyleki, her çekirdek bacak iki fazın akımı tarafından mıknatıslanır. Bütün sargılar aynı spir sayısına sahiptir fakat her bir bacağına sargı çifti bağlıdır böylece onların mıknatıslanma kuvveti karşılıklı olarak eşittir. Bunun sonucu olarak yıldız noktası her faza bağlı olarak eşpotansiyelde kalmak durumundadır. Eğer toprak arızası meydana gelirse gerilim sıfır değerinden maksimum değer aralığında direnç tarafından sınırlanır. Bu değer arızanın empedansına bağlıdır [11].

Zig-zag bağlı topraklama transformatorünün KVA olarak gücünün anma değeri;

$$KVA = \frac{E}{\sqrt{3}} \times \frac{I_g}{1000} KVA \quad (3.5)$$

formülüne göre bulunur. Burada E gerilimin anma değeridir ve Ig Amper olarak maksimum toprak akımıdır. Dağıtım transformatörü yıldız/üçgen bağlı 3 fazlı veya 3 ad. tek fazlıdır ve topraklama transformatörü olarak kullanılabilir.

Şekil 3.11’de gözüktüğü gibi primeri yıldız bağlı transformatörün üçgen bağlı sekonderine bağlanacak direnç (sargıların birleşme noktasının bağlanır) ile akım sınırlaması yapılır.

Her bir transformatörün KVA olarak anma değeri; faz-faz geriliminin anma değerinin, toprak akımı ile çarpılmasının 3’e bölümüdür.

Bu tarz topraklama transformatörü alçak gerilimde ve orta gerilimde 15 kV gerilim seviyesine kadar kullanılır. Aynı zamanda zig-zag bağlı transformatörün de kullanılması önerilir zira yıldız/üçgen bağlantılı transformatörünün kapasitesi aynı performansa sahip zig-zag bağlı transformatöre göre 1,73 kat daha büyüktür. Eğer toprak akımı değişkense zorunlu olarak orta gerilim sisteminin özelliğinden dolayı yıldız/üçgen bağlantıda üçgen bağlı 2 sargı arasına uygun tek fazlı transformatörü ile birlikte alçak gerilim tarafının modifikasyonu için tek fazlı transformatörün sekonder tarafı topraklanabilir. Uygun şekilde kullanıldığında direnç geniş bant aralığında ayarlanabilir özelliğe sahip olabilir [11].

3.2.3.3. Akmasına İzin Verilen Maksimum Akım Değeri

Yıldız veya üçgen bağlı sistemlerde akmasına izin verilen akım değeri maksimum kontrol akımıdır ki faz-toprak arızası süresince nötr topraklama direnci üzerinden akan akımdır ve bu değer aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$I_g = \frac{V_L}{\sqrt{3}R_{ngr}} \quad (3.6)$$

Not: Açık üçgen sistemler için, Rg akım sınırlayıcı direncin eşdeğer primer direnci olacaktır.

Eğer toprak arıza akımı Tablo 1’deki değerleri aşmıyorsa yüksek dirençli topraklama uygulaması alçak gerilim ve orta gerilim sistemleri için başarılı bir şekilde uygulanabilir. Kanada Elektriksel Koda göre 5 A’in üzerindeki arızalara karşı direnç kullanılmalıdır [11].

Tablo 3.1:Sistem gerilimine bağılı oluşan şarj akımları [11]

Gerilim Aralığı	Toplam toprak akımı I _g	Şarj akımı ve direnç üzerinden akan akım
480-600 V	25 A	17,5 A
2400-4160 V	15 A	10,6 A
6900-13800 V	10 A	7 A

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi toplam topraklama akımı; direnç akımlarının ve kapasitif şarj akımlarının (I_c) vektörel toplamıdır.

$$|I_g| = \sqrt{I_r^2 + I_c^2} \quad (3.7)$$

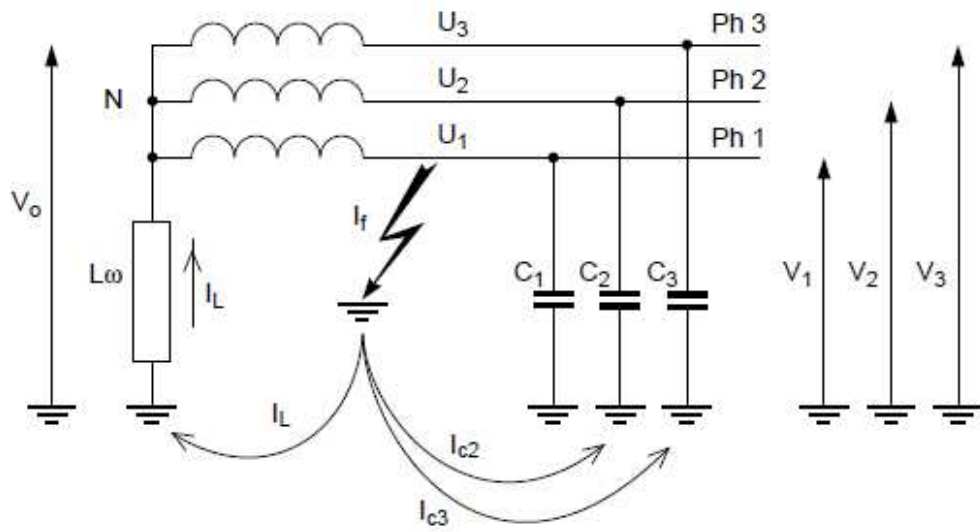
Özellikle orta gerilim sisteminde, çok yüksek toprak arıza akımı olduğunda, ilk arızanın kesilmesi esnasında sistemin zarar görmemesi gerekmektedir. Motor sargılarında yüksek dirençli topraklama arızasının meydana gelmesi sargıların izolasyonuna zarar verebilir, bunun sonucu olarak da anma akımının katı olan arıza akımı oluşur. Başlangıçta aşırı akım röleleri bu akımı hissedemeyebilir. Kısa devredeki arıza akımı kısa devrenin olduğu bölgede ısınmalara neden olur ve yalıtıma zarar verebilir ki faz arızası faz-faz arızasını tetikler ve motorda ciddi hasarlara neden olur [9].

Kabloların ve metal zırhın arıza anındaki oluşan arıza akımını taşıma kapasitesi; maksimum sıcaklıkta (iletken için 250° C, zırh için ise 150° C) sahip olduğu özelliklerle alakalıdır. Standart güç kablosunun zırhı daha düşük arıza akımına dayanıklılığına sahiptirler böylece toprak arıza akımı sıcaklığı limitlerin üzerine çıkarır. Zırh ve izolasyonun zarar görmesinden sonra, faz-faz veya üç faz kısa devre arıza olasılığı doğar. Hatta alçak gerilim topraklama direnci ile topraklanmış sistemler için, ilk topraklama arızasını röle ile gidermek arzu edilir. Mesela koruma ekipmanı sistemin devamlılığı için büyük öneme sahiptir.

Yüksek dirençli topraklama ekipmanı (Zig-zag bağılı transformator ve topraklama direnci) ilk arıza anında servis sürekliliğini sağlayabilecek özellikte olmalıdır. Kısa süreli cihazlar (10 saniye, 1 dakika veya 10 dakika) sistemde kullanılır ki bu sistemde ilk arıza röle tarafından otomatik olarak giderilir. Bu cihazlarla arıza ilk

periyotda giderilmelidir. Bu cihazlarla birlikte ters zaman akım karakteristiğine sahip röleler kullanılarak ideal bir koruma sistemi sağlanmış olur. Röle resistörün maksimum sürekli akımın anma değerine veya üzerine set edilmelidir. Rölenin zaman gecikmesi $I^2t=K$ (sabit) değerine göre arttırılabilir. Mesela % 50 anma akımında, 10 saniye ayarlı direnç sadece akımı 40 saniye taşır. Herhangi bir durumda röle karakteristikleri topraklama direncinin akım karakteristiğine göre koordine edilebilir burada amaç cihazların zarar görmesini engellemektir.

3.2.4. Peterson bobini üzerinden topraklı sistem



Şekil 3.12:Peterson bobini üzerinden topraklanmış sistem [13]

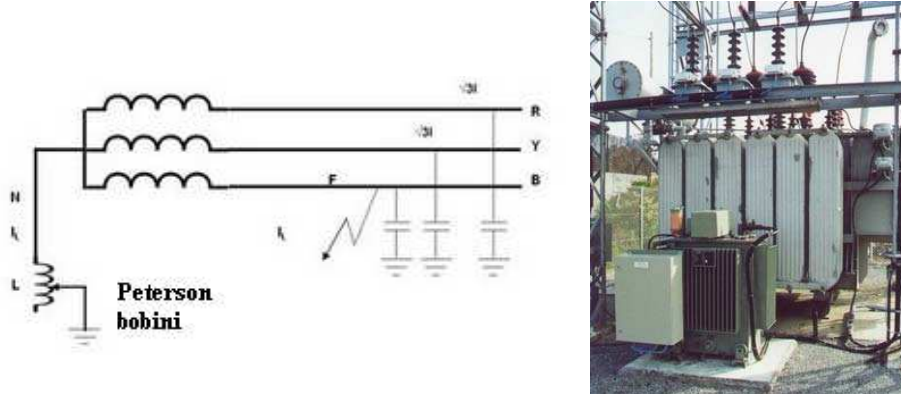
Kuzey ve Güney Avrupa'da, Çin ve İsrail'de yaygın bir şekilde kullanılmakta olan peterson bobini toprak arızası süresince topraklanmamış 3 fazlı topraklama sisteminde oluşan arki sınırlamak için kullanılır. Bu bobin ilk olarak 1916 yılında W Petersen tarafından geliştirilmiştir. Bu çözüm bazen yüksek gerilim şebekelerinde ve endüstriyel dağıtım sistemlerinde kullanılır. Aktif komponentlerin artık akımları ile çalışan koruma rölelerinin duyarlılığı ve akım transformatörleri selektiviteyi sağlamak için kullanılır.

Faz toprak arızası oluştuğunda peterson bobinin endüktansı anında değişir, arızalı fiderin sıfır bileşen akımı da çok çabuk değişir diğerleri aynı kalır. Faz toprak arızasında arızalı fiderin sıfır bileşen akımı maksimum değer alır. Şebekenin eşdeğer toprak kapasitansı anlık olarak ölçülebilir, peterson bobini ile sistemin kapasitansını kompanze eder. Nötr ile toprak arasına reaktör kullanılır sistemin kapasitif akımlarını

kompanza eder. Bu topraklama yöntemi daha çok 110 KV'luk sistemlerde kullanılır. Endüstriyel ve ticari tesislerde de kullanılır. peterson bobini arıza akımını temizlemek için kullanılan bir reaktördür. Aşağıdaki formül bu çalışma mantığına göre çıkarılmıştır [11].

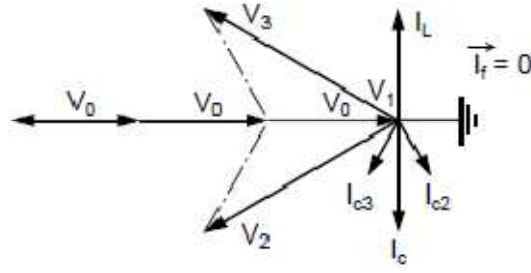
$$3C\omega = \frac{1}{Ln\omega} \quad (3.8)$$

Yukarıdaki formüle göre peterson bobini kullanıldığında $I_c=IL$ olur ki arıza akımı $I_f=0$ 'dır. Ancak birçok etkene bağlı olan hattın kapasitansını bilmek zor olduğu için $3LnC\omega^2=1$ formülüne göre ayarlı reaktör kullanılır. Peterson bobininin uygulması aşağıdaki gibi özetlenebilir: Topraklanmamış 3 fazlı sistemde faz-toprak arızası oluştuğunda, arızalı fazın gerilimi toprak potansiyeline düşer. Bu, arızalı olmayan diğer 2 fazın faz gerilimlerinin $\sqrt{3}$ katına çıkmasına neden olur.



Şekil 3.13: Peterson bobininin kullanımı [9]

Artan gerilim I_c diye sembolize edilen fazdan toprağa bir akım akışına neden olur. Kendi devresi üzerinden akan I_c akımı, normal kapasitif akımın 3 katına kadar yükselebilir. Bu durum arıza noktasına bir sürü geri akım akışına neden olur. Bu sistemde aşırı gerilime yol açar. Petersen bobini 3 fazlı sistemin yıldız noktasına bağlanan demir çekirdek reaktöründen oluşur. Arıza oluştuğunda kapasitif şarj akımı büyüklük olarak kendisine eşit ancak 180 derece faz farklı reaktörden akan akım tarafından nötralize edilir (sönümlendirilir). Peterson bobininden akan akım hattın kapasitesini kompanze eder.



Şekil 3.14: Vektör diyagramı [13]

Arızanın güç katsayısı şebekeyi birleştirecek şekilde hareket eder. Bu hem akımın hem de gerilimin sıfır geçişinde arkın kolay bir şekilde sönmülendirilmesini sağlar.

$$I_C = 3I = 3V_p / (\omega C) = 3V_p \omega C \quad (3.9)$$

Burada hattın kapasitif etkisinden dolayı oluşan I_c değeri; faz toprak arasındaki şarj akımının 3 katı olan bir şarj akımıdır. Yıldız noktası ile toprak arasına ωL endüktif reaktans değerli Peterson bobini bağlandığı durumda aşağıdaki formül ile hesaplanabilen akım akar;

$$I_L = V_p / \omega L \quad (3.10)$$

Kapasitif şarj akımının etkisinin yok etmek için I_L değeri I_C değeri yaklaşık eşit yapılmalıdır. Bu yüzden;

$$V_p / \omega L = 3V_p \omega C \quad (3.11)$$

Buradan şu anlaşılmaktadır ki eşitliğin sağlanabilmesi için L ile C arasındaki ilişki aşağıdaki gibi olmalıdır.

$$L = 1 / (3\omega^2 C) \quad (3.12)$$

Peterson bobini içindeki endüktans değeri hattın kapasitif değerine yaklaşık eşit olmalıdır. Bu eşitliğin bozulmaması için eğer enerji iletim hattında modifikasyonla yapılacaksa Peterson bobinini de buna göre revize etmek gerekmektedir. Burada Ferro rezonans riskini de göz önünde tutmak gerekmektedir.

Ferrorezonans kelime anlamı olarak demir çekirdekli endüktif elemanların bulunduğu sistemlerdeki endüktif ve kapasitif elemanlar arasında oluşan özel bir rezonans çeşididir. En çok karşılaşılan Ferrerezonans çeşidi trafolardaki gerekli

manyetik akıyı sağlamaya çalışırken olandır. Bu özel rezonans çeşidi gerekli kontroller altında kimi zaman yararlı bir şekilde kullanılabilir. Örnek olarak sabit gerilimli transformatörlerde bu olay yararlı olarak kullanılabilir.

Ferrorezonans lineer sistemlerde oluşan rezonanslardan farklıdır. Lineer sistemlerdeki rezonans yüksek genlikli sinüzoidal akım ve gerilim dalga şekillerine neden olmaktadır. Ferrorozonans ise buna ek olarak yüksek akım ve gerilim değerlerinde genellikle düzensiz ya da karma karışık (kaotik) dalga şekilleri oluşmasına neden olur.

Basit bir RLC devresindeki direnç (R) değeri bir anlık ihmal edilirse devreden akan akımın ifadesi;

$$I = \frac{E}{j(XL - XC)} \quad (3.13)$$

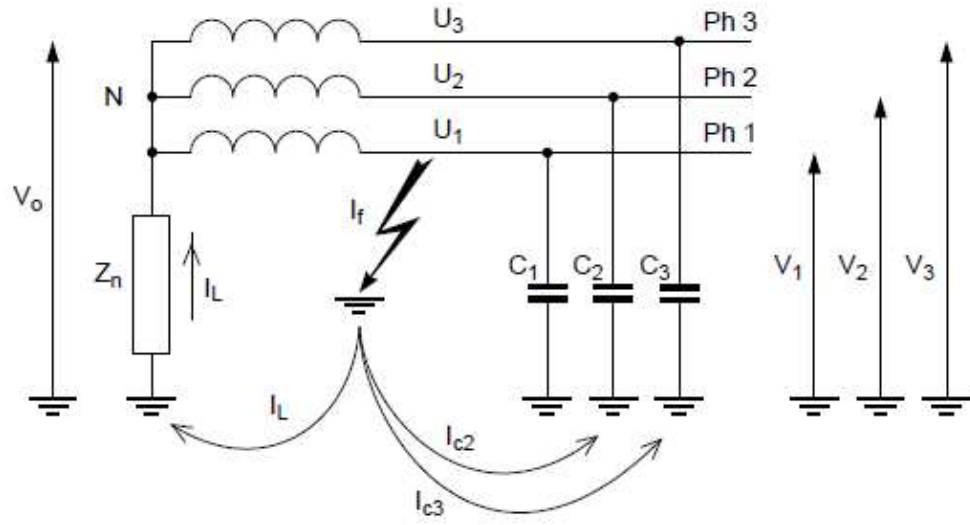
E:Gerilim

XL:Endüktansın Reaktansı , XC:Kapasitenin Reaktansı

Bu devrede $XL = |XC|$ olduğu durumda seri rezonans olayı oluşacaktır ve bu oluşan sonsuz değerli büyük akım ancak R direnci tarafından sınırlandırılabilir. Dağıtım sisteminde faz toprak arızası oluştuğunda peterson bobini sistemin arıza akımını engeller fakat tehlikeli aşırı gerilim oluşabilir. Bunun sebebi de seri veya paralel rezonans riskidir. Bu yüzden peterson bobini ayar üniteleri tarafından kontrol edilerek rezonans riski ortadan kaldırılır

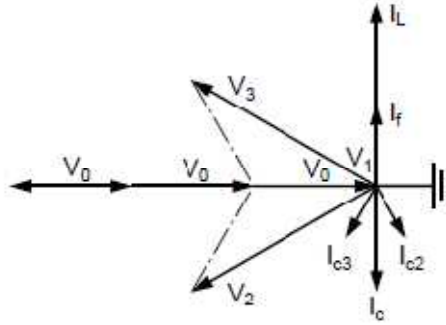
3.2.5. Reaktans üzerinden topraklama

Reaktans arıza akımını selektif koruma cihazların algılayabileceği seviyede sınırlar ve arızanın sıcaklık etkisini azaltır. 40 kV'un üstünde ısınmayı engellemek ve kurulumu kolaylaştırmak için direnç ile birlikte kullanılır. Ancak aşırı gerilim riski direnci yüksek olmasında dolayı artar. Arıza en kısa sürede sönmelendirilmelidir.



Şekil 3.15: Reaktans üzerinden topraklama [13]

$$I_c = I_{c2} + I_{c3} \text{ ve } I_L = \frac{U}{\sqrt{3}Z_n} \text{ IL ve } I_c \text{ akımları zıt yöndedir.} \quad (3.14)$$



Şekil 3.16: Reaktans üzerinden topraklamada vektör diyagramı [13]

Vektör diyagramına göre $I_f = I_c + I_L$ 'dir. $I_f = I_c \cdot \cos 30^\circ + I_{c3} \cdot \cos 30^\circ - \frac{V_0}{L\omega}$

$$I_{c2} = I_{c3} = UC\omega \text{ böylece } I_f = U \left(\sqrt{3}C\omega - \frac{1}{\sqrt{3}L\omega} \right) \quad (3.15)$$

4. FAZ TOPRAK ARIZASINDA KULLANILAN KORUMALAR

4.1. Giriş

Güç sistemlerinde kısa devre; ekipmanların yalıtım hatalarından, yanlış manevralardan , yıldırımdan düşmesinden, şalt cihazların yüzeyinde oluşabilecek korozyondan veya diğer mekanik ve doğal sebeplerden ötürü oluşabilir. Titizlikle dizayn edildikten sonra aynı şekilde çalıştırılan ve sürekli olarak bakım yapılan bir işletmede sebebi doğal şartlar dışında kolay kolay kısa devre meydana gelmez. Zira kısa devre arızası bazen tesislerde tekafisi mümkün olmayan zararlara neden olabilir ve hatta hatta başka sistemleri dahi olumsuz yönde etkileyebilir. Bu yüzden kısa devre arızası mümkün olan en kısa sürede sönmelendirilmelidir.

Yüksek gerilimde standart koruma ekipmanları kısa devreyi 3 saykılta temizlerken alçak gerilim koruma ekipmanları 5-20 saykılta temizler. Bir sistemde kullanılacak koruma sistemini oluşturun cihazlar titizlikle seçilip hassas selektivite ayarı yapılmalıdır. Koruma sistemi 3 ana komponentden oluşur:

1. Akım ve gerilim trafoları
2. Röleler
3. Kesiciler

Koruma sistemi, insan vücudu gibidir. Elimiz yanlışlıkla çok sıcak bir cisme değdiğinde duyu organlarımız beyne sinyal gönderir bu faz toprak arızasında kısa devre akımının akım trafolarınca hissedilip röleye iletilmesine benzer. Beyin duyu organları tarafından iletilen bu sinyali algılar ve kas sistemine emir verir. Bu rölenin kesicinin açma bobinine 220 VAC veya 24 VDC gerilim göndermesine benzer. Kas sistemimiz elimize sıcak cismin üzerinden çekerek elimizin yanmasını engeller. Bu durumda kesicinin açma konumuna geçip arızalı bölgenin kaynaktan ayrılmasına benzer. Bir koruma sistemi aşağıdaki kriterlere sahip olmalıdır:

Güvenirlilik: Arıza durumunda sistemin muntazam çalışması gerekmektedir. Sistem ne kadar süredir çalışıyor olsa bile yine de herhangi bir aksaklık yaşatmaması gerekmektedir.

Seçicilik: Gereksiz açtırma yapmaması gerekmektedir. Yani arızalı bölgenin dışındaki bölgeler gereksiz şekilde enerjisiz bırakılmamalıdır.

Hız: Arıza nedeniyle sistemin en az şekilde zarar görmesi için koruma sistemi hızlı çalışmalıdır. Zira arıza akımı ne kadar süre devrede olursa o kadar zarar verecektir.

Ekonomiklik: En uygun koruma en uygun fiyata sağlanmalıdır.

Basitlik: En az ekipmanla en efektif koruma sağlanmalıdır [14].

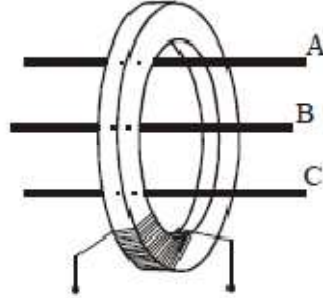
Tez çalışmasında üzerinde durulan arıza faz toprak arızasıdır. Dolayısı ile bu arızaya karşı standart koruma sistemlerinin yanısıra son yıllarda geliştirilen sayısal mikroişlemcili röleler sayesinde düşük akım değerine sahip arızalarda koruma röleleri tarafından hissedilip arıza kısa süre içerisinde giderilebilir. Ancak bu durumda konvansiyonel akım trafoları yerine toroid akım trafoları tercih etmek zorunluluğu vardır. Özellikle kablo şebekesinin kullanıldığı orta gerilim koruma sistemlerinde artık reçineli akım trafolarının yerine toroid akım trafoları kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu sayede sistemde meydana gelebilecek güç artışında akım trafosunu değiştirmek yerine toroid akım trafolarında 5 A ile 1250 A arasında ayar yapma imkanı sağlayan rölelerin dip-switch ayarlarıyla bu revizyon kolaylıkla gerçekleştirilmektedir.

Bu bölümde koruma rölelerine genel bir bakış yapılacak özellikle generatör koruma rölelerinden bahsedilecektir. Ülkemizde kullanılan koruma rölelerinin bir kısmı akıma bağlı bir kısmı gerilime bağlı bazıları da akım ve gerilime bağlı olarak çalışmaktadırlar

4.2. Akıma Bağlı Koruma Röleleri

Orta gerilimde 3 fazlı dengeli sistemde 3 fazın akım ve gerilimlerinin büyüklükleri eşit, aralarındaki faz farkı 120° dir. Ancak dağıtım hattında faz toprak kısa devresi oluştuğunda arızalı fazın gerilimi 0, akımı da arıza akımı olur. Dolayısı ile dengesiz sistemde artık akımlar oluşur. Özellikle kablo şebekeleri için kullanılan 3 fazın

içinden geçtiği toroid akım trafosu ve sıfır bileşen röleleri sayesinde faz toprak kısa devrelerinde toprağa akan sıfır bileşen akımından faydalanılarak arıza giderilebilir [15].



Şekil 4.1: Toroid akım trafosu [15]

4.2.1. Aşırı akım koruması

Yapay nötr noktasının kullanıldığı sistemde, dahili arızaya karşın koruma akım sınırlamalı sigortalarla veya anma akım değerlerine göre seçilen aşırı akım cihazları ile sağlanır. Aşırı akım koruması dahili arızalar için kullanılır fakat başka bir devrede meydana gelen topraklama arızası süresince sargılarda dolaşan akıma göre çalışmaz. Aşırı akım koruma cihazı topraklama transformatörünün sürekli akımının %125'ini ve tablo 2'deki değerleri %50'sini geçmeyecek şekilde ayar yapılır.

Tablo 4.1: Suni nötr noktası için kullanılan sigorta anma akım değerleri [11]

Suni nötr noktasının anma akım değeri	Sigorta anma akımı
1 A	0,5 A
2 A	1,0 A
5 A	3,0 A
10 A	5,0 A

Yeterli kısa devre koruması için eş zamanlı olarak monofaze sigorta yerine tüm topraklanmamış iletkenlerin enerjisini kesebilen aşırı akım koruma cihazının kullanılması daha uygundur. Şimdilik yeteri kadar akım aralığında ayar yapabilen uygun bir alçak gerilim cihazlarının olmayışı ve aynı zamanda orta gerilim cihazlarının da yüksek maliyetli olması da bu konuda bir engel teşkil etmektedir.

Eğer arzu edilirse, yardımcı röle vasıtasıyla alçak gerilim sistemlerinde kullanılan akım koruyucu sigortalar, mekanik devre kesicileri veya 3 fazlı kontaktörlerin bobininin bıraktığı izlenilebilir. Faz toprak kısa devresinde bir fazın gerilimi sıfır olacağı için alçak gerilimde kullanılan ve gerilimin varlığına göre çalışan koruma ekipmanları sayesinde hem koruma yapılır hemde arızanın varlığı tespit edilebilir. Kısa süreli anma akımlı nötr topraklama dirençleri aşırı akım röleleri vasıtasıyla korunabilir.

4.3. Faz Toprak Arızası için Kullanılan Koruma Röleleri

4.3.1. Yönlü koruma rölesi

Bu koruma rölesi aşırı akımın akım yönünün belirlenmesi prensibine göre çalışır. Aslında yönlü aşırı akım röleleri için belirtilen akımın yönünden kasıt aktif gücün işaretidir. Buda akım ile gerilim arasındaki Φ_{sc} açısıdır.

4.3.2. Diferansiyel koruma rölesi

Diferansiyel kelime olarak fark demektir. Diferansiyel koruma röleleri de, normalde akım geçmeyen röle devresinden arıza sonucu oluşan fark akımlarının geçmesi ve bunu algılaması prensibine göre çalışırlar. Havai hatların, kabloların, trafoların ve generatörlerin faz sargıları arasında bir izolasyon arızası sonucu meydana gelen kısa devreler en iyi diferansiyel röle tarafından algılanır ve koruma sağlanır. Diferansiyel koruma röleleri çalışma hızı, uygulamadaki basitliği ve yüksek hassasiyet akımından en etkili rölelerin içindedir. Diferansiyel koruma röleleri genellikle fiber optik veya çok kanallı kablolar ile birlikte kullanılır. Genelde kısa hatlar için önerilir. Paralel iletim hatları iletim sisteminde çok kullanılmaktadır ve koruma rölesi olarak aşırı akım, mesafe ve diferansiyel koruma röleleri kullanılır. Aşırı akım ve mesafe rölelerinde haberleşmeye ihtiyaç duyulmamasına rağmen zaman geçikmeli çalışırlar. Ancak diferansiyel koruma rölesi haberleşmeye ihtiyaç duyar ancak zaman geçikmesine gerek duymadan arızayı görür görmez sistemi açar [14].

4.3.3. Mesafe koruma rölesi

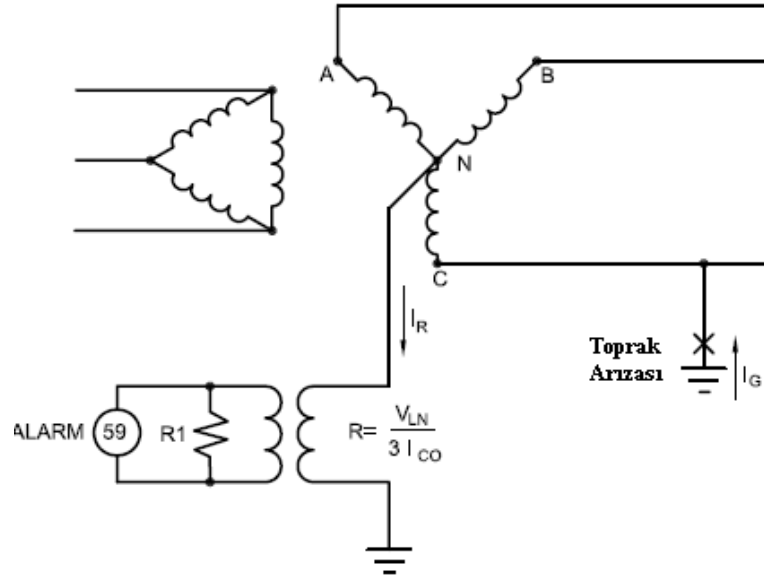
Orta gerilim şebekelerinin, faz arası arızalara karşı korunmasını temin eden aşırı akım rölelerinin yerini, mesafe röleleri almağa başlamıştır. Bunun sebebi, faz tipi mesafe rölelerinin koruma bakımından gösterdiği üstünlüktür. Çünkü, faz tipi mesafe

röleleri yük şartlarına bağlı olmaksızın herhangi bir röleden daha iyi, daha hassas, süratli ve sistem değişikliklerine bağlı olmayarak tesbit edilen bir mesafe içinde korumayı temin eder.

Mesafe koruma röleleri diferansiyel koruma kadar olmasa bile, diferansiyel koruma rölelerinden sonra en hızlı çalışan rölelerdir. Mesafe koruma rölelerinin çalışması, normal sistem gerilimi ile frenlendiği için, normal yük akımı ile arıza akımını ayırdedebilir ve aşırı akım rölelerinin hissetmeyeceği kadar küçük arızalarda bile çalışabilirler. Genel olarak şebekelerde vukuu bulan arızaların büyük bir kısmı toprak arızası olduğu halde, toprak mesafe tipi rölelerin, faz mesafe tipi rölelerden çok daha az kullanılmasının sebebi sık sık sorulmaktadır. Bu soruya şu şekilde cevap verilebilir: Normal işletmede toprak rölelerinden geçen akım sıfır olduğundan ve çalıştırma akımı yük akımına bağlı olmadığından iyi bir koordinasyon yapıldığı takdirde bu rölelerin yanlış çalışma ihtimali çok azdır. Ayrıca bazı sistemlerde toprak arızaları yükü bir dereceye kadar bozmazlar. Bundan başka, birçok noktalardan beslenen sistemlerde faz arası arızalara karşı koruma sistemi tesis etmek çok güçtür. Bu bakımdan, orta gerilim şebekelerinde de mesafe tipi rölelerin kullanılması tavsiye edilmektedir.

Mesafe koruma, hattın sağlıklı çalışma koşullarındaki empedansı ile arıza durumundaki empedansın birbirinden farklı olması gerçeğine dayalı olarak çalışır. Bu nedenle empedans koruma olarak da adlandırılır. Uzun havai hatlarda hattın reaktans değerine göre çalışır. Arıza anında sistemin reaktansı değişmesi özelliğinden faydalanılır. Özellikle Güney Afrika'da ring şebekelerde yönlü koruma rölesi kullanılıyor, ancak radyal şebekelerde yönlü koruma rölesi değil, bazen diferansiyel, bazende empedans rölesi kullanıyor. O.G. şebekesinde nötr noktası için topraklama direnci kullanılıyor ve arıza akımı 360 A'e sınırlandırılıyor.

4.3.4. Aşırı gerilim rölesi



Şekil 4.2: Yüksek dirençli topraklanmış sistemde faz toprak arızasının tespiti [9]

Özellikle yüksek dirençli nötr topraklama sisteminde kullanılır zira yüksek dirençli topraklamada oluşan faz toprak arıza akım çok düşük olduğu için koruma rölelerinin algılamasında sıkıntılar yaşanabilir. Bu yüzden dengeli durumda transformatörün nötrü sıfır potansiyelindedir. Ne zamanki faz toprak kısa devresi oluştu bu andan itibaren nötr noktasının gerilimi faz nötr gerilimine ulaşır. Dolayısı ile nötr noktasına tesis edilecek bir indirici trafo sayesinde sekonder taraftaki direnç üzerindeki gerilim yaklaşık 100 V civarında ölçülür. İndirici trafonun sekonder tarafına yerleştirilen gerilim trafosuna bağlı gerilim rölesi (koruma kodu 59) 25-30 V ve zaman geçikmesi 5 s olarak ayarlanır. Faz toprak arızasında gerilim rölesi arızayı hisseder ve kesiciye açtırma verir [9].

4.4. Generatör Koruma Röleleri

Generatörü şebekeyle paralel çalışmaya geçirirken öncelikle senkronizasyon göz önünde tutulur ve kesinlikle manuel kontrol edilmez otomatik senkronlayıcılar kullanılır. Buna ek olarak senkronlama kontrol rölesi kullanılır. Bu röle güç kesicisinin her iki tarafındaki gerilimlerin arasındaki faz farkını izler, bu açı belli bir değerin altına düşmedikçe güç kesicisinin kapanmasına izin vermez. Bu röle senkronlama sistemi ile karıştırılmamalıdır [14].

4.4.1. Düşük/ aşırı frekans koruma röleleri

Yerel güç sistemlerini düşük ve aşırı frekans koşullarına karşı korumak için kullanılır. Özellikle generatörün şebekeden bağımsız çalışması durumunda sistem frekansının normal çalışma sınırları dışına çıktığını algılamak için gereklidir [14].

4.4.2. Düşük/ aşırı gerilim koruma röleleri

Şebeke geriliminin standartların dışına çıkması durumunda generatörü korumak için kullanılır. Generatörün ada modunda çalışması durumunda frekans rölesi ile birlikte müşterilere verilen gücün kalitesinin standartlar dışına çıkması durumunu algılayarak generatörü devreden çıkarır [14].

4.4.3. Ters güç rölesi

Herhangi bir türbin arızasında veya türbini tahrik eden gücün kesilmesi durumunda generatör türbini yük olarak sürmeye başlar ve bunun için gerekli gücü şebekeden çekmeye başlar. Ters güç rölesi bu durumu algılayıp generatörü devreden çıkarır [14].

4.4.4. Diferansiyel koruma rölesi

Generatör veya generatör trafo grubunun faz sargılarında oluşacak arızalara karşı korumak için en selektif koruma şekli diferansiyel korumadır. Eğer santral generatörden oluşuyorsa generatör sargılarını, generatör trafo grubundan oluşuyorsa hem generatör hem de tarfo sargılarını koruyacak şekilde diferansiyel röle bağlantısı yapılır [14].

4.4.5. Negatif bileşen aşırı akım rölesi

Sistemde zuhur eden bir dengesizlik durumunda oluşan negatif bileşen akımının genliğini izler. Söz konusu akımın genliği belli bir değerin üzerine çıktığında bir dengesizlik arızasının veya sistemde aşırı bir dengesiz yüklenme olduğunu gösterir. Böyle bir durumda genartörü devreden çıkarır [14].

4.4.6. Rotor toprak arıza rölesi

Büyük güçlü generatörlerin rotor sargılarının korunması için gerekli koruma fonksiyonlarından biridir. Bu iş için akım enjeksiyon yöntemi kullanılabilir [14].

4.4.7. Alan kaybı ve kutup kayması rölesi

Uyarma alanı kaybı ve kutup kayması arızaları sistem kararlılığını doğrudan etkileyen arıza çeşitleridir. Özellikle orta be büyük güçlü satrallerde bu arızalara karşı koruma yapmak son derece gereklidir. Bu iş için genellikle empedans rölesi kullanılır [14].

4.5. Şebekeyle paralel çalışan generatörler için kullanılan toprak arıza koruması ve tek kutuplu çalışan kesicinin çalışma prensibi

Şebekeyle paralel çalışan generatörler için mevcut şebekenin toprağına ilaveten nötr topraklama noktası gerekebilir ve bu yolla mevcut olan sorunlar modern koruma röleleri kullanılarak üstesinden gelinebilir.

Güç sistemleri sistem gerilimi için referans noktası oluşturmak, toprak arızasının varlığını farkedip yerini tespit etmek ve geçici durumlarda (Yıldırım, anahtarlama anlarında, toprak arızalarında vb.) oluşabilecek aşırı gerilimleri sınırlamak için topraklanırlar. Yurt dışında orta gerilim dağıtımında direnç üzerinden nötr topraklaması felsefesi kullanılmaktadır. Y.G./O.G. güç trafolarının sekonder sargıları üçgen bağlı olduğu için zig zag bağlantı (topraklama trafosu gibi kullanarak) ve nötr topraklama direnci (NER) kullanılarak nötr topraklama kompensatörü (NEC) ile suni nötr noktası oluşturulabilir. Özellikle Güney Afrika'da çok geniş uygulama alanına sahip olan nötr topraklama direncinin değeri kırsal bölgelerde havai hat şebekelerinde oluşabilecek toprak arıza akımını 360 A'e sınırlamak için ve kentsel bölgelerde de kablo şebekelerinde oluşabilecek toprak arıza akımını 800 A'e kadar sınırlamak için uygun hesap yöntemiyle belirlenmektedir. Pratikte paralel iki trafodan beslenen bir şebekede oluşabilecek toprak arıza akımı kentsel bölgelerde 1600 A'e, kırsal bölgelerde de 720 A'e sınırlandırılır. O.G. radyal şebekelerde toprak arıza akımına karşı tesis edilen nötr topraklama direnci yalnızca ana merkezde kullanılır ve her iki kol için ortak kullanılır. O.G. dağıtım tesisine bir veya daha fazla generatörün bağlanması generatörün veya genaratör transformatorünün nötr topraklamasıyla ilgili sorunlar ortaya çıkar [16].

Orta gerilim şebekesinde; aşağıdaki açıkladığımız problemlerin oluşmaması için generatör transformatorünün O.G. nötr noktasının farklı topraklama yöntemleriyle topraklanmaması önerilmektedir.

- ✚ Şebekedeki kaynağın sıfır faz bileşen akımlarının (ZPS) toplamı toprak arıza koruma rölelerinin veya seçici toprak arıza (SEF) koruma rölelerinin kullanılmasını gerekli kılar. Yaygın olarak pasif şebekelerde akım yönü değişmediği için yönlü korumanın dışındaki koruma sistemleri kullanılır.
- ✚ Tüm toprak arıza akımlarının artmasına rağmen, akım kaynakların sıfır bileşen akımları arasında paylaşılır bu durum bazı rölelerin toprak arıza akımlarını görmemesine neden olur.
- ✚ Birçok nötr topraklama noktasının olması sıfır bileşen akımlarının dolaşmasına neden olur bu da 3 ve 3'ün katı harmoniklerin (3., 6., 9. vb) oluşmasına neden olur. Hattın empedansı ile uyum sağlamayan sıfır bileşen(50 Hz) akımları farklı nötrlerde dolaşır. Bu O.G.'de kullanılan toprak arıza korumasında çok can sıkıcı problemlerin oluşmasına neden olur.

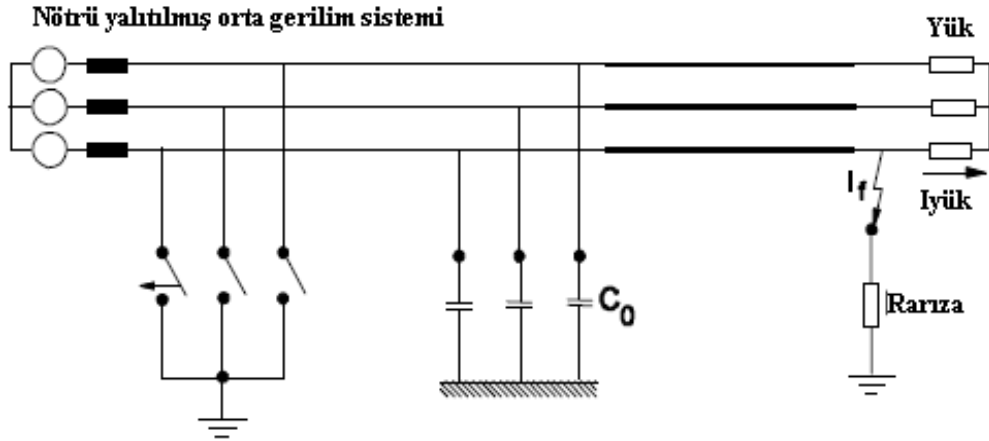
O.G.'de nötr topraklamasının olmayışı şebekeye bağlı generatörlerin faz toprak arızasında ada modunda çalışmasına neden olur. Bunu engellemek için nötrü yalıtılmış sistemlerde veya peterson bobini ile nötrü topraklanmış sistemlerde faz toprak arızasına karşın nötr topraklama sisteminde anahtarlama yaptırılır [15].

O.G. sisteminde nötrü yalıtılmış sistemin veya peterson bobini üzerinden topraklanmış sistemin kullanılmasının en önemli avantajı uzun bir periyotta sistemin arızadan olumsuz etkilenmeyip sürekliliğinin sağlanmasıdır. Aynı zamanda bu iki sistemin kusurlarında şu şekilde sıralanabilir;

- ✚ 100 A'ın üzerindeki faz toprak arızasında kritik dokunma veya adım gerilimi oluşma ihtimali.
- ✚ Çift faz toprak arızası esnasında oluşan aşırı gerilimler arıza noktasında arka neden olur.
- ✚ Sağlam fazlar için kullanılan kablolarında zarar görme riski vardır.

Bu kusurlar tek kutuplu çalışan topraklama kesicisi ile ortadan kaldırılabilir. Bir faz toprak arızası oluştuğunda arızalı faz doğru bir şekilde tespit edilip tek kutuplu kesici o fazı toprakla irtibatlandırıp aşırı gerilimlerin oluşmasını engeller taaki gelişmiş röle

koordinasyonu sayesinde arıza belli bir bölgeye sıkıştırılıp sistemden izole edilene kadar [14].



Şekil 4.3: Tek kutuplu çalışan topraklama kesicinin O.G. sisteminde kullanımı [12]

Topraklama kesicisinin kapanmasıyla arıza noktasında arıza akımı, dokunma ve adım gerilimi oluşmaz, sağlam fazlara bir gerilim atlaması olmaz, sadece geçici akımlar akar. Aynı zamanda sistemde oluşan faz toprak arızası kullanılan kontrol ünitesi sayesinde kolayca tespit edilip operatör bilgilendirilebilir.



Şekil 4.4: Tek kutuplu çalışan topraklama kesicisi [12]



Şekil 4.5: Tek kutuplu kesici kontrol ünitesi [12]

Tek kutuplu çalışan topraklama kesicisi faz toprak arızası esnasında koruma sistemleri tarafından arıza giderilene kadar arızanın sisteme en az zarar verecek şekilde atlatılması amacıyla topraklanmamış sistemden topraklanmış sisteme geçiş yapılmasında kullanılır [12].

5. ŞEBEKEYLE PARALEL ÇALIŞAN GENERATÖRLER İÇİN KULLANILAN TOPRAK ARIZA KORUMASI VE UYGULAMASI

5.1. Giriş

Orta ve yüksek gerilim şebekelerinde farklı topraklama yöntemlerinin kullanılması sistemde sıfır bileşen akımlarının dolaşmasını neden olur. Bunun için toprak arıza seviyeleri ve ortak koruma yöntemlerinden bahsedilir. Şebekenin yıldız noktasının topraklanması 1 faz-toprak arızalarında veya 2 faz-toprak arızasında toprağa akan kısa devre akımını değerini değiştirir. Bu yüzden bir sistemin tasarımı yapılırken bu husus dikkate alınmalıdır.

Bu bölümde tasarlanmış olan örnek bir şebekenin DIgSILENT programında faz toprak kısa devre analizi yapılacaktır. 380 kV'luk şebekede şebeke tarafındaki indirici trafonun yıldız noktasının topraklanmasının faz toprak kısa devre akımı üzerindeki etkisi hem kısa devre hesap yöntemleri ile sayısal olarak ortaya konacaktır ayrıca ortaya çıkan kısa devre akımlarının bazılarında kısa devrenin başlangıcından kararlı hale geçene kadar ki salınımı grafik olarak gösterilecektir.

Burada amaç ülkemizde standart olarak kullanılan nötr topraklama sistemlerimiz acaba efektif mi yoksa değil mi? Yurtdışında tercih edilen topraklama sistemlerinin ne gibi üstünlükleri var bu konulara bilgisayar programı ile elde edilen sonuçlar üzerinden değinilecektir. Ayrıca gerçekleştirilen her senaryo için kullanılması gereken koruma sistemi kullanılması gereken röle çeşitleri belirtilecek şekilde orta konulacaktır.

5.2. Digsilent Programı Kullanılarak Örnek Bir Şebekenin Simülasyonu ve Sonuçların Değerlendirilmesi

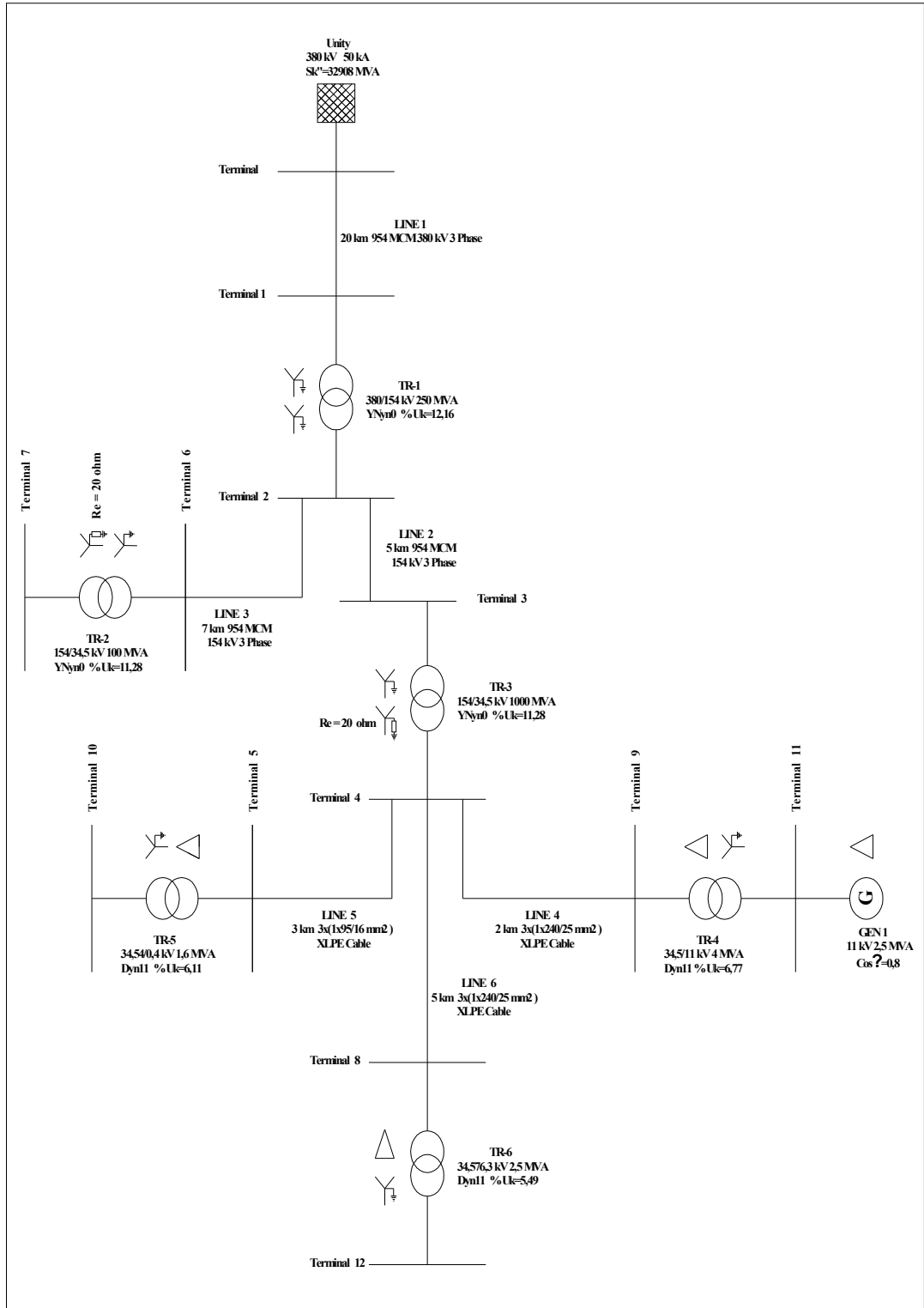
Simülasyonu gerçekleştirilecek olan sistemin tek hat şeması Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Bu tek hat şemasında paralel çalışan bir generatörün şebekenin herhangi bir bölümünde meydana gelen faz toprak arızasından ne şekilde etkilendiğiyle ilgili örnek bir uygulama ile açıklamaya çalışılacaktır.

Yapılan simülasyonlar neticesinde en kötü senaryo ile en iyi senaryolar belirlenecek ve bu senaryolar simülasyon programında uygulanarak sistemin buna verdiği cevaplar incelenecektir. Bunu yaparken TR-3, TR-4, TR-5, TR-6 ve Generatöre göre olmak üzere 5 farklı komponentin topraklama bağlantıları değiştirilerek 14 ayrı senaryo gerçekleştirilecektir. Her bir senaryo için simülasyon gerçekleştirilecek ve çıkan sonuçlar değerlendirilerek gerekli çözüm yöntemleri sunulacaktır.

Şekil 5.1’de tek hat şemasında verilen örnek sisteme ait ekipmanların teknik özellikleri Tablo 5.1’de özetlenmiştir. Ekler’de de en iyi ve en kötü senaryolara ait sonuçları ve faz toprak kısa devre akımının salınımı gösterilecektir.

Tek hat şemasında gösterilen şebekeye bakacak olursak; Şebekemiz 380 kV’luk, kısa devre akımı $I_k = 50$ kA ve kısa devre gücü $S_k = 32.908$ MVA’dır. Şebekeden 20 km’lik 954 MCM havai hatla elektrik enerjisi indirici trafo merkezine taşınmaktadır. İndirici trafo merkezinde 250 MVA, 380/154 kV TR-1 oto transformatörü kullanılmaktadır. Oto transformatörün bağlantı grubu YN-yn’dır. Buradan da 2 ad. 154/34,5 kV çevirme oranına sahip, 100 MVA gücünde, bağlantı grubu YN-yn olan güç trafoları mevcuttur. Bu iki transformatörlerden TR-2’nin 154 kV tarafından ve TR-3’ün 34,5 kV tarafından yıldız noktası 20Ω ’luk direnç üzerinden topraklanmıştır. Oto transformatörün 154 kV çıkış barasından; 7 km’lik 954 MCM hat ile TR-2 ve 5 km’lik 954 MCM hat ile TR-3 transformatörleri beslenmektedir. TR-3’den beslenen veya enerji tedarik edilen orta gerilim müşterilerine veya üreticilerine bakacak olursak; TR-3’ün çıkış barasından itibaren paralel döşenmiş 3 ad. 3 km’lik $1 \times 95/16$ mm² XLPE kablo ile 34/0,4 kV, 1,6 MVA’lık TR-5 dağıtım transformatörü, yine aynı baradan çıkış alınarak paralel döşenmiş 3 ad. 5 km’lik $1 \times 240/25$ mm² XLPE kablo ile 34/6,3 kV, 2,5 MVA’lık TR-6 dağıtım transformatörü beslenmektedir ve son olarak 2,5 MVA gücünde 11 kV’luk senkron generatörün ürettiği elektrik enerjisi 34,5/11 kV, 4 MVA’lık TR-4 yükseltici transformatör ve yükseltici transformatörün yüksek gerilim tarafından itibaren paralel döşenmiş 3 ad. 2 km’lik $1 \times 240/25$ mm² XLPE kablo ile şebeke ve generatörün paralel çalışma imkanı sağlanmıştır.

Simülasyon yapılırken sistemde sadece statik yüklerin mevcut olduğu, motor gibi dinamik yüklerin bağlı olmadığı göz önüne alınmıştır.



Şekil 5.1: Simülasyonda kullanılacak şebekenin tek hat şeması

Tablo 5.1: Sistemde kullanılan ekipmanların teknik özellikler

Birimler	Veriler	Z(1) = Z(2)	Z(0)
Şebeke	U=380 kV, SkQ=32908 MVA RQ= 0,1 XQ, XQ=0,995.ZQ		
Trafo 1	380/154 kV, ST1=250 MVA %uk=12,16 %uR=0,1 RN=20 Ω Dyn	R1=R2=0,0230 ohms pu X1=X2=0,1149 ohms pu	R0=0,0230 ohms pu X0=0,1149 ohms pu
Trafo 2	154/34,5 kV, ST1=100 MVA %uk=11,28 %uR=0,058 RN=20 Ω Dyn	R1=R2=0,0230 ohms pu X1=X2=0,1149 ohms pu	R0=0,0230 ohms pu X0=0,1149 ohms pu
Trafo 3	154/34,5 kV, ST1=100 MVA %uk=11,28 %uR=0,058 RN=20 Ω Dyn	R1=R2=0,0230 ohms pu X1=X2=0,1149 ohms pu	R0=0,0230 ohms pu X0=0,1149 ohms pu
Trafo 4	34,5/11 kV, ST4=4 MVA %uk=6,77 %uR=0,714 RN=20 Ω Dyn	R1=R2=0,0041 ohms pu X1=X2=0,0205 ohms pu	R0=0,0041 ohms pu X0=0,0205 ohms pu
Trafo 5	34,5/6,3 kV, ST5=2,5 MVA %uk=5,49 %uR=0,877 RN=20 Ω Dyn	R1=R2=0,0026 ohms pu X1=X2=0,0128 ohms pu	R0=0,0026 ohms pu X0=0,0128 ohms pu
Trafo 6	34,5/0,4 kV, ST6=1,6 MVA %uk=6,11 %uR=0,089 RN=20 Ω Dyn	R1=R2=0,0016 ohms pu X1=X2=0,0082 ohms pu	R0=0,0016 ohms pu X0=0,0082 ohms pu
Generatör	11 kV, ST1=2,5 MVA %Xd=1,917 %X(0)=0,106 Cosθ=0,8	X(2)=0,264 r(2)=0,0301	X(0)=0,106 r(0)=0,01366
Hat 1	380 kV 954 MCM 20 km r1,2=0,02089 Ω/km, x1,2=0,26599 Ω/km r0=0,30299 Ω/km, x0=0,991002 Ω/km	0,418+j5,320	6,060+j19,820
Hat 2	154 kV 954 MCM 5 km r1,2=0,062135 Ω/km, x1,2=0,38111 Ω/km r0=0,31813 Ω/km, x0=1,1395371 Ω/km	0,3107 +j1,9056	1,5907+j5,6977
Hat 3	154 kV 954 MCM 7 km r1,2=0,062135 Ω/km, x1,2=0,38111 Ω/km r0=0,31813 Ω/km, x0=1,1395371 Ω/km	0,4349+j2,6678	2,2269+j7,9768
Hat 4	3x(1x240/25) mm2 YE3SV=2km X=0,1783 Ω/km R=0,0754 Ω/km X(1,2)=0,2030 Ω/km R(1,2)=0,0754 Ω/km X(0)=0,6863 Ω/km R(0)=0,0754 Ω/km	0,1508 +j0,406	0,1508+j1,3726
Hat 5	3x(1x95/16) mm2 YE3SV=3km X=0,1972 Ω/km R=0,1934 Ω/km X(1,2)=0,3137 Ω/km R(1,2)=0,193 Ω/km X(0)=1,0577 Ω/km R(0)=0,193 Ω/km	0,579 +j0,9471	0,579+j3,1731
Hat 6	3x(1x240/25) mm2 YE3SV=5km X=0,1783 Ω/km R=0,0754 Ω/km X(1,2)=0,2030 Ω/km R(1,2)=0,0754 Ω/km X(0)=0,6863 Ω/km R(0)=0,0754 Ω/km	0,377 +j1,015	0,377+j3,4315

Simulasyonda uygulaması yapıp sonuçlarıyla ilgili yorum yapılacak 14 farklı durum oluşturularak bunları gösteren 14 farklı tek hat şeması çizilmiş ve tek hat şemasında 3, 4, 5, 6, 8, 9 ve 11 nolu terminallerde faz toprak kısa devre arızası oluşturularak simülasyon gerçekleştirilmiştir.

1. durumda şekil 5.2'de gösterilen tek hat şemasındaki bağlantı şekilleri alınmıştır. Terminal 3, 9, 11, 8, 4, 5, 6 noktalarında faz toprak arızası gerçekleştirilmiş ve simülasyon sonucunda çıkan değerler Tablo 5.2'de gösterilmiştir. 4. Nolu terminalde en yüksek faz toprak kısa devre akımı oluşmuştur. Direkt topraklı sistemde aşırı gerilim tehlikesi yoktur ancak kısa devre akımı çok yüksek değerlere ulaşabilir. Örneğin TR-3'ün sekonder yıldız noktası direkt topraklı olduğu durumda Terminal 4'de oluşan faz toprak kısa devre akımı 9,268 kA'e kadar yükselmektedir.

2. durumda TR-3'ün sekonder tarafına 5 Ω 'luk direnç eklenerek simülasyon gerçekleştirilmiş, buna ait tek hat şeması Şekil 5.3'de verilmiş ve çıkan sonuçlar Tablo 5.2'de gösterilmiştir. Direnç üzerinden topraklanmış sistemde faz toprak arıza akımının büyüklüğü topraklama direncinin omik değeri ile ters orantılıdır. Buna göre direkt topraklı sistemdeki kısa devre akımı 9,268 kA Terminal 4'ün bu durumdaki kısa devre akımı 3,612 kA olmuştur. Direnç sayesinde bir potansiyel fark oluşturulup. Potansiyel farkdan ötürü akım azalmıştır.

3. durumda TR-3'ün sekonder tarafına 20 Ω 'luk direnç eklenerek simülasyon gerçekleştirilmiş, buna ait tek hat şeması Şekil 5.4'de verilmiş ve çıkan sonuçlar Tablo 5.2'de gösterilmiştir. Direnci etkisiyle kısa devre akımı daha da azalmıştır..

4. durumda TR-3'ün sekonder tarafına 100 Ω 'luk direnç eklenerek simülasyon gerçekleştirilmiş, buna ait tek hat şeması Şekil 5.5'de verilmiş ve çıkan sonuçlar Tablo 5.2'de gösterilmiştir. Artık 100 Ω 'luk direncin etkisiyle faz toprak kısa devre akımı Terminal 4 için 0,199 kA'dir. Bu en iyi durumdur ve 2,3 ve 4 nolu drumlar için en yüksek kısa devre akımı 5,389 kA ile Terminal 3'de oluşmuştur.

5. durumda TR-4'ün bağlantı şekli Dd olarak alınmış ve aynı zamanda arıza noktaları için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Buna ait tek hat şeması Şekil 5.6'de verilmiş ve çıkan sonuçlar Tablo 5.3'de gösterilmiştir. Terminal 4 ve 9'da oluşan kısa devreler sırasıyla 0,986 kA ve 0,975 kA'dir. Bu durum TR-4'ün primer tarafında sıfır

bileşen akımlarının oluşmadığını yani toprakla yıldız noktası arasında bir akım akışının olmadığını gösterir.

6. durumda TR-4'ün bağlantı şekli Dyn olarak alınmış ve aynı zamanda arıza noktaları için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Buna ait tek hat şeması Şekil 5.7'de verilmiş ve çıkan sonuçlar Tablo 5.3'de gösterilmiştir. Terminal 4 ve 9'da oluşan kısa devreler sırasıyla 0,986 kA ve 0,975 kA'dır. Bu durum TR-4'ün primer tarafında sıfır bileşen akımlarının oluşmadığını yani toprakla yıldız noktası arasında bir akım akışının olmadığını gösterir.

7. durumda TR-5'ün bağlantı şekli Dyn olarak alınmış ve aynı zamanda arıza noktaları için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Buna ait tek hat şeması Şekil 5.8'de verilmiş ve çıkan sonuçlar Tablo 5.4'de gösterilmiştir. TR-5 pasif bir devredir. Yani kaynak değildir dolayısı ile TR-5'in bağlantı şekli faz toprak kısa devre akımlarına etkisi olmaz.

8. durumda TR-5'ün bağlantı şekli Dd olarak alınmış ve aynı zamanda arıza noktaları için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Buna ait tek hat şeması Şekil 5.9'de verilmiş ve çıkan sonuçlar Tablo 5.4'de gösterilmiştir. TR-5 pasif bir devredir. Yani kaynak değildir dolayısı ile TR-5'in bağlantı şekli faz toprak kısa devre akımlarına etkisi olmaz.

9. durumda Generatörün bağlantı şekli Y olarak alınmış ve aynı zamanda arıza noktaları için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Buna ait tek hat şeması Şekil 5.10'da verilmiş ve çıkan sonuçlar Tablo 5.5'de gösterilmiştir. TR-4 Dyn bağlı olduğu için generatörün bağlantı şekli önemli değildir. Zira TR-4 Dyn bağlı olduğunda generatör ne bağlı olursa olsun Terminal 11'deki kısa devre akımı 0.312 kA'dır sadece generatör YN bağlı iken faz toprak kısa devre akımı 3,108 kA oluyor. Ancak TR-4 YNyn bağlı iken kısa devre akımı birden 1,305 kA'e düşüyor. Bunun sebebi eşdeğer empedansın değişimidir.

10. durumda Generatörün bağlantı şekli YN olarak alınmış ve aynı zamanda arıza noktaları için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Buna ait tek hat şeması Şekil 5.11'de verilmiş ve çıkan sonuçlar Tablo 5.5'de gösterilmiştir. TR-4 Dyn bağlı olduğu için generatörün bağlantı şekli önemli değildir. Zira TR-4 Dyn bağlı olduğunda generatör ne bağlı olursa olsun Terminal 11'deki kısa devre akımı 0.312

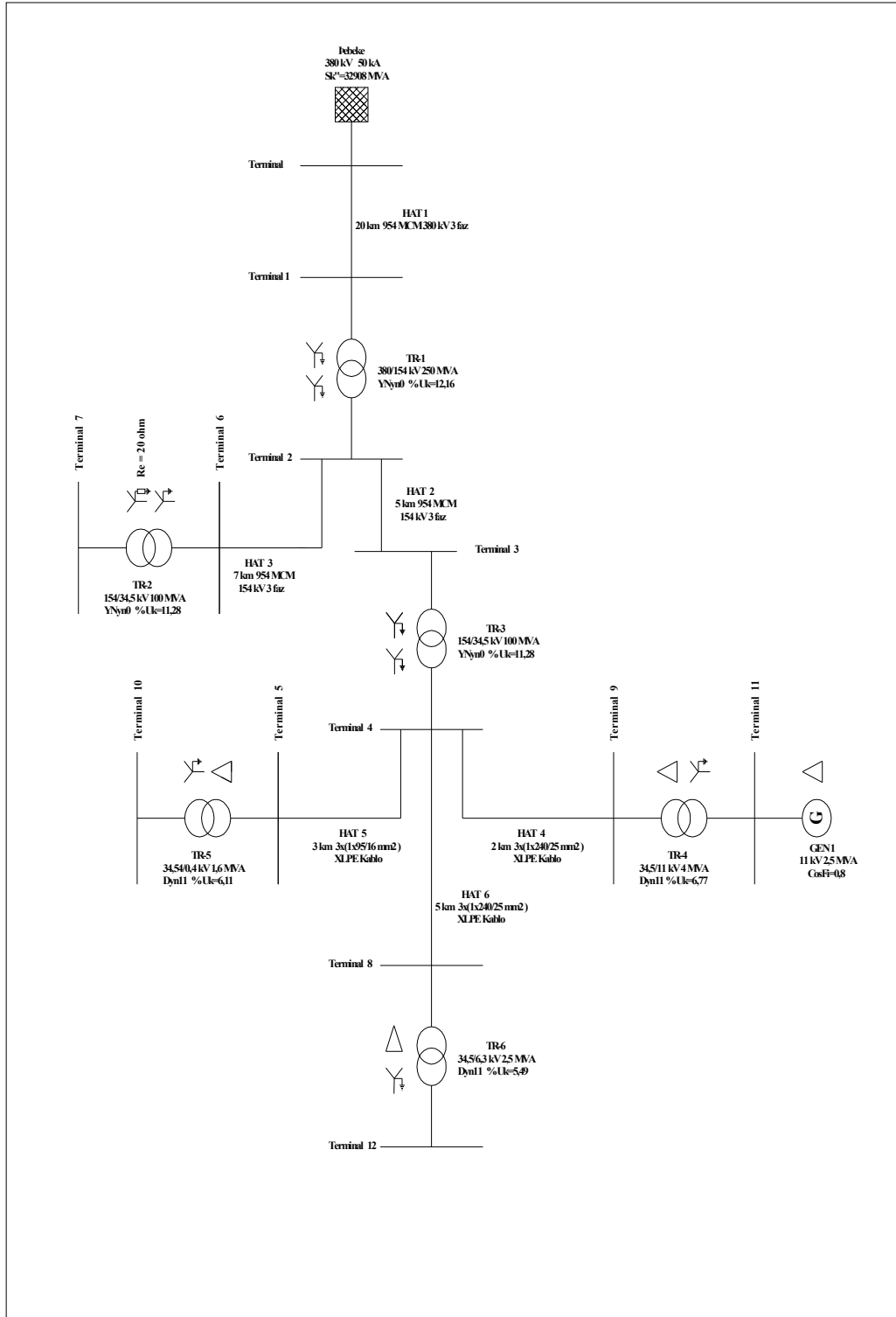
kA'dir sadece generatör YN bağlı iken faz toprak kısa devre akımı 3,108 kA oluyor. Ancak TR-4 YNyn bağlı iken kısa devre akımı birden 1,305 kA'e dūşüyor. Bunun sebebi empedansın değişimidir. Ancak simūlasyon daha derinlemesine incelendiğinde Terminal 11'deki kısa devre akımı sadece TR-4 nolu trafo YNd bağlı iken sıfırdır. Buda her iki yōnde akan akımların ayrı ayrı toplamları (pozitif + negatif akımlar) eřit ancak zıt yōnde olduğunu ve sıfır bileşen akımların akmadığını gōsteriyor.

11. durumda TR-3 YNyn bağlı iken yani sekonder tarafta direnç yok iken generatōrūn bağlantı şekli 10 nolu durumdaki gibi değiştirilmektedir. Buna ait tek hat şeması şekil 5.12'de verilmiş ve çıkan sonuçlar Tablo 5.5'de gōsterilmiřtir. Kısa devre akımının değerı doğal olarak artmıştır.

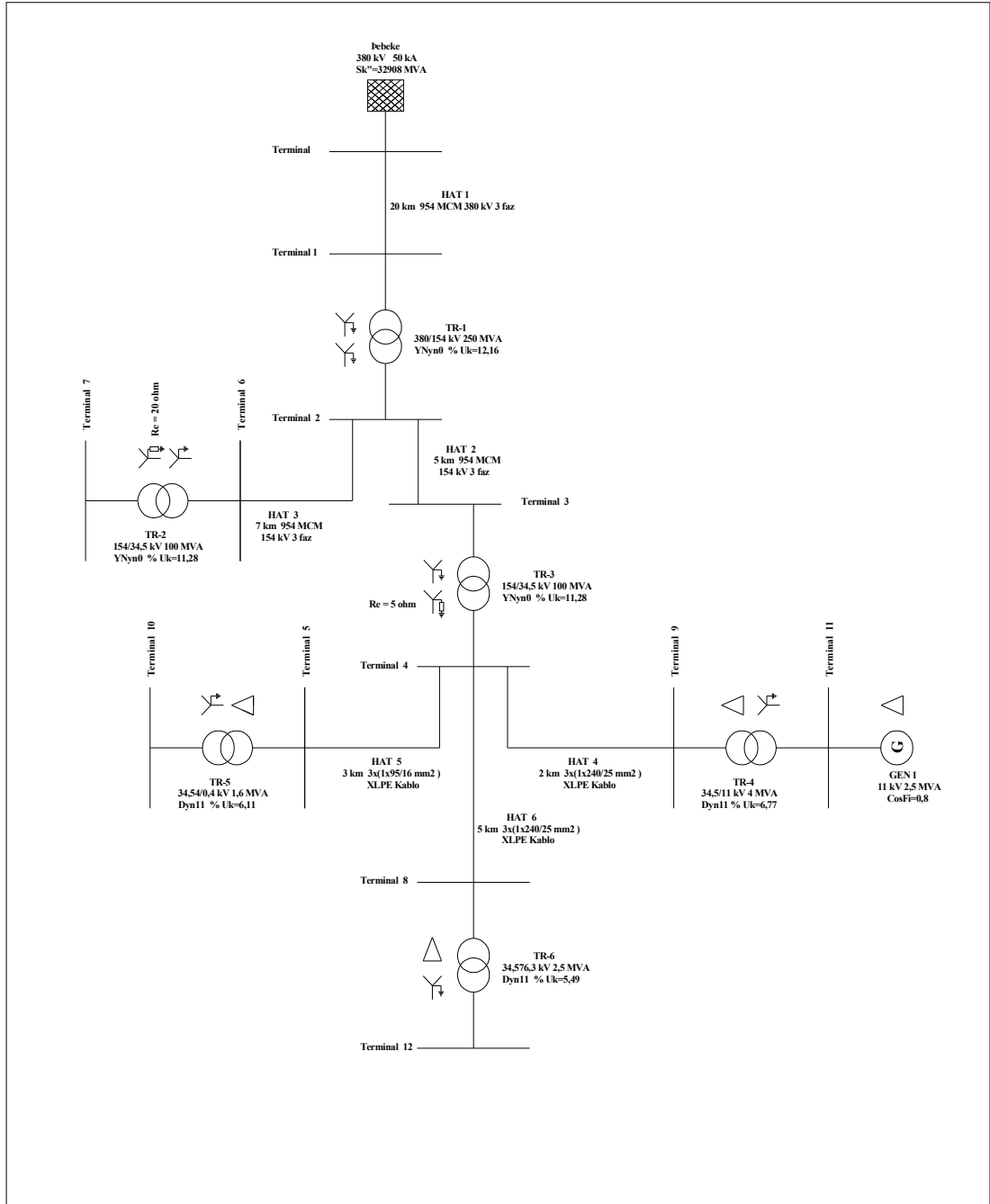
12. durumda TR-3 YNyn bağlı iken yani sekonder tarafta direnç yok iken generatōrūn bağlantı şekli 9 nolu durumdaki gibi değiştirilmektedir. Buna ait tek hat şeması şekil 5.13'de verilmiş ve çıkan sonuçlar Tablo 5.5'de gōsterilmiřtir. 12 durum sadece Terminal 11 için 11. durumdan farklıdır, diğer terminaller için aynı sonucu vermiştir. Bunun sebebi şebeke tarafından gelen kısa devre akımın artmasıdır.

13. durumda TR-6'ūn bağlantı şekli Dyn olarak alınmış ve aynı zamanda arıza noktaları için simūlasyonlar gerçekleştirilmiştir. Buna ait tek hat şeması şekil 5.14'de verilmiş ve çıkan sonuçlar Tablo 5.6'da gōsterilmiřtir. TR-6 pasif bir devredir. Yani kaynak değildir dolayısı ile TR-5'in bağlantı şekli faz toprak kısa devre akımlarına etkisi olmaz.

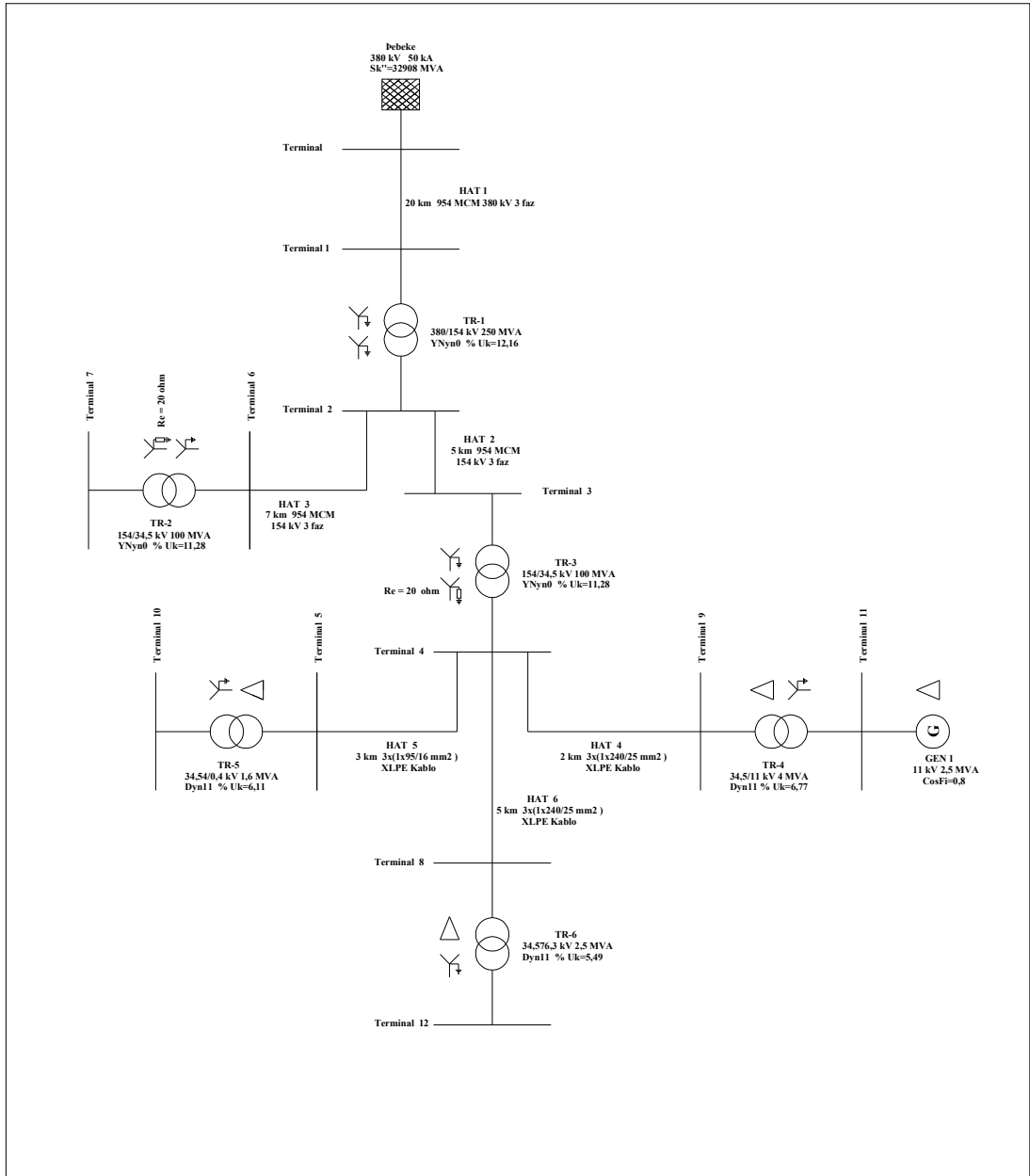
14. durumda TR-5'ūn bağlantı şekli Dd olarak alınmış ve aynı zamanda arıza noktaları için simūlasyonlar gerçekleştirilmiştir. Buna ait tek hat şeması şekil 5.15'de verilmiş ve çıkan sonuçlar Tablo 5.6'da gōsterilmiřtir. TR-6 pasif bir devredir. Yani kaynak değildir dolayısı ile TR-5'in bağlantı şekli faz toprak kısa devre akımlarına etkisi olmaz.



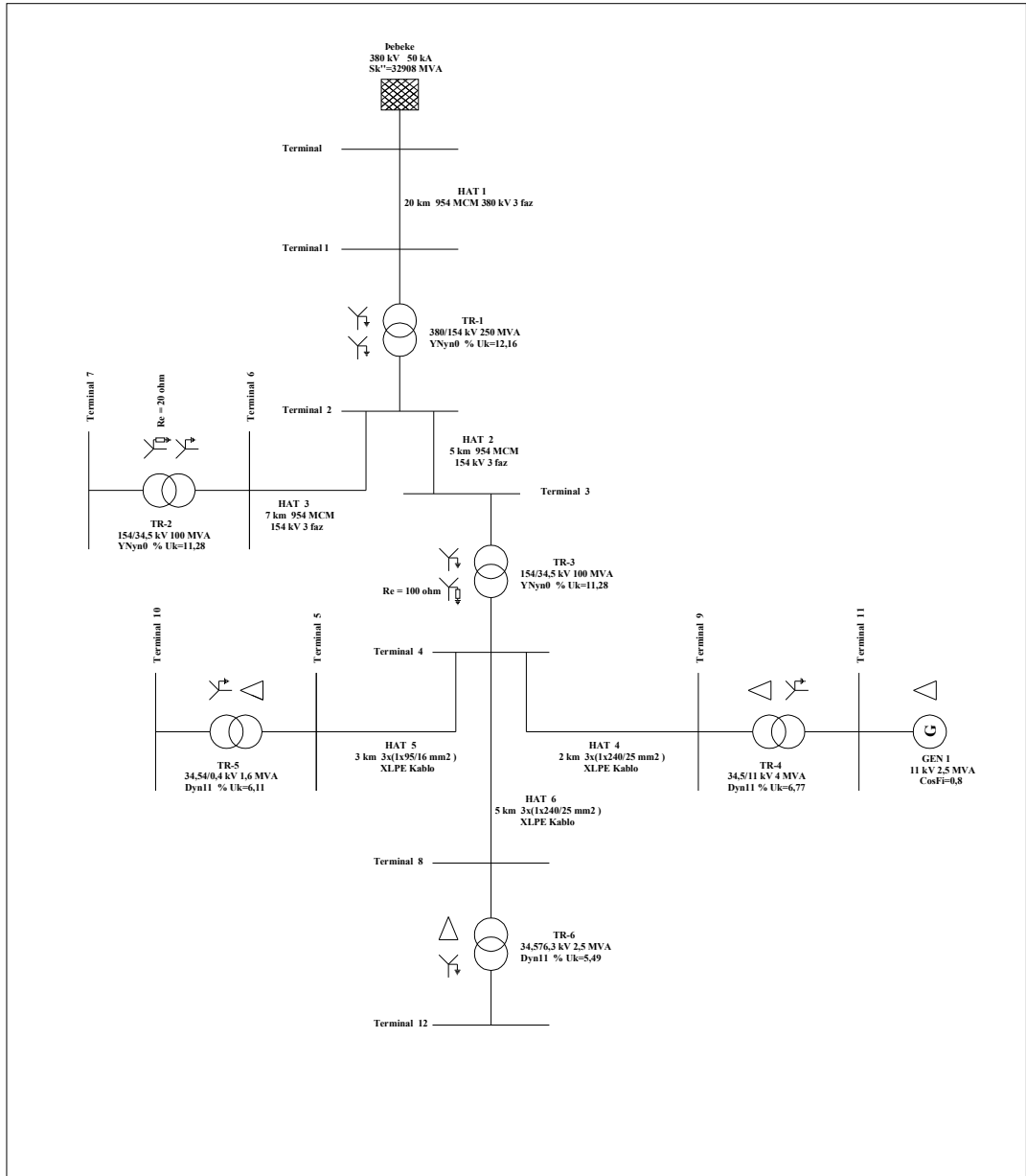
Şekil 5.2: 1. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması



Şekil 5.3: 2. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması



Şekil 5.4: 3. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması



Şekil 5.5: 4. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması

5.2.1. TR3'e göre faz toprak arızasının simülasyonu ve değerlendirilmesi

TR1:YN – YN, TR2:YN – YN (A.G tarafı $Re=20\Omega$), TR4:D – YN, TR5:D – YN, TR6:D – YN, Gen:D

Tablo 5.2.:TR3'e göre faz –toprak arızasının simülasyonu sonuçları

Durum	TR3 Bağ.	Arıza Noktası	Arıza Noktası kA	Şebekeden Gelen kA	Genetörden Gelen kA	Arızalı olmayan Fazların Faz-Nötr Gerilimleri (kV)
1. Durum	YN-YN	Term. 3	5,389 kA	5,364 kA	0,028 kA	B =92,90 -125,79° C = 95,61 124,83
2. Durum	YN-YN (LV side $Re=5\Omega$)	Term. 3	5,389 kA	5,364 kA	0,028 kA	B =92,90 -125,79° C = 95,61 124,83°
3. Durum	YN-YN (LV side $Re=20\Omega$)	Term. 3	5,389 kA	5,364 kA	0,028 kA	B =92,90 -125,79° C = 95,61 124,83°
4. Durum	YN-YN (LV side $Re=100\Omega$)	Term. 3	5,389 kA	5,364 kA	0,028 kA	B =92,90 -125,79° C = 95,61 124,83°
1. Durum	YN-YN	Term. 9	6,921 kA	6,867 kA	0,075 kA	B =21,57 -126,11° C = 21,34 127,28°
2. Durum	YN-YN (LV side $Re=5\Omega$)	Term. 9	3,339 kA	3,286 kA	0,060 kA	B =27,35 -157,44° C = 34,90 136,65°
3. Durum	YN-YN (LV side $Re=20\Omega$)	Term. 9	0,975 kA	0,935 kA	0,041 kA	B = 32,91 -152,83° C = 35,27 146,50°
4. Durum	YN-YN (LV side $Re=100\Omega$)	Term. 9	0,199 kA	0,164 kA	0,035 kA	B =34,22 -150,42° C = 34,70 149,49°
1. Durum	YN-YN	Term. 11	3,102 kA	2,879 kA	0,286 kA	B = 6,21 -86,96° C = 6,17 154,44°
2. Durum	YN-YN (LV side $Re=5\Omega$)	Term. 11	3,102 kA	2,879 kA	0,286 kA	B = 6,21 -86,96° C = 6,17 154,44°
3. Durum	YN-YN (LV side $Re=20\Omega$)	Term. 11	3,102 kA	2,879 kA	0,286 kA	B = 6,21 -86,96° C = 6,17 154,44°
4. Durum	YN-YN (LV side $Re=100\Omega$)	Term. 11	3,102 kA	2,879 kA	0,286 kA	B = 6,21 -86,96° C = 6,17 154,44°
1. Durum	YN-YN	Term. 8	4,987 kA	4,954 kA	0,057 kA	B = 22,79 -128,91° C = 22,09 130,89°
2. Durum	YN-YN (LV side $Re=5\Omega$)	Term. 8	2,952 kA	2,908 kA	0,053 kA	B =25,79 -155,36° C = 33,42 134,79°
3. Durum	YN-YN (LV side $Re=20\Omega$)	Term. 8	0,956 kA	0,918 kA	0,040 kA	B = 32,31 -153,25° C = 35,17 145,44°
4. Durum	YN-YN (LV side $Re=100\Omega$)	Term. 8	0,198 kA	0,164 kA	0,035 kA	B =34,10 -150,59° C = 34,71 149,24°

Tablo 5.2.:TR3'e göre faz –toprak arızasının simülasyon sonuçlarının devamı

Durum	TR3 Bağ.	Arıza Noktası	Arıza Noktası kA	Şebekeden Gelen kA	Genetörden Gelen kA	Arızalı olmayan Fazların Faz- Nötr Gerilimleri (kV)
1. Durum	YN-YN	Term. 6	4,969 kA	4,937 kA	0,021 kA	B = 94,10 -126,98° C = 97,08 125,82°
2. Durum	YN-YN (LV side Re=5 Ω)	Term. 6	4,969 kA	4,937 kA	0,021 kA	B = 94,10 -126,98° C = 97,08 125,82°
3. Durum	YN-YN (LV side Re=20 Ω)	Term. 6	4,969 kA	4,937 kA	0,021 kA	B = 94,10 -126,98° C = 97,08 125,82°
4. Durum	YN-YN (LV side Re=100 Ω)	Term. 6	4,969 kA	4,937 kA	0,021 kA	B = 94,10 -126,98° C = 97,08 125,82°
1. Durum	YN-YN	Term. 5	5,117 kA	5,081 kA	0,059 kA	B =22,81 -152,96° C = 21,78 145,46°
2. Durum	YN-YN (LV side Re=5 Ω)	Term. 5	2,913 kA	2,860 kA	0,052 kA	B = 25,88 -154,54° C = 33,10 135,16°
3. Durum	YN-YN (LV side Re=20 Ω)	Term. 5	0,948 kA	0,910 kA	0,040 kA	B =32,23 -128,12° C = 34,98 130,77°
4. Durum	YN-YN (LV side Re=100 Ω)	Term. 5	0,198 kA	0,163 kA	0,035 kA	B = 25,88 -134,34° C = 33,10 135,16°
1. Durum	YN-YN	Term. 4	9,268 kA	9,211 kA	0,081 kA	B =20,24 -121,88° C =20,35 122,27°
2. Durum	YN-YN (LV side Re=5 Ω)	Term. 4	3,612 kA	3,559 kA	0,057 kA	B = 25,88 -154,54° C = 33,10 135,16°
3. Durum	YN-YN (LV side Re=20 Ω)	Term. 4	0,986 kA	0,947 kA	0,040 kA	B = 33,29 -152,57° C = 35,30 147,14°
4. Durum	YN-YN (LV side Re=100 Ω)	Term. 4	0,199 kA	0,164 kA	0,035 kA	B = 34,28 -150,38° C =35,66 149,59°

5.2.1.1. Simülasyondan elde edilen sonuçlar ile ilgili yorumlar

Nötr topraklaması için kullanılacak olan direncin omik değeri sistemin gerilimi ve farzedilen toprak hata akımının büyüklüğüne göre belirlenir. Yıldız noktası 20 Ω'luk direnç üzerinden topraklanan transformatörün faz toprak kısa devresinde direnç üzerinden toprağa akacak akım;

$$I_k = \frac{u}{\sqrt{3}R_{ngr}} \text{ formülüne göre } I_k = \frac{34,5kV}{\sqrt{3} \times 20} = 995 \text{ Amperdir.}$$

Formül dikkatle incelendiğinde topraklanmış sistemde faz toprak arızasında bir fiderde oluşabilecek maksimum kısa devre akımı faz-nötr gerilimi ve topraklama direncinin değerine bağlıdır. Yani 34,5 kV'luk bir sistem yerine 11 kV'luk bir sistemde 20 Ω 'luk direnç üzerinde topraklı sistemde maksimum 317 A'lik kısa devre akımı oluşur ki hem sayısal röle ile bu akım kolayca algılanır hem de arıza tespit edilip giderilene kadar geçen süre zarfında sistem çok fazla zarar görmez.

Bakıldığında neden 40 Ω veya 60 Ω kullanılıp faz toprak kısa devresi daha düşük akım değerlerinde sınırlandırılmıyor diye düşünebiliriz. Ancak primerde meydana gelen 333 A'lik akım hala sistemlerimizde kullanılmaya devam eden mekanik röleler tarafından hissedilmediği için bu değerle sınırlamak zorunda kalıyoruz. Maalesef 1000 A çok büyük bir değer olduğu için sistemi çok yorar ve bu yüzden koruma sisteminde açma süresi en fazla 1 saniyedir. Ancak gelişmiş ülkelerde dijital röleler kullanıldığı için bu akım 100 A ve hatta bazı ülkelerde peterson bobini ile 10 A'e kadar sınırlandırılmaktadır ki açma süreleri de 2 saat gibi uzun bir süreye ayarlanabilmektedir. Gelişmiş röle koordinasyonu ile oluşacak faz toprak kısa devresinde arızaya en yakın olan kesiciler tripe düşürülüp arızalı bölge sistemden izole edilmektedir. Böylece kısa zamanda çözülecek bir arıza yüzünden sistemde ani duruşlar meydana gelmeyecektir. Aslına bakıldığında faz toprak kısa devresine karşı yapılacak nötr topraklamaların en etkili olanı peterson bobinidir. Zira peterson bobini hattın kapasitif akımlarını kompanze ederek arızayı temizler. Yani sistemin güç faktörü ile arızanın güç faktörü aynıdır ve akım sıfırdan geçiş anında arıza kolayca giderilir. Özellikle küçük güçlü generatörlerin yoğun olduğu sistemlerde peterson bobinine seri olarak direnç bağlanır. Bunun amacı meydana gelen faz toprak kısa devresinde arıza temizlendikten sonra generatörlerin eski rejimlerine dönmelerine yardımcı olmaktır.

Ayrıca şebekeyle paralel çalışan generatörlerin bağlı olduğu sistemde generatörden toprağa akan maksimum toprak arıza akımı sistemde çalışmakta olan generatörlerin sayısına bağlıdır. Bu kolay bir şekilde sayısal röleler ile grupları ayarlayarak kontrol edilebilir. Bu tip röleler sistemde çalışan rölelerin ayar koordinasyonu düzgün yapıldığı takdirde birçok değişik toprak arızalarını görür.

Daha önceki bölümlerde açıkladığımız gibi faz toprak kısa devresinde arızalı fazın pozitif, negatif ve sıfır bileşen akımları eşit ve arıza akımı 3Io'a tekabül eder. Mesela

3. durumda Terminal 4'de oluşan faz toprak kısa devre akımı 0,986 kA (0,946 + 0,040) . Yani şebekeden gelen kısa devre akımı 0,946 kA, simülasyona bakıldığında TR-3'ün sekonder tarafında akan simetrik akımlar $I_1=0,28$ kA, $I_2=0,31$ kA ve $I_0=0,31$ kA'in toplamından ibarettir. TR3'ün sekonderi yıldız bağlı ve nötrü 20 Ω 'luk direnç üzerinden topraklıdır. Nötr hattına konulacak olan tek fazlı aşırı akım kısa devre toprak rölesi (50N veya 51N) veya nötr noktasına bağlanacak bir fazlı transformatörün sekonderine bağlanacak gerilim trafosu ile aşırı gerilim röle kombinasyonu (59N) ile koruma yapılabilir.

Hat 3'de meydana gelen faz toprak kısa devresinde kısa devre akımları; şebekeden gelen: 5,718 kA ve generatörden gelen 0,032 (32 Amper) Toplam kısa devre akımı 5,750 kA'dır. Tr-4 YN-D bağlı ve $R_e=20$ ohm için.

Tr-4 YN-D olacak şekilde;

$R_e =200$ Ohm yapılırsa kısa devre akımları; şebekeden gelen: 5,715 kA ve generatörden gelen 0,025 (25 Amper) Toplam kısa devre akımı 5,749 kA'dır.

$R_e =1000$ Ohm yapılırsa kısa devre akımları; şebekeden gelen: 5,715 kA ve generatörden gelen 0,024 (24 Amper) Toplam kısa devre akımı 5,748 kA'dır.

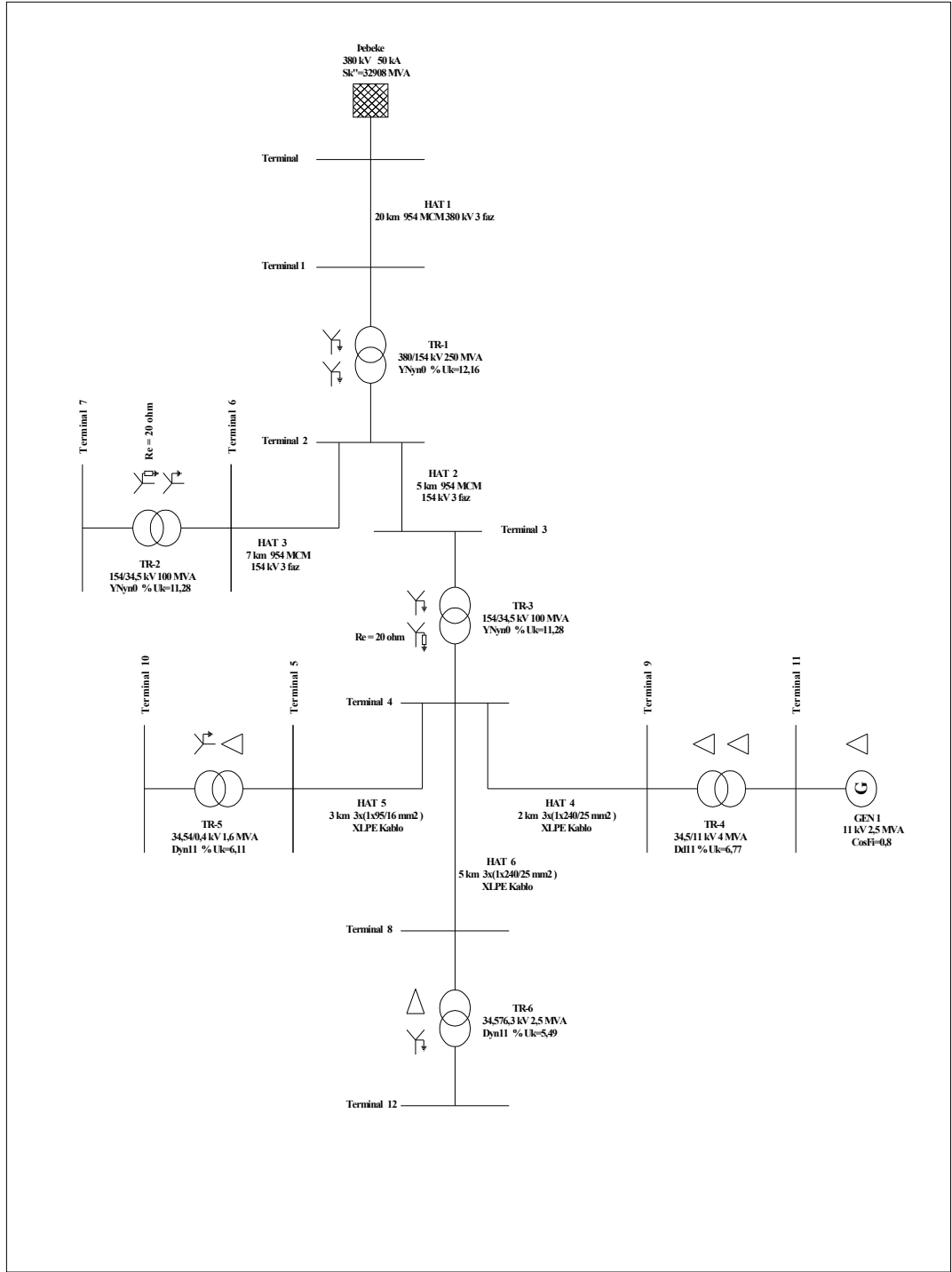
İyi bir röle koordinasyonu yapılırsa sadece kısa devreye en yakın kesici açar ve generatörün yükseltici transformatörün primer tarafındaki kesicinin de zaman geçikmesi biraz uzun yapılırsa kesici açmaz, arızaya yakın kesicinin açmasını bekler. Böylece generatör ada moduna geçmez.

Ancak Tr-4 eğer DYN bağlı ise ve 3 km'lik hat 5'de kısa devre olursa;

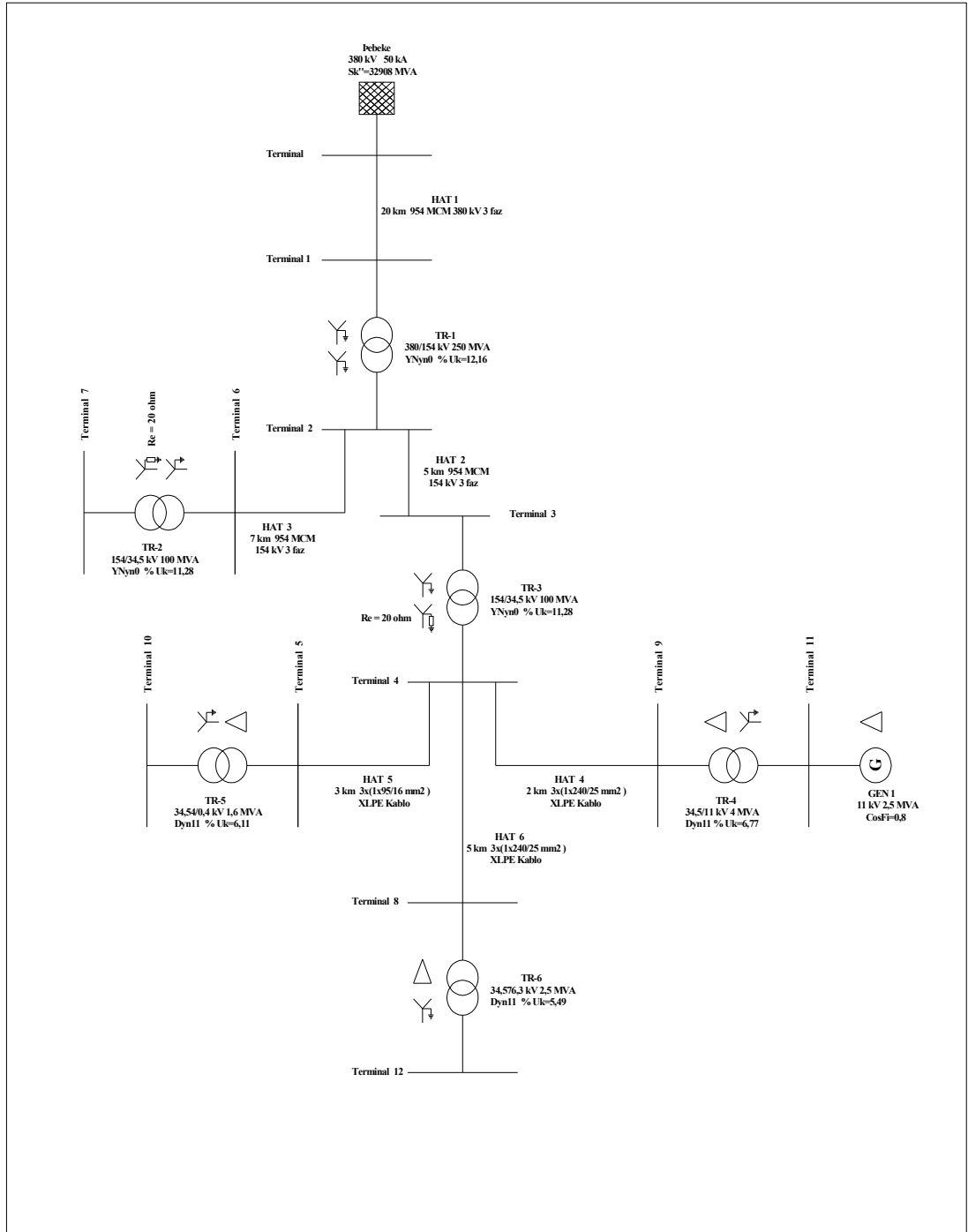
$R_e =0$ Ohm yapılırsa kısa devre akımları; şebekeden gelen:0,929 kA ve generatörden gelen 0,040 kA) Toplam kısa devre akımı 0,967 kA'dır.

$R_e =20$ Ohm yapılırsa kısa devre akımları; şebekeden gelen:0,929 kA ve generatörden gelen 0,040 kA Toplam kısa devre akımı 0,967 kA'dır.

$R_e =200$ Ohm yapılırsa dahi kısa devre akımları; şebekeden gelen:0,929 kA ve generatörden gelen 0,040 kA) Toplam kısa devre akımı 0,967 kA olacak şekilde aynı kalır. Bunun nedeni yükseltici trafonun generatör tarafındaki nötr topraklama direncinden akım akışı olmuyor.



Şekil 5.6: 5. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması



Şekil 5.7: 6. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması

5.2.2. TR4'e göre faz toprak arızasının simülasyonu ve değerlendirilmesi

TR1:YN – YN, TR2:YN – YN (LV side $R_e=20\Omega$), TR3: YN – YN (LV side $R_e=20\Omega$), TR5:D – YN, TR6:D – YN, Gen:D

Tablo 5.3.:TR4'e göre faz –toprak arızasının simülasyon sonuçları

Durum	TR4 Bağ.	Arıza Noktası	Arıza Noktası kA	Şebekeden Gelen kA	Genetörden Gelen kA	Arızalı olmayan fazların Faz -Nötr Gerilimleri (kV)
5. Durum	D-D	Term. 3	5,389 kA	5,364 kA	0,028 kA	B = 92,90 -125,79° C = 95,61 124,83°
6. Durum	D-YN	Term. 3	5,389 kA	5,364 kA	0,028 kA	B = 92,90 -125,79° C = 95,61 124,83°
5. Durum	D-D	Term. 4	0,986 kA	0,947 kA	0,0040 kA	B = 33,29 -152,57° C = 35,30 147,14°
6. Durum	D-YN	Term. 4	0,986 kA	0,947 kA	0,0040 kA	B = 33,29 -152,57° C = 35,30 147,14°
5. Durum	D-D	Term. 5	0,948 kA	0,910 kA	0,040 kA	B = 32,23 -152,96° C = 34,98 145,46°
6. Durum	D-YN	Term. 5	0,948 kA	0,910 kA	0,040 kA	B = 32,23 -152,96° C = 34,93 145,46°
5. Durum	D-D	Term. 6	4,969 kA	4,937 kA	0,021 kA	B = 94,10 -126,98° C = 97,08 125,82°
6. Durum	D-YN	Term. 6	4,969 kA	4,937 kA	0,021 kA	B = 94,10 -126,98° C = 97,08 125,82°
5. Durum	D-D	Term. 8	0,956 kA	0,918 kA	0,040 kA	B = 32,31 -153,25° C = 35,17 145,44°
6. Durum	D-YN	Term. 8	0,956 kA	0,918 kA	0,040 kA	B = 32,31 -153,25° C = 35,17 145,44°
5. Durum	D-D	Term. 9	0,975 kA	0,935 kA	0,041 kA	B = 32,91 -125,79° C = 35,27 124,83°
6. Durum	D-YN	Term. 9	0,975 kA	0,935 kA	0,041 kA	B = 32,91 -125,79° C = 35,27 124,83°
5. Durum	D-D	Term. 11	0 kA	0,105 kA	0,105 kA	B = 11,04 -117,85° C = 11,04 177,85°
6. Durum	D-YN	Term. 11	3,102 kA	2,879 kA	0,286 kA	B = 6,21 -86,96° C = 6,17 154,44°

5.2.2.1. Simülasyondan elde edilen sonuçlar ile ilgili yorumlar

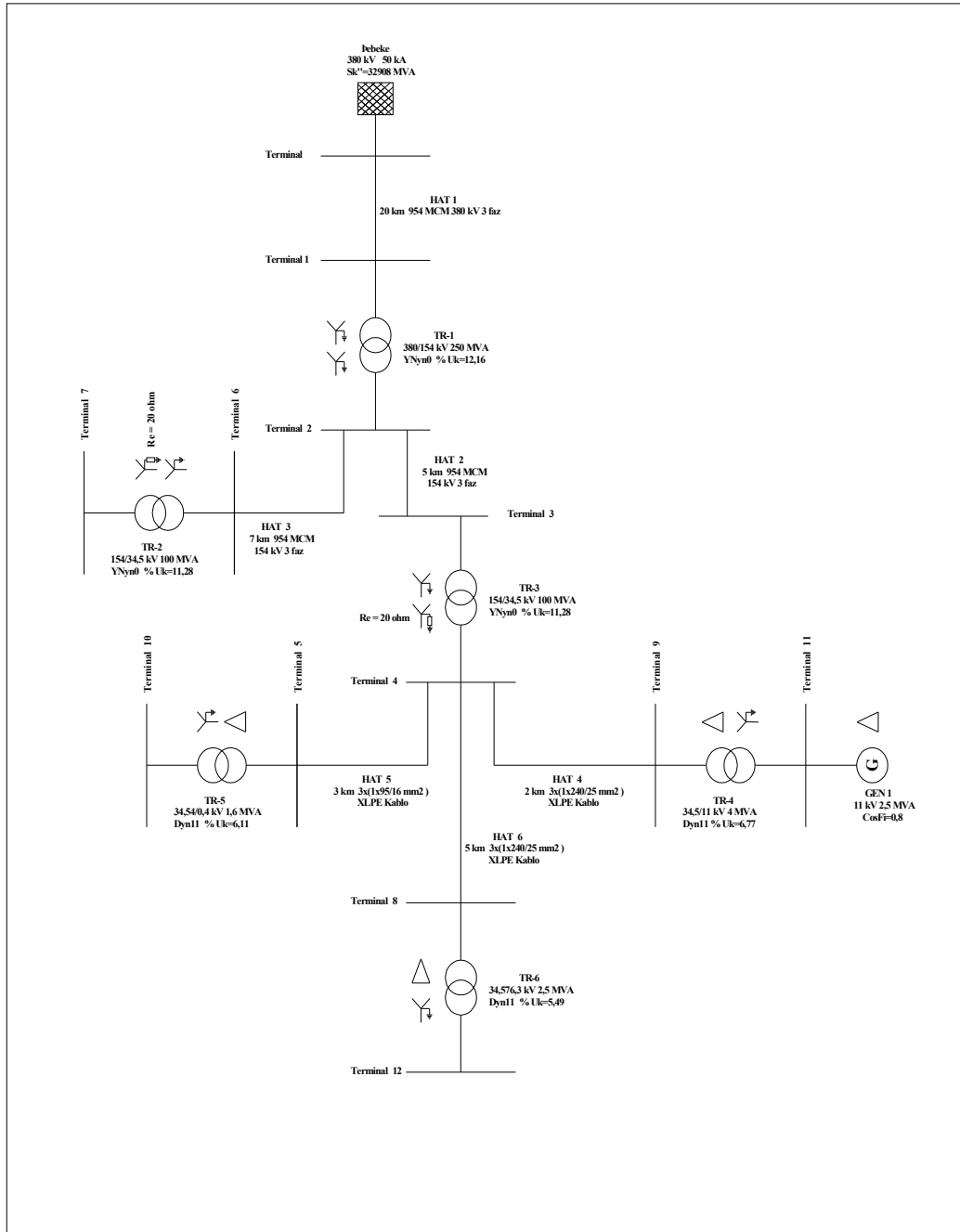
Öncelikle şunu unutmamak gerekir ki faz toprak kısa devresinde üçgen bağlı sistem nötrü izoleli sistem gibi davranır. Yani arıza akımı hattın kapasitansı tarafından sınırlanır ancak arıza olmayan fazların gerilimi $\sqrt{3}$ kat artar. Daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi üçgen bağlantıda akım sınırlayıcı direncin kullanıldığı suni nötr

noktası kullanılmadan topraklama yapılmaz. Zaten üçgen bağlantıda nötr noktası olmadığı için arızalı fazdan toprağa sıfır bileşen akımı akmaz.

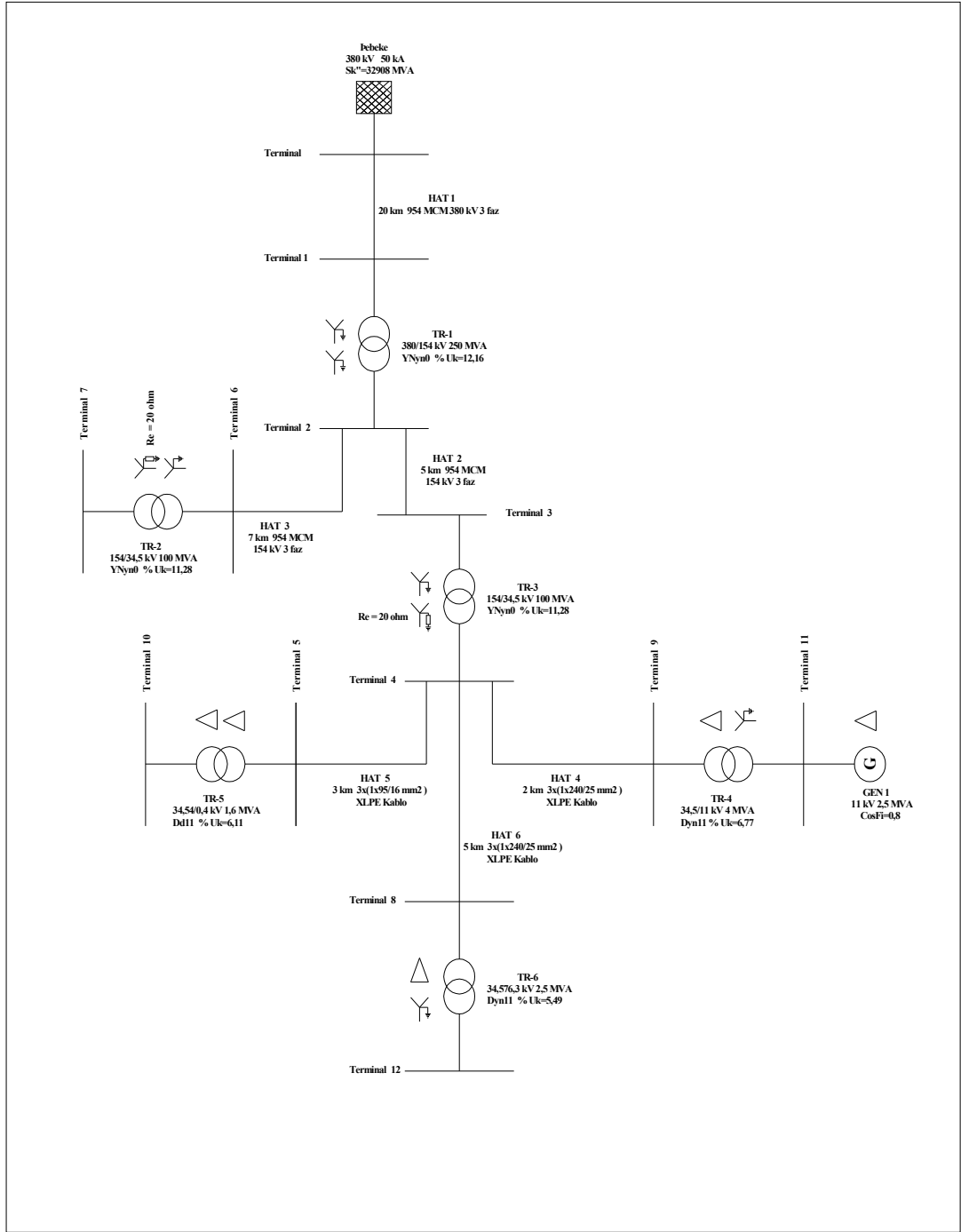
5. Durum için Terminal 5'deki arızada kısa devre akımı 0,948 kA yani aşırı akım rölesi bu arızayı algılar böylece giriş kesicisini açarak arıza belli bir bölgeye hapsedilmiş olur ve generatör ada moduna geçmeden şebekeyle paralel çalışmaya devam eder. Yine 5. Durum için Terminal 8'deki arızada kısa devre akımı 0,914 kA yani aşırı akım rölesi bu arızayı algılar böylece giriş kesicisini açarak arıza giderilir ve generatör şebekeyle paralel çalışmaya devam eder. Bu tarz kısa hatlarda diferansiyel röle de kullanılabilir. Adından da anlaşılacağı gibi fark akımına göre çalışır yani Hat 6'nın başındaki akım ile sonundaki akım hemen hemen birbirine çok yakındır. Beklenmedik bir fark oluşursa hat başı kesicisi açar. İletim ve dağıtım koruma rölesi olarak aşırı akım, mesafe ve diferansiyel koruma röleleri kullanılır. Aşırı akım ve mesafe rölelerinde haberleşmeye ihtiyaç duyulmamasına rağmen zaman geçikmeli çalışırlar. Yine de mesafe koruması, aşırı akıma göre daha hızlıdır. Diferansiyel koruma rölesi haberleşmeye ihtiyaç duyar ancak zaman geçikmesine gerek duymadan arızayı görür görmez sistemi açar. Böylece generatör ada moduna geçmez. Bu tarz arızaları indirici trafonun alçak gerilim tarafındaki ana şalterle tespit edip fider koruma rölesine sinyal göndermekde mümkündür.

Tek hat şemasına bakıldığında TR4'ün bağlantı grubu D-YN'dir. Üçgen bağlı olan yüksek gerilim tarafına tesis edilecek bir suni nötr noktası (zig zag bağlı veya yıldız-üçgen bağlı) ve nötr noktasına tesis edilecek bir gerilim trafosu üzerinden aşırı gerilim koruması (59N) veya nötr noktasına bağlanacak bir akım trafosu üzerinden akım koruması yapılabilir.

Çok ilginçtir ki TR-4 nolu trafo Dyn bağlı olduğunda ve TR-3'ün sekonder tarafındaki direnç 20Ω olduğu durumda Terminla 4'de meydana gelen kısa devre 0,986 kA iken diğer devre elemanlarının bağlantı grupları aynı kalmak koşuluyla TR-4'ün YN-yn bağlandığında kısa devre akımı birden 1,818 kA'e çıkıyor. Bunu şu şekilde açıklayabiliriz Hat 4'ün direnci 20Ω 'luk dirence paralel bağlanıp eşdeğer direnç değeri bu iki paralel dirençten en düşük dirence yaklaşıyor. Dolayısı eşdeğer direnci azalmasından dolayı kısa devre akımı artmaktadır.



Şekil 5.8: 7. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması



Şekil 5.9: 8. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması

5.2.3. TR5'e göre faz toprak arızasının simülasyonu ve değerlendirilmesi

TR1:YN – YN, TR2:YN – YN (LV side $R_e=20\Omega$), TR3: YN – YN (LV side $R_e=20\Omega$), TR4:D – YN, TR6:D – YN, Gen:D

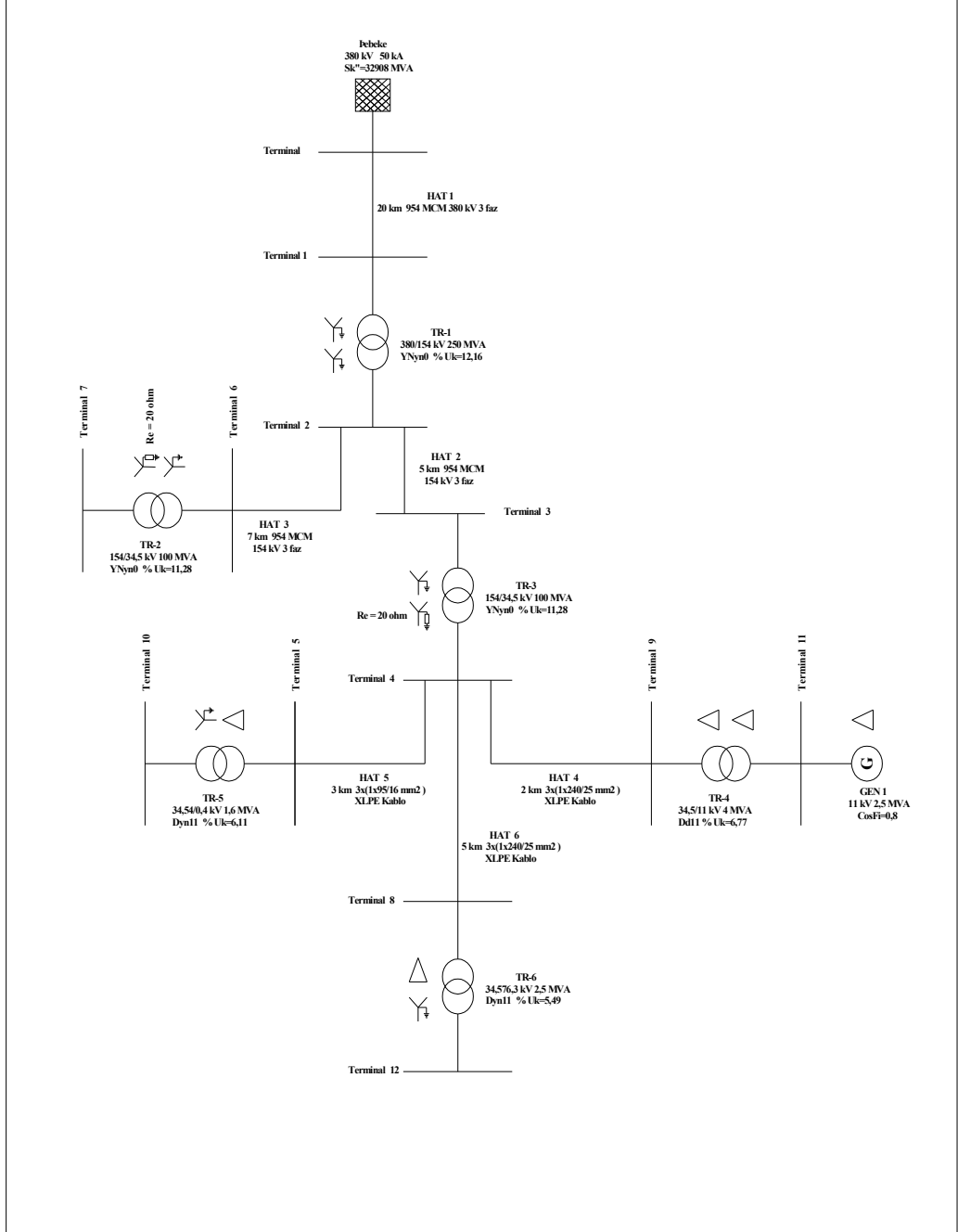
Tablo 5.4:TR5'e göre faz –toprak arızasının simülasyon sonuçları

Durum	TR5 Bağ.	Arıza Noktası	Arıza Noktası kA	Şebekeden Gelen kA	Genetörden Gelen kA	Arızalı olmayan fazların Faz-Nötr Gerilimleri (kV)
7. Durum	D -YN	Term. 3	5,389 kA	5,364 kA	0,028 kA	B =92,90 -125,79° C = 95,61 124,83°
8. Durum	D - D	Term. 3	5,389 kA	5,364 kA	0,028 kA	B = 92,90 -125,79° C = 95,61 124,83°
7. Durum	D -YN	Term. 4	0,986 kA	0,947 kA	0,040 kA	B = 33,29 -152,57° C = 35,30 147,14°
8. Durum	D - D	Term. 4	0,986 kA	0,947 kA	0,040 kA	B = 33,29 -152,57° C = 35,30 147,14°
7. Durum	D -YN	Term. 5	0,948 kA	0,910 kA	0,040 kA	B =32,23 -128,12° C = 34,98 130,77°
8. Durum	D - D	Term. 5	0,948 kA	0,910 kA	0,040 kA	B =32,23 -128,12° C = 34,98 130,77°
7. Durum	D -YN	Term. 6	4,969 kA	4,937 kA	0,021 kA	B = 94,10 -126,98° C = 97,08 125,82°
8. Durum	D - D	Term. 6	4,969 kA	4,937 kA	0,021 kA	B = 94,10 -126,98° C = 97,08 125,82°
7. Durum	D -YN	Term. 8	0,956 kA	0,918 kA	0,040 kA	B = 32,31 -153,25° C = 35,17 145,44°
8. Durum	D - D	Term. 8	0,956 kA	0,918 kA	0,040 kA	B = 32,31 -153,25° C = 35,17 145,44°
7. Durum	D -YN	Term. 9	0,975 kA	0,935 kA	0,041 kA	B = 32,91 -152,83° C = 35,27 146,50°
8. Durum	D - D	Term. 9	0,975 kA	0,935 kA	0,041 kA	B = 32,91 -152,83° C = 35,27 146,50°
7. Durum	D -YN	Term. 11	3,102 kA	2,879 kA	0,286 kA	B = 6,21 -86,96° C = 6,17 154,44°
8. Durum	D - D	Term. 11	3,102 kA	2,879 kA	0,286 kA	B = 6,21 -86,96° C = 6,17 154,44°

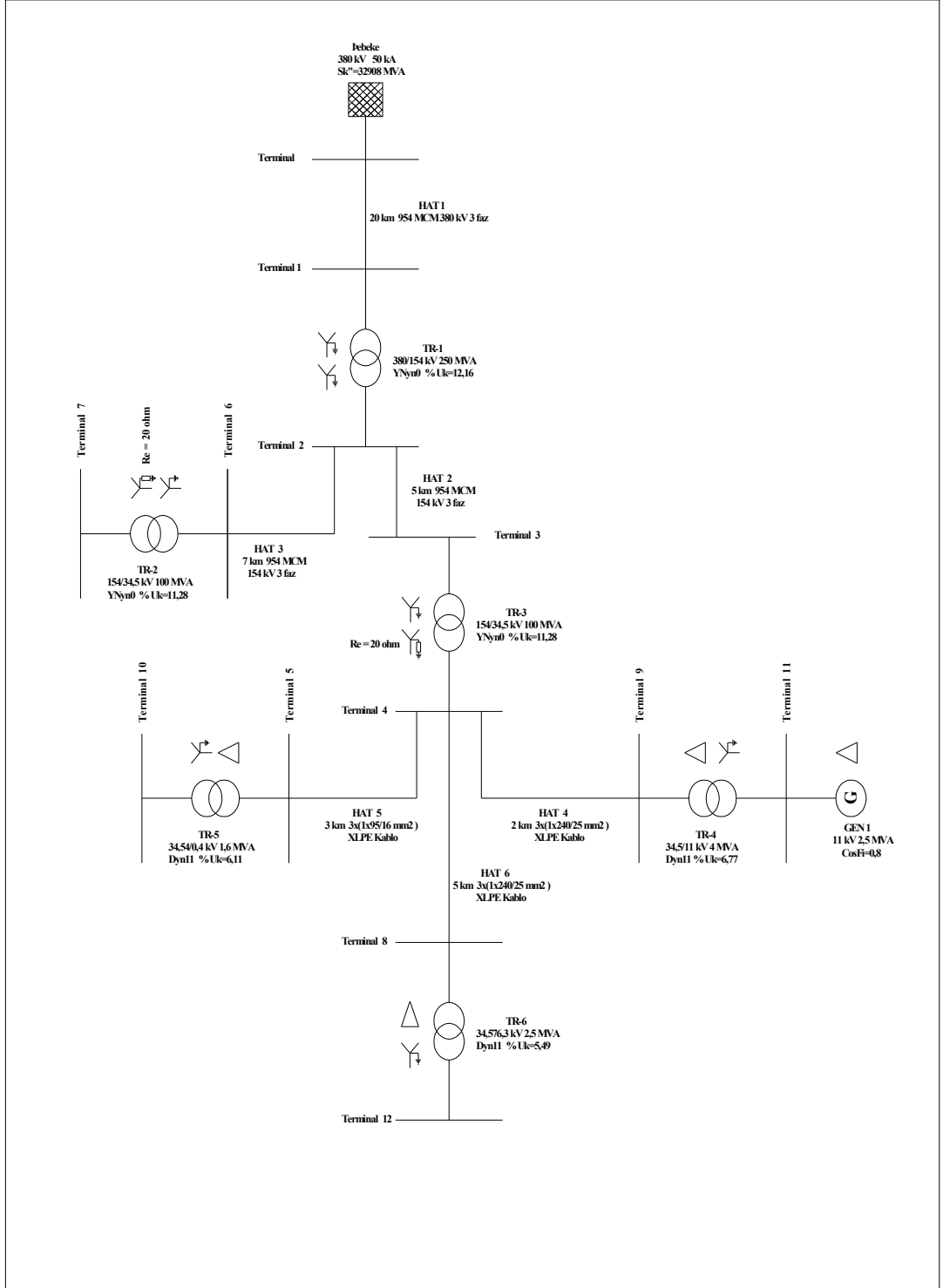
5.2.3.1. Simülasyondan elde edilen sonuçlar ile ilgili yorumlar

Orta gerilimde dağıtım sisteminde faz toprak arızasını en sağlıklı bir şekilde sınırlamak için şebeke tarafındaki güç trafosunun sekonderi yıldız bağlı olması ve yıldız noktasının direnç veya reaktans üzerinden topraklanması gerekmektedir. DiGSILENT programında yapılan simülasyona göre 100 MVA'lık güç trafosunun sekonderi yıldız bağlı ve yıldız noktası topraklanmamış olduğunda Terminal 5'de meydana gelecek faz toprak kısa devresinde kısa devre akımı 0'dır. Bu ilk etapta

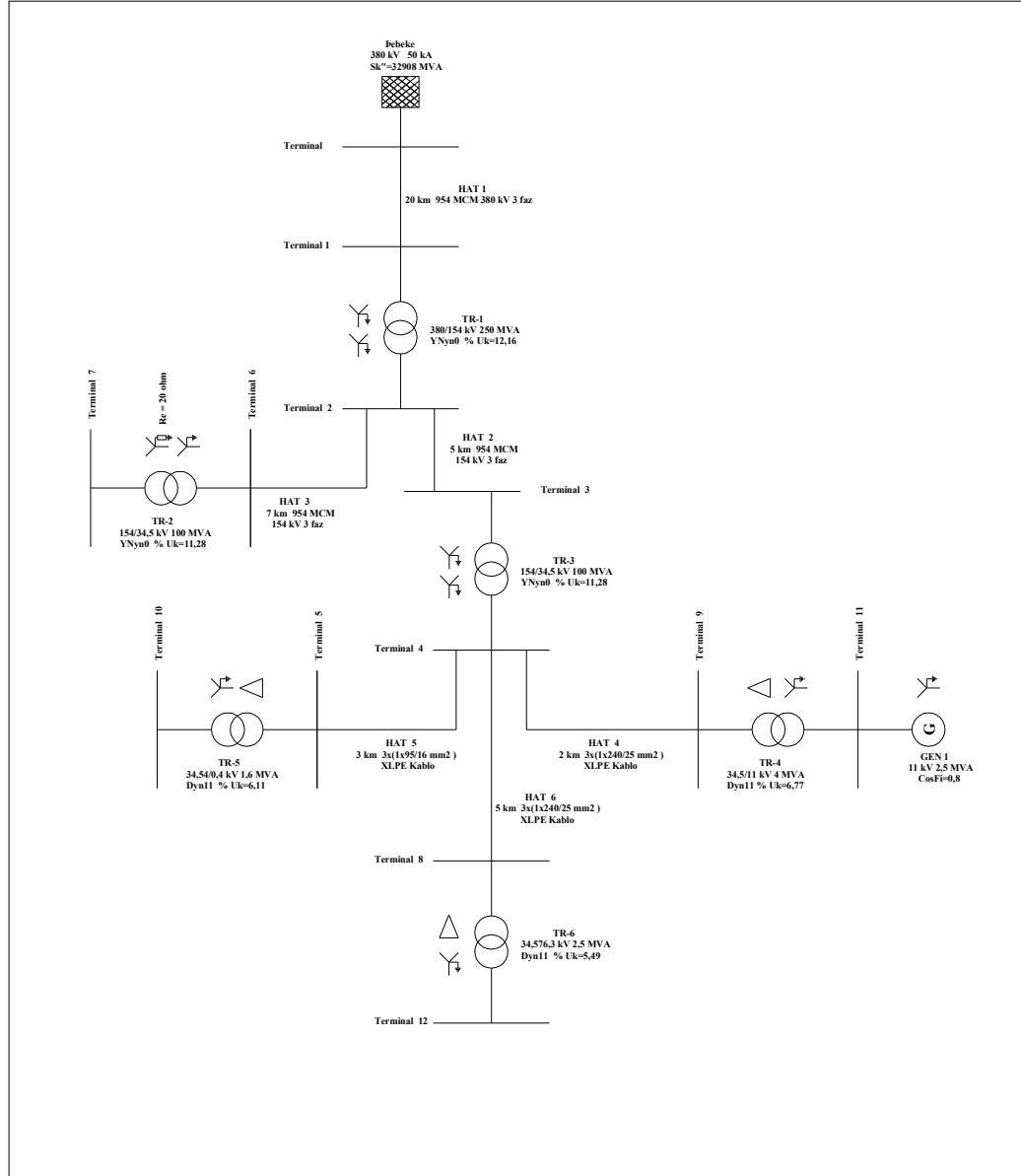
kulağa çok hoş gelmektedir. Ancak nötrü yalıtılmış şebekede faz toprak kısa devre arızası aşırı akım röleleri tarafından hissedilmez ve arıza anında sisteme zarar verecek geçici aşırı gerilimler oluşur. Yani arıza kısa sürede temizlenmezse aşırı gerilimlere bağlı orta gerilim ve alçak gerilimde başka arızalar oluşur. Buna karşın güç trafosunun sekonder tarafı 20Ω 'luk direnç üzerinden topraklandığında Terminal 5'de oluşacak faz toprak kısa devresinde arıza akımının değeri $0,907 \text{ kA}$ 'dir ve direncin omik değeri ile ters orantılıdır. $0,907 \text{ kA}$ 'lık kısa devre akımının $0,87 \text{ kA}$ 'i şebekeden ve $0,04 \text{ kA}$ 'i de generatörden kaynaklanmaktadır. Dolayısı ile generatörün ada moduna geçmemesi ve şebeke tarafındaki güç trafosunun devreden çıkmaması için oluşan faz toprak kısa devre akımının en kısa sürede temizlenmesi gerekmektedir. Bunun için aşırı akım röleleri (50 N veya 51 N) arasında röle koordinasyonu yapılarak sorun çözülür. Eğer arıza hat 5'de oluşsaydı arızanın temizlenmesi hem çok daha basit hem de çok daha hızlı olurdu. Böylece röle koordinasyonu ile ilgili bir tereddüt yaşanmazdı. Çünkü kullanılacak diferansiyel veya mesafe koruma röleleri ile arıza aşırı akım rölelerinden çok daha kısa sürede temizlenmiş olurdu.



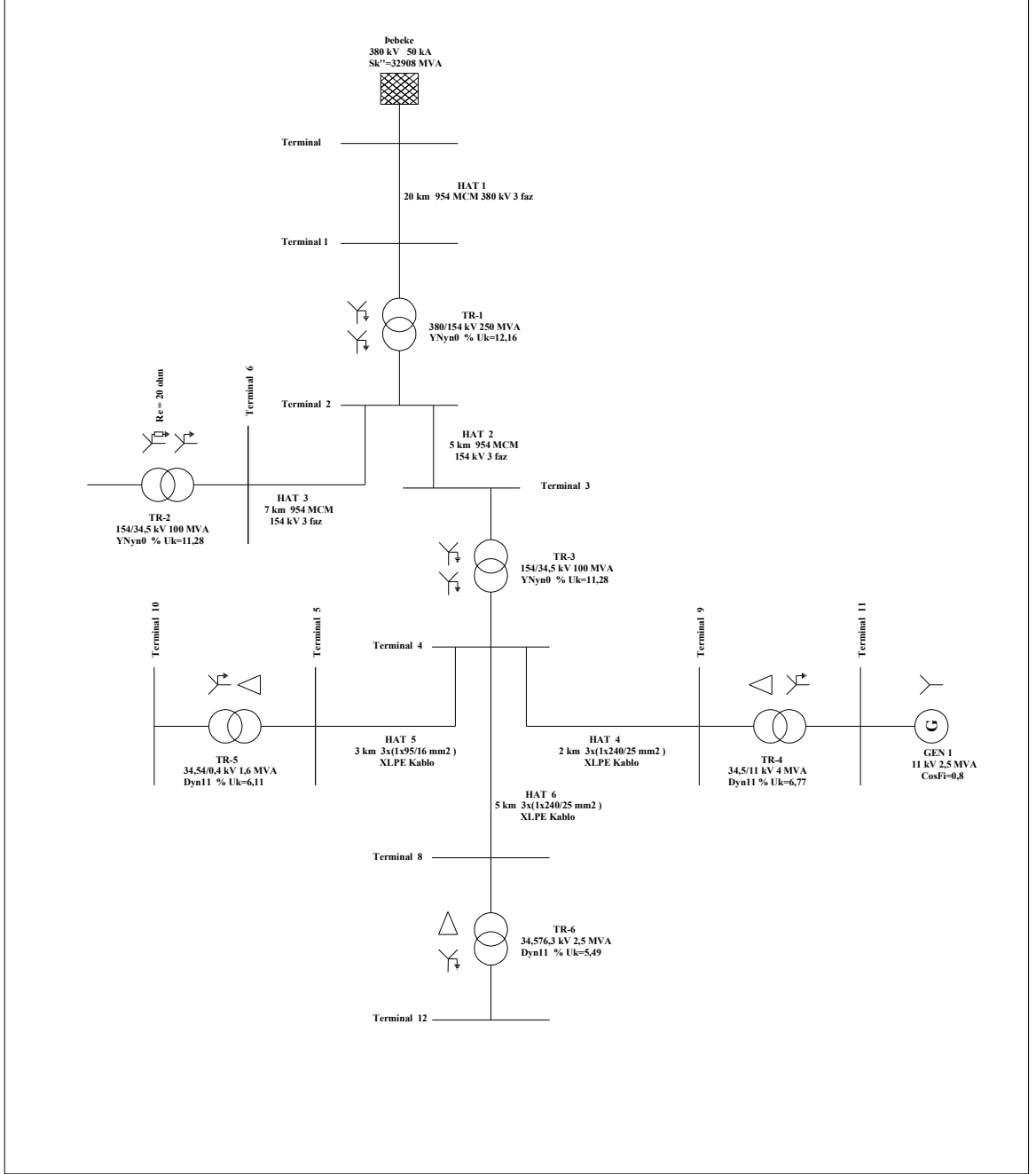
Şekil 5.10: 9. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması



Şekil 5.11:10. Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması



Şekil 5.12: 11.Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması



Şekil 5.13: 12.Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması

5.2.4. Generatöre göre faz toprak arızasının simülasyonu ve değerlendirilmesi

TR1:YN – YN, TR2:YN – YN (LV side $Re=20\Omega$), TR3:YN – YN (LV side $Re=20\Omega$), TR4:D – YN, TR5:D – YN, TR6:D – YN

Tablo 5.5:Generatöre göre faz –toprak arızasının simülasyon sonuçları

Durum	Generatör Bağ.	Arıza Noktası	Arıza Noktası kA	Şebekeden Gelen kA	Genetörden Gelen kA	Arızalı olmayan fazların Faz-Nötr Gerilimleri (kV)
9. Durum	Y	Term. 3	5,389 kA	5,364 kA	0,028 kA	B =92,90 -125,79° C =95,61 124,83°
10. Durum	YN	Term. 3	5,389 kA	5,364 kA	0,028 kA	B =32,23 -152,96° C =34,98 145,46°
11. Durum Tr3: YN – YN	YN	Term. 3	5,389 kA	5,364 kA	0,028 kA	B =32,23 -152,96° C =34,98 145,46°
12. Durum Tr3: YN – YN	Y	Term. 3	5,389 kA	5,364 kA	0,028 kA	B =32,23 -152,96° C =34,98 145,46°
9. Durum	Y	Term. 5	0,948 kA	0,910 kA	0,040 kA	B =32,23 -152,96° C =34,98 145,46°
10. Durum	YN	Term. 5	0,948 kA	0,910 kA	0,040 kA	B =32,23 -152,96° C =34,98 145,46°
11. Durum Tr3: YN – YN	YN	Term. 5	5,117 kA	5,081 kA	0,059 kA	B =22,81 -128,12° C =21,78 130,77°
12. Durum Tr3: YN – YN	Y	Term. 5	5,117 kA	5,081 kA	0,059 kA	B =22,81 -128,12° C =21,78 130,77°
9. Durum	Y	Term. 6	4,969 kA	4,937 kA	0,021 kA	B =94,10 -126,98° C =97,08 125,82°
10. Durum	YN	Term. 6	4,969 kA	4,937 kA	0,021 kA	B =94,10 -126,98° C =97,08 125,82°
11. Durum Tr3: YN – YN	YN	Term. 6	4,969 kA	4,937 kA	0,021 kA	B =94,10 -126,98° C =97,08 125,82°
12. Durum Tr3: YN – YN	Y	Term. 6	4,969 kA	4,937 kA	0,021 kA	B =94,10 -126,98° C =97,08 125,82°
9. Durum	Y	Term. 8	0,956 kA	0,918 kA	0,040 kA	B =32,31 -153,25° C =35,17 145,44°
10. Durum	YN	Term. 8	0,956 kA	0,918 kA	0,040 kA	B =32,31 -153,25° C =35,17 145,44°
11. Durum Tr3: YN – YN	YN	Term.8	4,987 kA	4,954 kA	0,057 kA	B =22,79 -128,91° C =22,09 130,89°
12. Durum Tr3: YN – YN	Y	Term. 8	4,987 kA	4,954 kA	0,057 kA	B =22,79 -128,91° C =22,09 130,89°
9. Durum	Y	Term. 9	0,975 kA	0,935 kA	0,041 kA	B =32,91 -152,83° C =35,27 146,50°
10. Durum	YN	Term. 9	0,975 kA	0,935 kA	0,041 kA	B =32,91 -152,83° C =35,27 146,50°

Tablo 5.5:Generatöre göre faz –toprak arızasının simülasyon sonuçlarının devamı

11. Durum Tr3: YN – YN	YN	Term. 9	6,921 kA	6,867 kA	0,075 kA	B =21,57 -126,11° C =21,34 127,28°
12. Durum Tr3: YN – YN	Y	Term. 9	6,921 kA	6,867 kA	0,075 kA	B =21,57 -126,11° C =21,34 127,28°
9. Durum	Y	Term. 11	3,102 kA	2,879 kA	0,286 kA	B =6,21 -86,96° C =6,17 154,44°
10. Durum	YN	Term. 11	3,421 kA	2,854 kA	0,602 kA	B =5,87 -81,45° C =5,85 149,06°
11. Durum Tr3: YN – YN	YN	Term. 11	3,421 kA	2,854 kA	0,602 kA	B =5,87 -81,45° C =5,85 149,06°
12. Durum Tr3: YN – YN	Y	Term. 11	3,102 kA	2,879 kA	0,286 kA	B =6,21 -86,96° C =6,17 154,44°

5.2.4.1. Simülasyondan elde edilen sonuçlar ile ilgili yorumlar

Birçok ülkede kabul edilen genel kanı nötrü direnç üzerinden topraklanmış generatörlerde maksimum toprak hata akımı 5-10 A arasında olmasıdır. Toprak hata akımını 1 A'den düşük bir değerde sınırlamak için generatör topraklamasında Peterson bobini kullanılır. Böylece generatörde oluşan faz toprak arızasında belli bir süre koruma devresi sistemin enerjisini kesene kadar oluşan arıza akımı statora zarar vermez. Generatör topraklama direnci genelde Y.G. tarafında iletilen nötr gerilimini faz geriliminin %2-3'ü değerine kadar sınırlar.

Generatörlerin şebekeye direkt değilde yükseltici trafo üzerinden bağlı oldukları durumda yapılacak röle koordinasyonu şebeke ve yükseltici trafo korumasını da kapsamalıdır. Santralin toprak arızalarına karşı korunması; generatörün ve trafonun topraklanması durumuna göre tasarlanmalıdır. Genellikle yüksektici trafonun generetör (düşük gerilim) tarafı üçgen ve şebeke (yüksek gerilim) tarafı yıldız bağlı ve yıldız noktası empedans üzerinden toprağa bağlanmıştır. Bu durumda düşük gerilim tarafında oluşacak toprak temaslı arızalara karşı koruma generatörün topraklanma durumuna bağlıdır. Eğer generatörün yıldız noktası empedans üzerinden topraklanmış ise faz toprak arızasında oluşan arıza akımı direnç üzerinden yıldız noktasına akacağı için bu akım direnç üzerinde potansiyel fark (gerilim) oluşturur. Dolayısı ile koruma rölesi olarak direnç üzerinden akan akıma göre çalışan aşırı akım rölesi veya direnç üzerine düşen gerilime göre çalışan aşırı gerilim rölesi kullanılarak faz toprak arızasına karşı koruma yapılabilir.

Eğer generatör Y bağlı ise ve yıldız noktası sonsuz direnç üzerinden topraklı ise yani nötr noktası topraktan yalıtılmış ise bu kez 3 fazın geriliminin toplamını izleyen aşırı gerilim rölesi kullanılması gerekir bunun yerine her üç faz için birer aşırı gerilim rölesi veya düşük gerilim rölesi kullanılabilir.

Eğer generatörün yükseltici transformatörü yukarıda anlatıldığı gibi bağlı değilse oluşturmuş olduğumuz projedeki gibi D-YN ve generatörde D bağlı olduğu durum incelenirse oluşacak faz toprak kısa devresinde generatör tarafında I_0 yani sıfır bileşen akımı akmaz. Çünkü üçgen bağlıdır yani yıldız noktası yoktur. Ancak arıza nedeniyle bir dengesizlik durumu oluşacağı için I_2 yani negatif bileşen akımları oluşur. Mesela 9. Durum için Terminal 9'da oluşacak faz toprak arızasında $I_0=0$ 'dır ancak $I_2=0,28$ kA'dır. Dolayısı ile negatif faz bileşen akım rölesi (46) kullanılarak koruma yapılır.

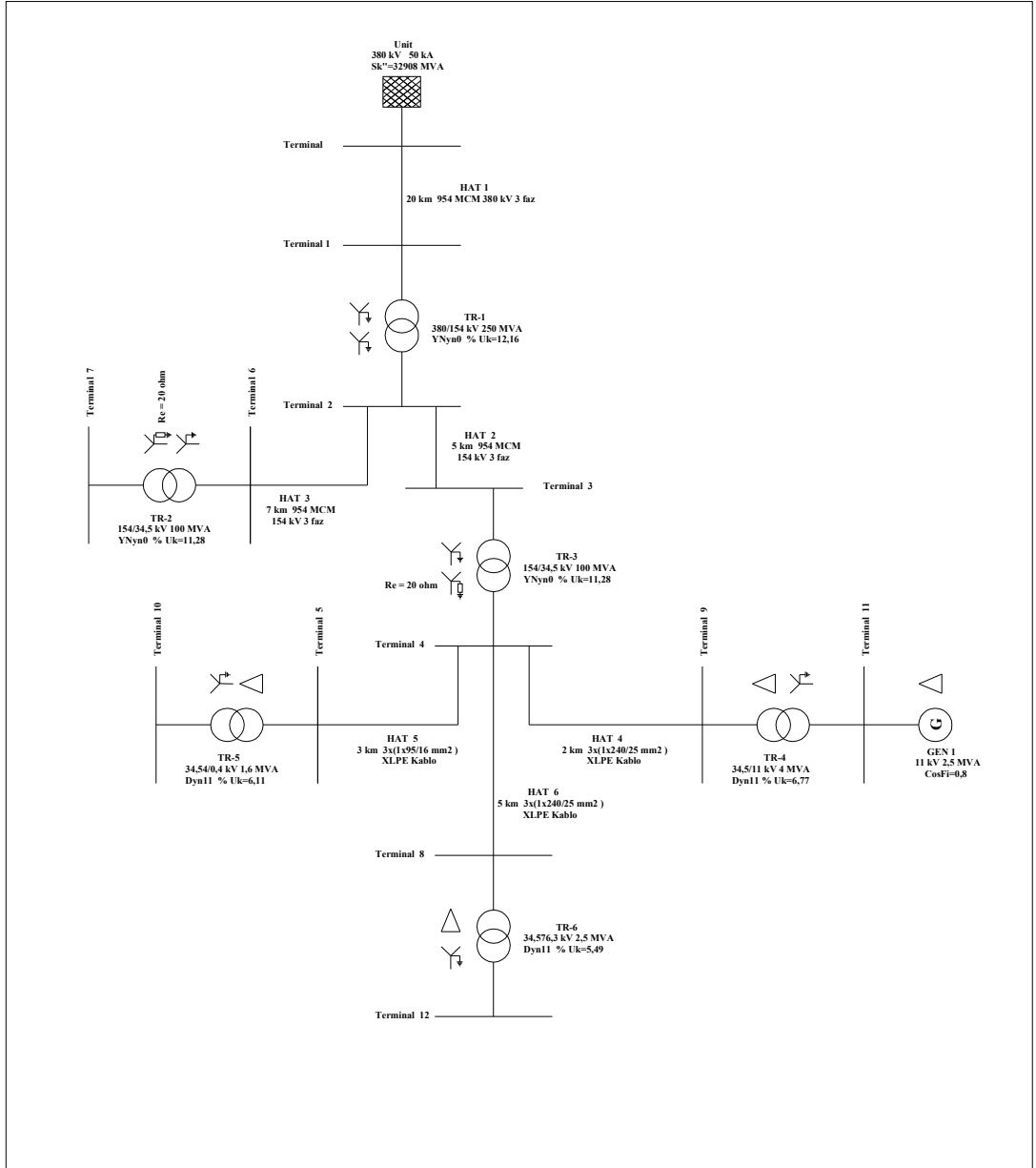
Generatörde oluşacak bir iç arızada (mesela :stator toprak hatasında) stator toprak hata rölesi kullanılarak koruma yapılır. Terminal 9 veya Terminal 11'de oluşacak toprak kısa devresinde şebekeden arızalı bölgeye bir kısa devre akımı akar. Bu normal bir durum değildir. Dolayısı ile Terminal 4'ün generatör çıkış tarafına konulacak yönlü röle ile Terminal 4'deki generatör tarafı çıkış kesicisi açtırılarak arıza şebekeden izole edilmiş olur.

5 km'lik hat 6'nın tam ortasında oluşacak faz toprak kısa devresinde kısa devre akımı 0,928 kA'dır. Bu kısa devre akımının açılımı şöyledir; Şebeke tarafı ($I_0=0,31$ kA, $I_1=0,28$ kA , $I_2=0,31$ kA) toplam=0,89 kA) ve generatör tarafı ($I_0=0$ kA, $I_1=0,04$ kA , $I_2=0$ kA ve toplam=0,04 kA) burada hem generatörün hem de şebekenin arızadan etkilenmesi lazımdır. Dolayısı ile zaman geçikmesi olmadan anında arızayı tespit edip beklemeden arızalı bölgenin enerjisini kesen bir röle kullanmalıyız. Bu nedenle Terminal 4 ile Terminal 8 arasındaki hattın başına ve sonuna yerleştirilecek bir diferansiyel rölesi ile arıza en kısa sürede sistemden izole edilmiş olur. Böylece generatör ada moduna geçmez. Elbetteki bu arıza aşırı akım röleleriyle daha ekonomik bir şekilde çözülebilir ancak röle koordinasyonu için sistemin uygun olması gerekiyor yani ard arda iki rölenin açma süreleri arasındaki fark 200 ms'den az olmamalıdır ve röle ayarları çok dikkatli bir şekilde özenle yapılmalıdır aksi halde hem şebeke tarafındaki 100 MVA'lık trafo hem de generatör devre dışı kalabilir. Aynı durum hat 5 için de geçerlidir.

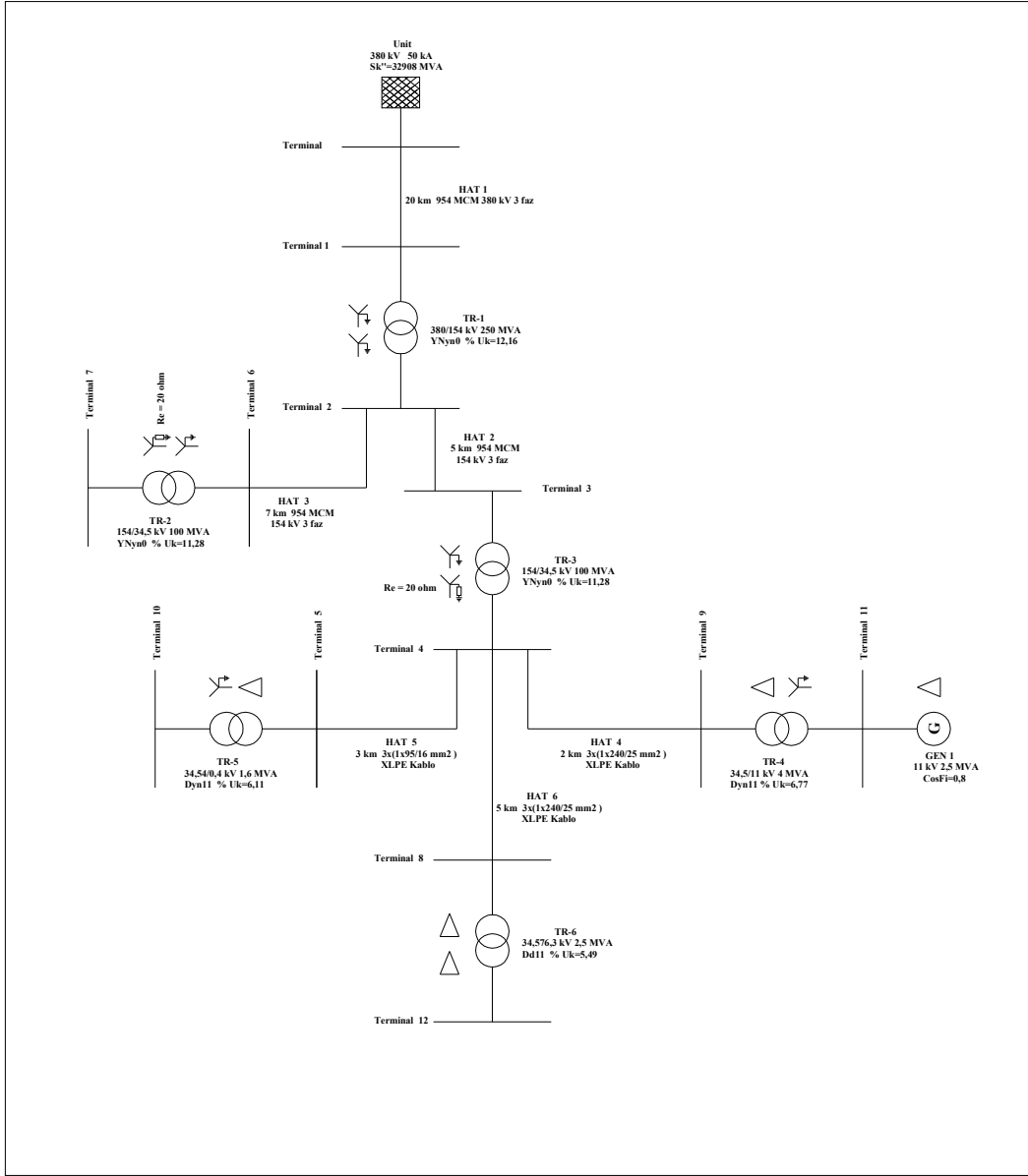
TR2 tarafında oluşacak bir faz toprak kısa devresinden TR3'ü ve generatörü korumak için yani Terminal 6 da oluşacak faz toprak kısa devresinde TR3'ü devre dışı bırakmamak ve generatörü ada modunda çalışmaya zorlamamak için farklı koruma senaryoları oluşturulabilir. Mesela; Terminal 2'nin TR2 ve TR3 çıkışına konulacak 2 ad. aşırı akım rölesi ile (50N veya 51N) uygun bir röle koordinasyonu yapılarak sadece TR2 tarafı açtırılabilir. Röle koordinasyonu yapılırken her iki terminalde de oluşacak faz toprak kısa devre akım değerlerinin farklı büyüklükte olacağı dikkate alınmalıdır. Başka bir şekilde, TR2'nin nötr noktasına konulacak aşırı akım rölesi (50N veya 51 N) veya aşırı gerilim rölesi (59) ile Terminal 6'nın girişindeki kesiciye açtırma verilebilir veya Terminal 2 çıkışına konulacak bir aşırı akım rölesi (50N veya 51 N) ile koruma yapılabilirdi. Fakat şu husus çok önemlidir, eğer TR2 20 Ω 'luk direnç değilde daha büyük bir dirençle topraklansaydı oluşacak faz toprak kısa devre akımı azalacaktı. Bu durumda 2 hususa dikkat etmek gerekir aşırı akım rölesinin akımı hissedebilmesi için düşük değerli 3 ad. reçineli akım trafosu kullanılırsa akım trafolarının doyuma gitme riski oluşur bu yüzden toroid akım trafosu 3 fazı da kontrol edecek şekilde kablo şebekesinde kullanılır. Bir de oluşacak faz toprak akımı küçük değerli olduğu için gerilim korumasının da ayrıca yapılması gerekir. Bu durum da da bir gerilim trafosu kullanılarak bu gerilim trafosunun sekonder tarafına konulacak bir gerilim rölesi ile koruma yapmak gerekmektedir.

Sonuç olarak generatörün yükseltici trafosunun yüksek gerilim tarafı YN, düşük gerilim tarafı ise D bağlı olması gerekiyor. Çünkü hem bu şekilde sistemde oluşabilecek faz toprak arızası bir nebze olsun sınırlanmış olur hem de eğer şebekedeki arızadan dolayı generatör ada moduna geçerse artık genartör kendi şebekeni oluşturmuş durumdadır. Bu sürede yük tarafında veya yük barasında bir faz toprak kısa devresi olursa, bunu sınırlamak için YG sargısının nötr noktası direnç üzerinden toprağa bağlanmalıdır.

Generatörün şebekeyle paralel çalışma durumunda ya da ada modunda çalışmasında kendi sisteminde meydana gelebilecek bir arızaya karşı da koruma sistemleri geliştirilmiştir. Bu koruma röleleri bölüm 4.4.5'de açıklanmıştır.



Şekil 5.14 :13.Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması



Şekil 5.15: 14.Durumdaki simülasyonda kullanılan şebekenin tek hat şeması

5.2.5. TR6'ya göre faz toprak arızasının simülasyonu ve değerlendirilmesi

TR1:YN – YN, TR2:YN – YN (LV side $R_e=20\Omega$), TR3: YN – YN (LV side $R_e=20\Omega$), TR4:D – YN, TR6:D – YN, Gen:D

Tablo 5.6:TR6'ya göre faz –toprak arızasının simülasyon sonuçları

Durum	TR6 Bağ.	Arıza Noktası	Arıza Noktası kA	Şebekeden Gelen kA	Genetörden Gelen kA	Arızalı olmayan fazların Faz-Nötr Gerilimleri (kV)
13. Durum	D -YN	Term. 3	5,389 kA	5,364 kA	0,028 kA	B =92,90 -125,79° C = 95,61 124,83°
14. Durum	D - D	Term. 3	5,389 kA	5,364 kA	0,028 kA	B = 92,90 -125,79° C = 95,61 124,83°
13. Durum	D -YN	Term. 4	0,986 kA	0,947 kA	0,040 kA	B = 33,29 -152,57° C = 35,30 147,14°
14. Durum	D - D	Term. 4	0,986 kA	0,947 kA	0,040 kA	B = 33,29 -152,57° C = 35,30 147,14°
13. Durum	D -YN	Term. 5	0,948 kA	0,910 kA	0,040 kA	B =32,23 -128,12° C = 34,98 130,77°
14. Durum	D - D	Term. 5	0,948 kA	0,910 kA	0,040 kA	B =32,23 -128,12° C = 34,98 130,77°
13. Durum	D -YN	Term. 6	4,969 kA	4,937 kA	0,021 kA	B = 94,10 -126,98° C = 97,08 125,82°
14. Durum	D - D	Term. 6	4,969 kA	4,937 kA	0,021 kA	B = 94,10 -126,98° C = 97,08 125,82°
13. Durum	D -YN	Term. 8	0,956 kA	0,918 kA	0,040 kA	B = 32,31 -153,25° C = 35,17 145,44°
14. Durum	D - D	Term. 8	0,956 kA	0,918 kA	0,040 kA	B = 32,31 -153,25° C = 35,17 145,44°
13. Durum	D -YN	Term. 9	0,975 kA	0,935 kA	0,041 kA	B = 32,91 -152,83° C = 35,27 146,50°
14. Durum	D - D	Term. 9	0,975 kA	0,935 kA	0,041 kA	B = 32,91 -152,83° C = 35,27 146,50°
13. Durum	D -YN	Term. 11	3,102 kA	2,879 kA	0,286 kA	B = 6,21 -86,96° C = 6,17 154,44°
14. Durum	D - D	Term. 11	3,102 kA	2,879 kA	0,286 kA	B = 6,21 -86,96° C = 6,17 154,44°

5.2.5.1. Simülasyondan elde edilen sonuçlar ile ilgili yorumlar

TR6'yı besleyen hat üzerinde veya Terminal 8'de meydana gelebilecek faz toprak arızası nedeniyle generatörün ve şebekenin etkilenmemesi için arızanın en kısa sürede izole edilmesi gerekir. Yani kablo şebekesinde oluşan arızada hat 6'nın baş tarafındaki kesici açmalı veya trafo merkezinde oluşan arızada da giriş kesici açmalı o açmazsa selektif koruma sistemine göre bir önceki kesici olan hat başı kesicisi açmalıdır. Ancak bir rölenin algılama süresi 30 ms, kesicinin açma süresi 45 ms ve

araya yardımcı röleler ve açma bobinleri de girince toplam açma süresi 200 ms'yi buluyor. Dolayısı ile bu süreye bir de selektiviteden dolayı bir ilave süre eklendiğinde hat başı kesicisi en erken 400 ms'de açar. Bunun yerine kablo şebekesinde oluşacak faz toprak kısa devresinde arızanın minimum sürede giderilmesi için mesafe koruma rölesi veya diferansiyel röle kullanılmalıdır. Ayrıca trafo merkezinde kullanılacak röle aşırı akım rölesi olabilir. Ayrıca a fazındaki faz toprak kısa devresinde a fazının gerilimi sıfır olacaktır. Dolayısı ile trafonun alçak geriliminde kullanılacak 3 fazın geriliminin varlığına göre çalışan 3 faz koruma rölesi ile trafo merkezindeki O.G. giriş kesicisine açtırma verilebilir.

6. SONUÇ

Bu bölüme kadar yapılan çalışmaları kısaca özetleyecek olursak:

Birinci bölümde elektrik enerjisinin önemine, TEİAŞ tarafından hazırlanıp, 10/11/2004 tarihli ve 25639 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan; Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği'ne, ayrıca tez çalışması süresince ziyaret ettiğim İ.T.M'lerdeki izlenimlerine yer verilmiştir.

İkinci bölümde kısa devrenin tanımına, kısa devre hesaplama yöntemleri ile ilgili standartlara ve kısa devre hesap yöntemlerine değinilmiştir.

Üçüncü bölümde topraklama sistemlerinin tanıtımı yapıldı daha sonra şebeke bağlantı şeklinin faz toprak kısa devresi üzerindeki etkilerine değinildi. Şöyle ki; nötrü topraktan yalıtılmış sistemlerde toprakla nötr arasında bir bağlantı olmadığı için oluşan faz toprak kısa devre akımı sistemin kapasitif şarj akımlarının toplamına eşittir. Direkt topraklı sistemde faz toprak kısa devresinde arıza akımı çok yüksek değerlere ulaşır. Ancak bu tip topraklama sisteminde arıza anında aşırı gerilimler oluşmaz. Direnç üzerinden topraklı sistemde arıza akımı direncin değerine bağlıdır. Yüksek direnç üzerinden topraklamada arıza akımı çok küçük olduğu için aşırı akım koruması yapmak çok zordur. Peterson bobini endüktif etkiden dolayı hattın kapasitif şarj akımlarını kompanze (tune) eder. Ancak bobinin endüktif değerinin kapasitif değerden farkı olması lazım zira ferrezonans tehlikesi vardır. Tüm bu hususlara ilaveten üçüncü bölümde yurtdışında hangi bağlantı şekillerinin tercih edildiği, üçgen bağlı sistemde suni nötr noktası oluşturma yöntemlerine de değinilmiştir.

Dördüncü bölümde, koruma sistemleri, özellikle faz toprak arızasında hangi koruma tiplerinin seçildiği ve generatör koruma röleleri anlatılmıştır.

Beşinci bölümde de DIgSILENT programı ile örnek bir şebeke bağlantı noktasının faz toprak kısa devresine etkisini incelemek için şebeke bağlantı noktaları değiştirilerek farklı noktalarda oluşturulan faz toprak arıza akımlarındaki değişiklikler incelenmiştir.

DIgSILENT programında kısa devre hesabı yapılırken IEC 60909, VDE 0102 ve ANSI/IEEE C37.5 standartlarının tamamının kapsayan complete (tamamı) ikonu seçilerek tek faz toprak arızası incelenmiştir. Yapılan bu çalışmalar neticesinde sonuç bölümü aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur:

Y.G. ve O.G. sistemlerde şebeke ile paralel çalışan generatörlerin bağlandığı şebekeye bir nötr topraklama noktası oluşturulmaması tercih edilir. Generatör tesisinin OG nötr topraklama gerektirdiği ve kaynak terminalinden uzakta olduğu durumlarda; nötr topraklama gerektiğinde Generatörü anahtarlama yoluyla çoklu nötr topraklama ile ilgili problemlerin üstesinden gelinir. Alternatif nötr topraklama seçeneği olan generatör tesislerinde kalıcı yüksek dirençli topraklama yöntemi incelendiğinde yüksek dirençli topraklama, generatörün ada moduna geçmesi halinde hassas toprak arıza koruması yapılmasını gerekli kılar.

Ancak bizim amacımız generatörün şebeke ile paralel çalıştığı durumda sistemde meydana gelecek olan faz toprak kısa devresinde generatörün bu arızadan etkilenip ada moduna geçmesini engellemektir. Bu yüzden öncelikle sistemde oluşabilecek faz toprak arıza akımı nötr topraklama direnciyle veya peterson bobini kullanılarak belli bir değerde sınırlandırılmalıdır. Kısa devre akımının bir aktif bir de reaktif bileşeni vardır. Dolayısı ile kısa devre akımının aktif bileşeni direnç ile reaktif bileşeni de dirence seri bağlanacak peterson bobini ile sınırlandırılabilir. Generatörlerin bağlı olduğu orta gerilim şebekelerinde bu tarz bir nötr topraklamasını kullanmak daha efektif olur. Daha sonra sistemin özelliğine göre, radyal veya ring şebeke olma durumuna göre kullanılacak olan röle ve koruma devreleri sayesinde arızalı bölge sıkıştırılıp sistemden izole edilmelidir.

İlk toprak arızasının yerini tespit etmek ve en kısa sürede gidermek birinci öncelikli konudur, Röle koordinasyonu yaparken şunu da unutmamak gerekir ki sistemin sağlıklı çalışabilmesi için yani sadece arızalı fiderin enerjisinin kesilip diğer fiderlerin bu arızadan etkilenmemesi için en uç fiderden kaynağa kadar olan fiderlerin açtırma süreleri arasındaki fark en az 200 ms olmalıdır. Aksi halde seçicilik kaybolur ve birkaç fider aynı anda açar. Aşırı akım koruma röleleri için geçerli olan bu kural diğer koruma rölelerine ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Zira radyal şebekede 5'den fazla ard arda trafo merkezi varsa mecburen bazı dağıtım merkezleri arasında zaman kavramı olmayıp derhal açan diferansiyel röle veya mesafe koruma rölesi kullanılır.

Mesafe koruması, aşırı akıma göre daha hızlı ve daha seçicidir. Hem de kaynak empedansları ve sistem koşullarındaki değişimlere daha hassastır. Nümerik mesafe korumasının diğer bir avantajı ise röleye eklenmiş arıza konum fonksiyonudur. Bu nedenle radyal şebekelerde de uygulaması vardır. Özellikle yoğun endüstriyel tesislerin bir arada bulunduğu organize sanayi bölgelerinde dağıtım şebekesinde kullanılmaktadır.

14 farklı durum için DIGSILENT programında yapılan senaryolardan en kötü olanı yani kısa devre akımı en yüksek olanı 9,268 kA ile 100 MVA'lık trafonun sekonder yıldız noktası direkt bağlı iken Terminal 9'da meydana gelen kısa devredir. En iyi olan senaryo ise doğal olarak kaynaklara en uzak nokta olan ve şebeke trafosu yüksek direnç üzerinden topraklı iken olur. Yani 0,198 kA'lık Terminal 8'deki faz toprak kısa devresidir. Şunu da unutmamak gerekir ki şebeke trafosunun yıldız noktası topraklanmamış olduğu durumda kısa devre akım sıfırdır ancak bu senaryoda aşırı gerilim oluşur ve akım koruması yapılamaz.

KAYNAKLAR

- [1] TEİAŞ, “Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği ”, 2004
- [2] Kaşıkçı, İ, “Elektrik Tesislerinde Kısa Devre hesapları ve Uygulamaları IEC 60909 ”, *Birsen Yayınevi*, 33-34, 2007
- [3] Elk. Y. Müh. Taner İRİZ – Elk. Elo. Müh. Ali Fuat AYDIN, 2005, “Alçak Gerilim Tesislerinde Kısa Devre Hesapları”, http://www.emo.org.tr/ekler/2bf85196c63fad_b_ek.pdf?tipi=15&turu=H&sube=7 (**Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2010**).
- [4] J. Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma, Thomas J. Overbye, “Power System Analysis and Design”, Fourth edition, Copyright 2008
- [5] M. Nilsson, “Short-circuit analysis of the onsite electric power system at Ringhals unit 4 ” <http://webfiles.portal.chalmers.se/et/MSc/NilssonMikaelMSc.pdf> (**Ziyaret tarihi: 03 Aralık 2010**).
- [6] J.C Das Amec, “Power System Analysis Short-circuit Load Flow and Harmonics ” <http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/9780203908952.ch7> (**Ziyaret tarihi: 03 Aralık 2010**).
- [7] Massimo Mitolo, Ph.D., Chu & Gassman Consulting Engineers, “Short Circuit Calculation Methods”, 2004
- [8] B. de Metz-Noblat, F. Dumas, C. Poulain, “Cahier technique no. 158 Calculation of short-circuit currents ” Schneider Electric, updated 2005
- [9] Power Systems Engineering Committee, “IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems”, 2007
- [10] Commission Electrotechnique Internationale, “Technical Report IEC 60909-1 Second edition 2002-07 ” http://webstore.iec.ch/preview/info_iec60909-1%7Bed2.0%7Den_d.pdf, (**Ziyaret tarihi: 05 Aralık 2010**)

[11] Post Glover, “Application Manual - Ground Fault Protection on Ungrounded and High-Resistance Grounded ”, 2001

[12] Georg KOEPPL, Peter ABAECHERLI, Adrian SCHMID, Gerd VOSS, ABB Sécheron AG Switzerland, “Concept And Practical Testing Of Single Pole Operated Earthing Breakers In An Urban Mv Cable Network ” *18th International Conference on Electricity Distribution*, (2005).

[13] Partenaire, MT, “Groundingsystems”, [http://www.designers.schenider-electric.ru/Attachments/ed/guide/mv partner b21 grounding systems.pdf](http://www.designers.schenider-electric.ru/Attachments/ed/guide/mv%20partner%20b21%20grounding%20systems.pdf) (**Ziyaret tarihi 20.12.2010**)

[14] Prof. Dr. Sarioğlu, K., Prof Dr. Usta, Ö., “ Yerel Elektrik Santrallerinin Korunması ve Röle Koordinasyonu”, <http://www.emo.org.tr/ekler/ff3e350028d0cfc ek.pdf? tipi=46&туру=H&sube=0> (**Ziyaret tarihi: 17 Aralık 2010**).

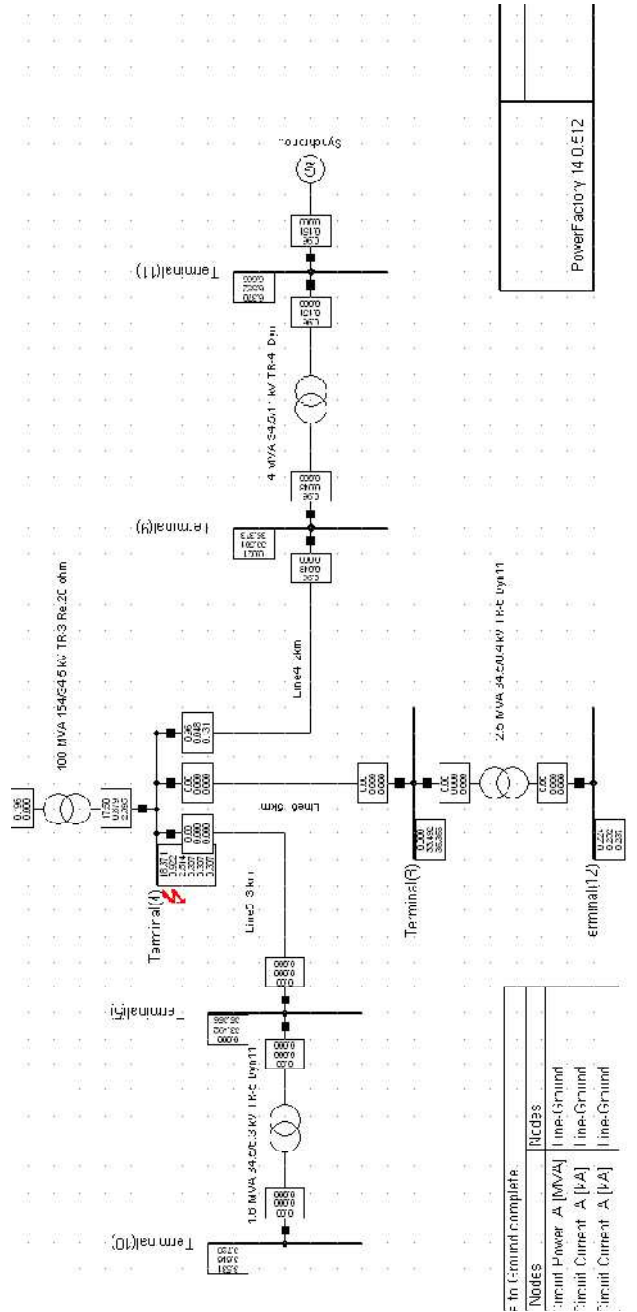
[15] Basar J.J., “Improvement of Ground-Fault Relaying Selectivity through the Application of Directional Relays to High-Voltage Longwall Mining Systems” Master of Science, 2004

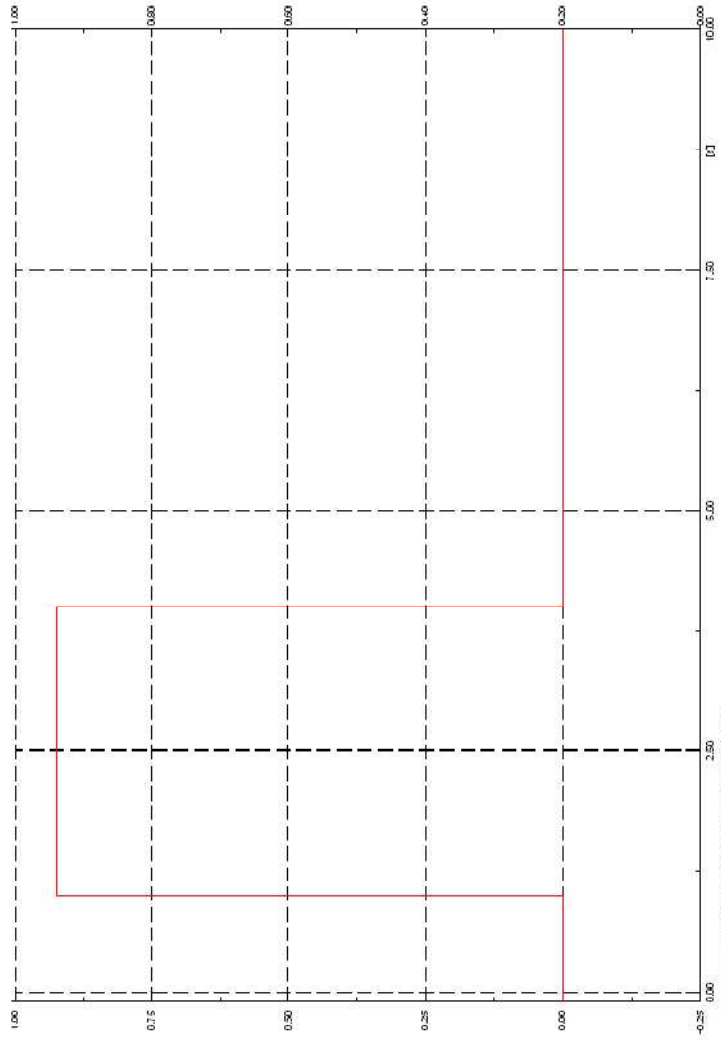
[16] ZYL, S.,V., “High resistance neutral earthing of MV networks with embedded generation <http://www.eepublisher.co.za/images/upload/30%20TT%20-%20resistance.pdf> (**Ziyaret tarihi: 07 Şubat 2010**

[17] Schmidt, S., “ Short Circuit Calculation”, <http://up.iranblog.com/images/xqjqk715otsf08edg5f.ppt> (**Ziyaret tarihi: 15 Aralık 2010**).

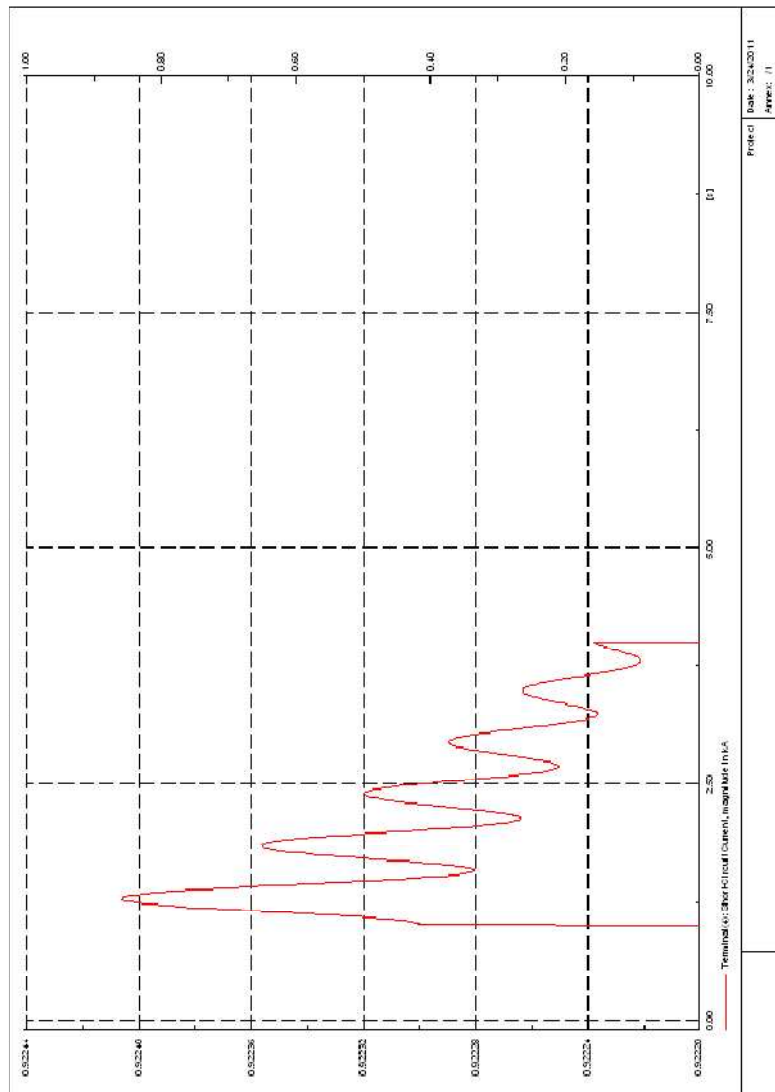
EKLER

Bu kısımda en iyi ve en kötü senaryolar başta olmak üzere bazı simülasyonların DIgSILENT programında sonuçları ve faz toprak kısa devre akımının salınımı grafik olarak gösterilmiştir.





Project: | Date: 30/4/2011
 Annex: 11



Single Phase to Ground /

Short-Circuit Calculation complete

Short-Circuit Duration | Fault Impedance |
 0.10 s | Resistance, Rf | 0.00 Ohm |
 Reactance, Xf | 0.00 Ohm |

Grid: Grid System Stage: Grid | Annex: / 1

rtcd.V. [kV]	Voltage [kV]	c- Factor	Sk" [MVA/MVA]	Ix" [A/kA]	Ix' [deg]	Ik' [kA]	ip [kA/kA]	Ib [kA]	ib [kA]	EFF [-]		
Terminal(4) A	34.50	0.00	0.00	1.00	18.37 MVA	0.92 kA	-5.3	0.92	2.51 kA	0.92	1.89	0.00
B	33.49	-152.36	0.00	MVA	0.00	kA	0.0	0.00	0.00 kA	0.00	0.00	1.68
C	35.36	147.40	0.00	MVA	0.00	kA	0.0	0.00	0.00 kA	0.00	0.00	1.77
100 MVA 15	Terminal(3)	A	17.50 MVA	0.88 kA	176.0	0.88	2.39 kA	0.12 kA	0.11 kA			
		B	0.89 MVA	0.04 kA	-157.3	0.04						
		C	0.82 MVA	0.04 kA	90.6	0.04						
Lires 3 k	Terminal(5)	A	0.00 MVA	0.00 kA	0.0	0.00	0.00 kA	0.00 kA	0.00 kA			
		B	0.00 MVA	0.00 kA	0.0	0.00	0.00 kA	0.00 kA	0.00 kA			
		C	0.00 MVA	0.00 kA	0.0	0.00	0.00 kA	0.00 kA	0.00 kA			
Lires6 5km	Terminal(8)	A	0.00 MVA	0.00 kA	0.0	0.00	0.00 kA	0.00 kA	0.00 kA			
		B	0.00 MVA	0.00 kA	0.0	0.00	0.00 kA	0.00 kA	0.00 kA			
		C	0.00 MVA	0.00 kA	0.0	0.00	0.00 kA	0.00 kA	0.00 kA			
Lires4 2km	Terminal(9)	A	0.96 MVA	0.05 kA	150.4	0.05	0.13 kA	0.12 kA	0.11 kA			
		B	0.89 MVA	0.04 kA	22.7	0.04	0.12 kA	0.12 kA	0.11 kA			
		C	0.82 MVA	0.04 kA	-89.4	0.04	0.11 kA	0.11 kA	0.11 kA			

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Sandıklı, AFYON’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Gebze’de tamamladı. 1995 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden 1999 yılında mezun oldu. Yaklaşık 2 yıldır Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda eğitimine devam etmektedir. Halen özel bir kurumda Elektrik Bakım Şefi olarak çalışmaktadır